

S.J. Savage

Nanotechnology in defence applications programme Status report nr 1, 4th quarter 2003



The Nanotechnology Program display at Nanotec conference, Nov. 2003

SWEDISH DEFENCE RESEARCH AGENCY

Sensor Technology
P.O. Box 1165
SE-581 11 Linköping

FOI-R--1102--SE

December 2003

ISSN 1650-1942

Base data report

S.J. Savage

Nanotechnology in defence applications programme

Status report nr 1, 4th quarter 2003

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Sensor Technology P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--1102--SE	Report type Base data report
	Research area code 7. Vehicles	
	Month year December 2003	Project no. E39501
	Customers code 5. Commissioned Research	
	Sub area code 79 Interdisciplinary Projects regarding Vehicles	
Author/s (editor/s) S.J. Savage	Project manager S.J. Savage	
	Approved by	
	Sponsoring agency	
	Scientifically and technically responsible	
Report title Nanotechnology in defence applications programme Status report nr 1, 4 th quarter 2003		
Abstract (not more than 200 words) This report documents the status of the Swedish <i>Nanotechnology in defence applications programme</i> as of December 2003. The report contains a brief presentation of the programme's activities since the start on 1 October 2003, a description of the current status of each project, details of the programme start conference and a preliminary activity plan for phase 1.		
Keywords nanotechnology, programme, status report nr 1, 2003		
Further bibliographic information	Language English	
ISSN 1650-1942	Pages 103 p.	
	Price acc. to pricelist	

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1102--SE	Klassificering Underlagsrapport		
	Forskningsområde 7. Farkoster			
	Månad, år December 2003	Projektnummer E3037		
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet			
	Delområde 79 Breda projekt inom farkoster			
Författare/redaktör S.J. Savage	Projektledare S.J. Savage			
	Godkänd av			
	Uppdragsgivare/kundbeteckning			
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig			
Rapportens titel (i översättning) Nanoteknik i försvarstillämpningar program. Lägesrapport nr 1, kvartal 4 2003				
Sammanfattning (högst 200 ord) Denna rapport dokumenterar läget inom Försvarets nanoteknikprogram efter första kvartalet. Rapporten innehåller en kortfattad beskrivning av programmets aktiviteter sedan starten den 1 oktober 2003. Rapporten innehåller även en beskrivning av och målet för varje projekt, en beskrivning av startkonferensen och preliminär aktivitetsplanet för hela fas 1 av programmet				
Nyckelord Nanoteknikprogram, lägesrapport nr 1, 2003				
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Engelska			
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 103 s.			
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista			

CONTENTS

CONTENTS	4
OBJECTIVE	5
INTRODUCTION	5
STATUS OF THE PROGRAMME (AS OF 12 DEC 2003)	5
PROJECT DESCRIPTIONS	6
START CONFERENCE	7
PRELIMINARY ACTIVITY PLAN	7
SUMMARY	7
APPENDIX 1 THE START CONFERENCE	8
APPENDIX 1.1 Agenda of the start conference	8
APPENDIX 1.2 Start conference participants list	9
APPENDIX 2 TRAVEL REPORT FROM TRDI VISIT	10
APPENDIX 3 PROJECT DESCRIPTIONS AND WORKING PLANS	11
APPENDIX 3.1 BioNanoLab	11
APPENDIX 3.2 High temperature materials (HT-RAM)	37
APPENDIX 3.3 Ceramic-based nanomaterials	45
APPENDIX 3.4 Multispectral camouflage coatings	62
APPENDIX 3.5 Nanocomponents for the terahertz region	74
APPENDIX 3.6 Self-decontaminating surfaces	79
APPENDIX 3.7 Sensor protection	86
APPENDIX 4 PRELIMINARY ACTIVITY PLAN	102

OBJECTIVE

The objective of this report is to document the status of the Swedish *Nanotechnology in Defence Applications* programme as of 12 December 2003.

INTRODUCTION

This is the first status report of the Swedish *Nanotechnology in Defence Applications* programme.

The report discusses briefly the following:

- The overall status of the programme – main activities and other activities since the programme start.
- A description of each project including a plan of work and objectives for each project, and the project's status as of the beginning of December 2003
- The programme start conference
- A preliminary activity plan for the remainder of the first phase of the programme

STATUS OF THE PROGRAMME (as of 12 Dec 2003)

The programme was formally started on 1 October 2003.

The first and major activity was to establish legally binding contractual agreements between the respective projects and FOI (the contractor). The contract is in part the scientific and economic working plan submitted by the proposer, and in part a document (contract) regulating responsibilities, payment conditions and ownership rights. At the end of September FOI sent a draft contract to each project leader. Since then these documents have been revised several times. It has proved impossible to use the same contract for all projects, each one is individually written. This action is taking much longer time than expected, in part due to the number of partners in each project, in part due to the inexperience of some of the project leaders (with regard to contract agreements) and in part due to lack of a standard contract acceptable to all the companies and academic institutions involved. The major point which required several iterations between respective project members concerned intellectual property rights (IPR). Academic institutions in particular seemed to give this point a high priority. In this respect the only demand made by FOI was that the Swedish state retains a royalty-free right to use any inventions arising from the programme within the total defence organisations. As of the date of writing (12 Dec.) all partners appear to be in agreement, but some documents remain to be signed by several parties. All purchase orders have however been placed, with the condition that no significant changes be made to the wording of the contract documents. The fact that all projects have started is a *de facto* acceptance of the contract.

A start conference was held in Stockholm on 14 Nov. 2003. The conference agenda is given in appendix 1. In the morning each project was presented by the respective project leader. To this session representatives of Defence Headquarters, the Defence Material Administration (FMV) and various other agencies were invited. We were pleased that FOI's newly appointed director general was able to open the start conference. The afternoon session was reserved for internal discussions covering the administrative routines of the programme.

An internet based portal for use by the programme has been created. Originally the intention was that this should be complete by the end of November, but due to revised requirements for a change in security level, and sickness at our supplier the web portal is now planned to be complete by the end of December. The portal address is www.nanotek.se.

Several other activities which concern the programme include the following.

- 1) A study visit to Technical research development institute (TRDI), Japan on 5 October, by Hans-Ove Görtz. The primary purpose of the visit was not to discuss the nanotechnology programme, but the opportunity was taken to discuss the subject. A brief travel report is contained in appendix 2.
- 2) The author participated in the conference "Defence Nanotechnology II," 6-7 Nov, 2003, London, UK.
- 3) An invited presentation was made at "Nanotec forum, xpo and conference" held at Stockholm International Fairs, on 12-13 November 2003. This conference was attended by about 120 delegates¹. Adjacent to the conference an exhibition of nanotechnology was held, at which the programme was also presented in a 15 m² exhibit containing posters describing each project. This was well received, and attracted quite a number of visitors. Most of the projects were represented by the respective project leader or other member of the project.
- 4) An article was published in Ny Teknik, on 19 Nov 2003. This article covered the nanotechnology programme in general, but focussed on the project "multispectral camouflage coatings."
- 5) The author was invited to participate in the NanoNord workshop 16-17 October, 2003 at Skogshem (conference centre), Lidingö. The purpose of this workshop was to provide background material to a nanotechnology initiative that the Nordic Innovation Fund is considering launching in 2004. Further details of this workshop are available in a short report²
- 6) A presentation of the defence nanotechnology programme was made at the CeNano seminar day, 27 Nov. 2003 at Linköping university. CeNano is a nanotechnology centre founded by Linköping university to promote nanotechnology. Further information can be obtained from the director of the centre, Dr. Jens Birch, or at <http://www.cenano.liu.se>³

PROJECT DESCRIPTIONS

A detailed description of each project is contained in appendix 3. The objective and funding of each project is briefly described below. Note that the funding figures apply to the period 1 October 2003 to 30 September 2005, i.e. the first phase of the nanotechnology programme.

Project	Objective	Funding
BioNanoLab	To develop methods for molecular recognition, using biofluorescence detection in a microfluidic system. Especial attention is paid to prions.	3 million SEK/year
High temperature materials (HT-RAM)	To develop process technology and materials suitable for high temperature structural radar absorbers	3 million SEK/year
Ceramic based nanomaterials	To develop transparent ceramic materials for sensor apertures and ballistic protection	2,5 million SEK/year
Multispectral camouflage coatings	To develop a camouflage coating effective in the visual, IR and radar spectra	3 million SEK/year
Nanocomponents for THz region	To develop nanocomponents for generating and detecting THz radiation	3 million SEK/year

¹ Information from the organiser

² Nordic nanotechnology Workshop: conference report, by S.J. Savage, October 2003, FOI-R--0982--SE.

³ <http://www.cenano.liu.se> accessed 2003-12-09

Self-decontaminating surfaces	To develop a surface coating for hard and flexible surfaces which will neutralize B and C agents	3 million SEK/year
Sensor protection	To develop a solid state optical limiting material for optical-NIR wavelengths	3 million SEK/year

A first status report has been received from each project leader. In each case no unexpected difficulties have been reported. Some delay has been caused by the contract preparation phase, but this does not appear to be significant, and lost time should be made up in the next quarter. Further details of the status reports can be obtained from the sources listed below.

Project	Author of status report	Registration nr
BioNanoLab	Per Hammarström	03-1939:4
High temperature materials (HT-RAM)	Dennis Lundström	03-1939:5
Ceramic based nanomaterials	Magnus Oskarsson	03-1939:6
Multispectral camouflage coatings	Peter Edman	03-1939:7
Nanocomponents for THz region	Staffan Rudner	03-1939:8
Self-decontaminating surfaces	Dan Jacobsson	03-1939:9
Sensor protection	Cesar Lopes	03-1939:10

START CONFERENCE

The primary objective of the start conference was to assemble the project leaders and programme management group for a general introduction. The time and location were also chosen to enable others interested in the programme, primarily from Headquarters and FMV to listen to the overview presentations.

The agenda of the start conference is given in appendix 1, together with a list of participants.

PRELIMINARY ACTIVITY PLAN

A preliminary activity plan is given in appendix 4. This was presented at the start conference and comments as to the timing of the various activities requested by 30 Nov. No comments have been received, so it is assumed that the plan is acceptable. Changes to the plan can be made by the management group at a later date if this proves to be necessary.

SUMMARY

The nanotechnology programme was started according to decision of the management group on 1 October 2003. As of this time activity has been concentrated to start-up activities, which are proceeding as expected and according to plan. No difficulties have been reported, nor are any expected in the next quarter.

APPENDIX 1 the start conference

APPENDIX 1.1 Agenda of the start conference

Startkonferens

NANOTEKNIK I FÖRSVARSTILLÄMPNING

Endagskonferens den 14 november 2003 kl 0930—1500

Plats: Försvarsmaktens Högkvarter, Starrängsringen 69, Stockholm

Syfte

Startkonferensens syfte är

- att presentera programmets olika projekt
- att introducera programmets projektledare, -medlemmar och -ledning
- att ge programmets intressenter en kortfattad överblick.

Dagordning

0900-0930 Registrering

0930-0940 Ordföranden i programledningen har ordet

0940-1015 Inledande talare

Projektpresentationer

1015-1030 Nanokomponenter för THz-området

1030-1045 BioNanoLab

1045-1100 Paus, kaffe, te, vatten

1100-1115 Högtemperaturmaterial

1115-1130 Kerambaserat nanomaterial

1130-1145 Multispektral kamouflagebeläggning

1145-1200 Självsanerande ytor

1200-1215 Sensorskydd

1215-1315 Lunch på Försvarshögskolans restaurang

1315-1345 Programstruktur

1345-1415 Uppföljning, rapportering, betalningsrutiner, kvalitetsgranskning, m m

1415-1430 Paus, kaffe, te, vatten

1430-1500 Demonstration av webbportalen www.nanotek.se

Inloggning, struktur, behörighet, säkerhet, uppladdning, nerladdning, filformat, anmälningsprocesser, bildarkiv, sökning, länkar, m m.

APPENDIX 1.2 Start conference participants list

Namn
Sören Svensson, FOI
Anders Callenås, FOI
Hans-Ove Görtz, HKV
Anders Berg, FMV
Hans Norinder, FMV
Steven Savage, FOI
Per Hammarström, LiTH
Anna Jänis, FOI
Dennis Lundström, Volvo Aero
Magnus Oskarsson, FOI
Peter Edman, Saab Barracuda
Staffan Rudner, FOI
Dan Jacobsson, Inst Metallforskning
Cesar Lopes, FOI
Fritz Eriksson, HKV STRA
Anders Marén, Vinnova
Veronika Johansson, FMV KC Sensor
Kenth Henningsson, FMV KC SkyddS
Elisabeth Behm, FMV KC SkyddS
Ola Dickman, FMV KC SkyddS
Madelene Sandström, GD
Kristian Artman , HKV
Fredrik Pålsson, HKV
Christer Widgren, HKV
Bo Larsson (Övlt), HKV
Otto Schalling (Övlt), HKV
Ulf Finér, HKV
Hans Liwång, FHS
Mats Nygren, Stockholms universitet
C-G Ribbing, Uppsala Universitet & FOI
Peter Alberius, YKI
Mats Nilsson, Uppsala Universitet
Oliver Klett, Uppsala Universitet
Fredrik Nikolajeff, Uppsala Universitet
Lars Svensson, FMV KE Skyddsteknik
Jesper Brandt, Malmö Högskola
Torbjörn Skauli, FFI
Christer Ramstedt, HKV:STRA
Susanne Siberg, FOI (Administratör)

APPENDIX 2 Travel report from TRDI visit

Erfarenheter från besök vid TRDI i Japan 2003-10-05.

Deltagare: en person (övlt H-O Görtz, HKV, STRA UTVS INRI)

Tid: 1330-1700

Program: Redovisning samt seminarium

Besöket fokuserades på att informera TRDI (motsv FOI) om sju nya projekt inom NanoF-programmet.

Många intresserade och initierade frågor ställdes, som inte kunde besvaras så fullt som vore önskvärt, men deltagarna var nöjda med att de besvarades nöjaktigt. De intresserade kunde fortsätta dialogen, vid behov, genom att samverka med S KOIDE fvb POC Japan Bo Tarras-Wahlberg.

Under seminariet mottogs en briefing avseende det japanska programmet om BC-sensorer, samt ett genomfört arbete inom THz-området vid ett Universitet. Mottagna briefing underlag är översända till berörda vid FOI.

Sammantaget mottogs informationen om de olika projekten positivt. De uppskattade vårt initiativ till att informera om dessa projekt.

Det projekt som tilldrog sig störst intresse var BioNanoLab.

Den japanska sidan hoppades på att finna en lösning till att påbörja ett närmare samarbete inom BioNanoLab.

För närvarande erfordras viss övertalning internt med JDA (internal bureau) innan något ytterligare steg kan tas i frågan.

Avslutningsvis diskuterades svensk materielförsörjning avseende policy och strategi för politisk och militärstrategisk ledning och styrning.

Deras ambition är att genomföra ett besök vid FOI, på hög nivå, följt av en expertdelegation efteråt.

Förhoppningsvis sker besöken under 2004. Därvid kan den svenska inbjudan vara av stort värde vid beslutsfattningen.

APPENDIX 3 Project descriptions and working plans
APPENDIX 3.1 BioNanoLab

Project leader: Per Hammarström, Linköping University

Datum: 18 september 2003

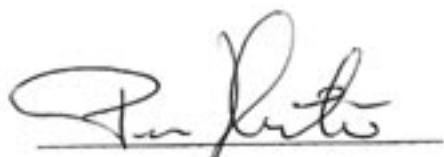
FOI Förvaltningsavdelning
Box 1165
581 11 Linköping

Er referens
Steven Savage
Tommy Lodehed

**Offert till FM Nanoteknikprogram avseende projektet "BioNanoLab"
enligt anbudsinfodran FOI 1885/03**

Förutom offertunderlag ingår i denna försändelse 3 stycken bilagor.

- Detaljerad projektbeskrivning (bilaga 1)
- Tilläggsoffert (bilaga 2)
- Förslag till ändringar i utkast till avtal (bilaga 3)



Per Hammarström
Projektledare
IFM-Kemi
Linköpings Universitet
581 83 Linköping



Helen Dannetun
Prefekt
IFM
Linköpings Universitet
581 83 Linköping

Offert till FM Nanoteknikprogram avseende projektet "BioNanoLab"

Offert för fas 1, ram 2500 kkr/år

Projektbeskrivning - sammanfattning

Bioteknologins utveckling medger både nya hot och möjligheter. Framtidens hotbild för samhället ligger i stor del knuten till terrorism och utbrott av diverse sjukdomar. Det hastiga utbrottet av SARS är ett exempel på hur snabbt en ny patogen kan uppstå och de oerhörda konsekvenser det får för samhället. Snabb detektion och diagnos är av yttersta vikt för att möta ett hot. Framgångarna inom biotekniken har medfört att riskerna har ökat att framtidens biovapen kan vara skräddarsydda bakterier, blandade sk. chimera virus och proteinbaserade patogener av prioritär. Målet för projektet är att ta fram och demonstrera nya detektionsprinciper för framtida biologiska vapen. Stor vikt läggs också på sk "dual use" dvs att knyta dessa kunskaper till detektion av "civila" problem. Metoderna baseras på molekylära igenkänningsprinciper, DNA-teknik samt optisk detektion (fluorescensteknik). En detaljerad projektplan finns som bilaga 1.

Målet för fas 1 är att genom forskning och internationell teknikbevakning vidareutveckla metoder för molekylär igenkänning framtagna av bioteknikgrupperna i projektet. Det långsiktiga målet är att anpassa lämplig optisk mätteknik (biofluorescens) som medger detektion av mycket små mängder i miniaturiserade mikrofluidsystem. Detta kräver en interdisciplinär arbetsmetodik med expertis inom biokemi såväl som i optisk detektionsteknik, mikrofluidsystem, mikrofabricering mm. Vid slutet på fas 1 skall vi ha den kunskap om delsystemen som gör att vi kan detaljplanera och realisera fas 2.

Visionen för fas 2 är att vidareutveckla och optimera mätsystemen framtagna i fas 1 och slutligen realisera och demonstrera dessa nya funktioner för detektion av biologiskt farliga ämnen (och/eller relevanta similiämnena) i en komplett prototyp av BioNanoLab.

Genomförandeplan-sammanfattning

Projektet genomförs i samverkan mellan LiU (Linköpings universitet), UU-R (Uppsala universitet, Rudbecklaboratoriet), UU-Å (Uppsala universitet, Ångströmlaboratoriet) samt NTNU (Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim). LiU leder projektet genom fas 1. Expertis från FOI-NBC skydd kopplas in i projektets slutfas då relevanta testmaterial alternativt similiämnena behöver användas.

Vid LiU och UU-R studeras lämpliga molekylära igenkänningsmekanismer och tillhörande reningsmetoder och märkning med optiska markörer (fluorescensprober).

Vid UU-Å utvecklas lämpliga mikrofluidsystem och integration med s k mikrooptiska element för optisk detektion.

Vid NTNU veriferas grundläggande fluorescensrespons för molekylära igenkänningsmekanismer i samverkan med UU-R och LiU.

NTNU, UU-Å samt UU-R provar och jämför olika kommersiella optiska excitations och detektionssystem lämpliga för integrering med mikrooptik och mikrofluidsystemet.

Leveranser och kostnader

Projektets resultat sammanfattas och presenteras muntligt kvartalsvis enligt kallelse från FOI samt halvårsvis i en lägesrapport enligt nedanstående tabell. Alla vetenskapliga resultat presenteras även i vetenskapliga tidskrifter och vid internationella konferenser. En lista med erhållna resultat och vetenskapliga publikationer uppdateras löpande.

Leveransmilstolpar för fas 1

Leveransdatum	Beskrivning	Kostnad (kSEK)
2003-11-12	Presentation av BioNanoLab projektet vid Nanotec mässan i Stockholm 12-13 nov, samt nanoprogrammets möte 14 nov. 2003. .	-
2004-06-30	Utveckling och utvärdering av molekylära igenkänningssystem, resultat av lämpliga detektionssystem (Lägesrapport).	1200
2004-12-10	Utveckling och utvärdering av molekylära igenkänningssystem (Lägesrapport).	1200
2005-06-15	Preliminär specificering av metodval, optiskt detektorsystem och mikrofluidsystem. Preliminär plan för reningssteg. Plan för fortsatt arbete i fas 2 (Lägesrapport).	1200
2005-12-15	Slutrapport	1400

Budget

Inom en ram på 2,5 Mkr årligen i två år planeras följande budget (i kSEK). Summorna är låsta.

	LiU	UU-R	UU-Å	NTNU	FOI
År 1					
Löner	200	300	345	-	50
Material	180	70	80	60	
Utrustning	85	140	40	260	
Resor	20	25	20	30	25
<i>OH-kostnader (%)</i>	29	30	30	15	
OH totalt för projektet	200	160	210	52.5	
TOTAL Y1	685	695	695	350	75
År 2					
Löner	220	300	345	-	50
Material	160	70	80	60	
Utrustning	85	140	40	260	
Resor	20	25	20	30	25
<i>OH-kostnader (%)</i>	29	30	30	15	
OH totalt för projektet	200	160	210	52.5	
TOTAL Y2	685	695	695	350	75

Samarbetspartners

Följande samarbetspartners förutom leverantören vid LiU ingår i projektet:

- UU-Å, Uppsala universitet-Ångströmlaboratoriet (Dr. F. Nikolajeff)
- UU-R, Uppsala universitet-Rudbeckslaboratoriet (prof. U. Landegren, Dr. M. Nilsson)
- NTNU, Norges tekniske-naturvitenskapelige universitet Trondheim (prof. M. Lindgren)
- FOI-NBC skydd, Umeå (Dr. P. Wikström)

Kontaktpersoner

PL fas 1: Per Hammarström, IFM-Department of Chemistry, Linköping University 581 83 Linköping. Tel: 013-285690; e-mail: perha@ifm.liu.se

Fredrik Nikolajeff, The Ångström Laboratory, Uppsala University, 751 21 Uppsala, Tel: 018-471 3036; e-mail: fredrik.nikolajeff@angstrom.uu.se

Ulf Landegren, Department of Genetics and Pathology, Uppsala University, 751 85 Uppsala Tel: 018-471 4910; e-mail: ulf.landegren@genpat.uu.se

Mats Nilsson, Department of Genetics and Pathology, Uppsala University, 751 85 Uppsala, Tel: 018-471 4816; e-mail: mats.nilsson@genpat.uu.se

Mikael Lindgren, Department of Physics, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), 7491 Trondheim, Norway, Tel: (+47)73593414; e-mail: Mikael.Lindgren@phys.ntnu.no

Per Wikström: FOI-NBC skydd, Cement vägen 20, 901 82 Umeå. Tel: 090-106600. e-mail: per.wikstrom@foi.se

Tilläggsoffert för fas 1, ram 500 kkr/år

Om projektet kan disponera ytterligare 0,5 Mkr per år i två år föreslås att projektgruppen genomför kompletterande studier avseende bl.a. alternativa detektionsprinciper, såsom elektrokemisk detektion. Detta arbete kommer att utföras av UU-Å och UU-R.

En detaljerad projektbeskrivning av detta finns i bilaga 2.

Bilaga 1. Detaljerad projektbeskrivning

Enclosure 1. Detailed Project plan – BioNanoLab

In phase 1 the project is in principle composed of four diverse technological/scientific parts:

- Technology and tools for protein based pathogen detection.
- Micro-fluidic device design and construction with integration of optical techniques for detection.
- Advanced DNA based detection of nucleic acids and proteins.
- Fluorescence characterization and detection of "molecular recognition".

The project group is a new constellation made up by 4 different groups. For simplicity the project description for phase 1 is divided into 4 parts so that each group clearly states its role, contributions and responsibility. In every part of the project activities are defined as a work package (wp). Thus, cooperations may be described in more than one wp. The results of phase 1 will be used to define a more focused and integrated project plan for the realization of the final BioNanoLab in phase 2.

Schedule 2004 (preliminary)

It has been decided upon a preliminary meeting schedule for 2004 where all participants of the project will be involved.

Meeting 1: 22-23 March, Trondheim

Meeting 2: 21-22 June, Uppsala

Meeting 3: 15-16 November, Linköping

Meeting 4: 2 - 3 December, Uppsala

Meetings for 2005 will be planned by the end of 2004.

First we present an overview of all work packages followed by detailed project descriptions.

Overview of work package outline

Project partner	2003	2004	2005	Phase 2: 2006-2008
LiU	Planning and presenting project	wp 1.1 Sample preparation protocols. wp 1.2 protein nano-particles wp 1.3 Conformational probes wp 1.4 scFv antibody construction	wp. 1.5 protein binders wp. 1.6 fluorescence labels wp. 1.7 protein binders coupled to molecular tools at UU-R. wp 1.8 Detection in flow systems	wp 1.9 Prion agents and assay wp. 1.10 Integration of techniques into microfluidic device

Project partner	2003	2004	2005	Phase 2: 2006-2008
UU-Å	Planning and presenting project	wp 2.1 Inventory phase wp 2.2 Light source evaluation wp 2.3 Detector evaluation	wp 2.4 Liquid pumping wp 2.5 Micro-optical components wp 2.6 Assembly and test of micro-optical set-up	wp 2.7 Microstructures for sample introduction and preparation wp 2.8 Microstructures for sample amplification wp 2.9 Integration of submodules into complete BioNanoLab

Project partner	2003	2004	2005	Phase 2: 2006-2008
UU-R	Planning and presenting project	wp 3.1: Fast and sensitive padlock probe protocol. wp 3.2: Proximity probe protocol for rolling circle replication wp 3.3: Design of first generation microfluidic structures wp 3.4: Counting individual padlock probe reaction products in solution wp 3.5: Counting individual padlock probe reaction products on solid phase	wp 3.6: Multiplex detection of biomolecules wp 3.7: Macro-micro interface wp 3.8: Data analysis software	wp 3.9 Sample introduction and preparation in microstructures wp 3.10 Sample amplification in microstructures wp 3.11 Integration of molecular and micromechanic submodules into complete BioNanoLab

Project partner	2003	2004	2005	Phase 2: 2006-2008
NTNU	Planning and presenting project	<p>wp 4.1<u>a</u> Spectroscopic characterization.</p> <p>wp 4.2. Tests of commercial time-resolved optical detection and excitation systems.</p>	<p>wp 4.1<u>b</u> Spectroscopic characterization, cont.</p> <p>wp 4.3. Design of optical detection and excitation systems for the BioNanoLab.</p>	wp. 4.3 Contribution to implementation and system integration (tbd).

Fluorescence Based Molecular Technology for Protein,- and Protein-Conformation Detection

Per Hammarström, LiU

Background

Proteins as toxic agents. Proteins can be toxic agents (e.g. ricin) without the presence of nucleic acid. Therefore, PCR technology will not be sufficient for protein detection if the biological weapon agent lacks nucleic acid. A future bioweapon, even a genetic weapon could include prions¹ or other proteins sharing a similar infection mechanism. Protein detection is enough for protein toxins such as ricin and botulinum toxin however not for prions and amyloidogenic proteins because here their different conformations render them toxic. Even mass spectrometry will be of little help for protein-infectious species because it is the conformation that is toxic. Toxicity is likely achieved through templated conformational conversion of misfolded proteins catalyzing the transformation of a benign protein in the host to a pathogenic form². There are several examples of transmissibility of protein conformational diseases that indicate that all these diseases could be infectious³. We are currently working on a number of proteins involved in conformational diseases in regular P1 facilities. During 2004 a new P3** laboratory will be built at LiU, enabling future work with prions.

Fluorescence detection. Fluorescence detection is sensitive, rapid and easy. Small and robust instruments for rapid detection in field tests are applicable in fluorescence devices. We have been working with obtaining detailed information on protein conformation^{4,5}, aggregation⁶ and protein interactions^{7,8} by the use of fluorescence techniques including FRET and pyrene excimer proximity probes. FRET can measure distances in the range 1-10 nm making it the method of choice for studies of macromolecules. My group in collaboration with Mikael Lindgren (NTNU) will use techniques aimed at protein detection by fluorescence as our main contribution to the project. Both steady-state and time-resolved fluorescence techniques will be used. In addition my group will work with Ulf Landegren and Mats Nilsson (UU-R) in combining protein binders with proximity ligation for increased sensitivity. We will also collaborate in detection of toxic protein nano-particles in microfluidic systems. This wp is also performed together with Fredrik Nikolajeff (UU-Å).

Detailed description of work packages (wp)

wp 1.1: Sample preparation protocols

Description: To limit background signals certain purification steps are necessary prior to detection, for example through DNA binding resins, enzyme digestion, NapTA precipitation, ion-exchange chromatography, immunoprecipitation etc. Some of these steps should be

¹ P. Hammarström, (2002) Future Developments and Threats in Biotechnology Over the Period 2002-2022

² S.B. Prusiner, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* (1998) 95, 13363-83.

³ Sigurdsson EM, T. Wisniewski, B. Frangione (*Trends Mol. Med.*, 8, 411-413, 2002)

⁴ P. Hammarström, B. Kalman, B.-H. Jonsson, U. Carlsson (*FEBS Letters*, 420, 63-68, 1997)

⁵ P. Hammarström, R. Owenius, L.-G. Mårtensson, U. Carlsson, and M. Lindgren (*Biophys. J.* 80, 2867-85, 2001)

⁶ P. Hammarström, M. Persson, P.-O. Freskgård, L.-G. Mårtensson, D. Andersson, B.-H. Jonsson, U. Carlsson (*Journal of Biological Chemistry*, 274, 32897-32903, 1999)

⁷ P. Hammarström, M. Persson, R. Owenius, M. Lindgren and U. Carlsson (*Journal of Biological Chemistry*, 275, 22832-8, 2000)

⁸ P. Hammarström, M. Persson and U. Carlsson (*Journal of Biological Chemistry*, 276, 21765-75, 2001)

performed prior to sample application and some steps will be incorporated into the microfluidic device.

Output: During phase 1 we will develop procedures that can be miniaturized during phase 2. Special focus is devoted to isolation of particles described in wp 1.2.

Timeline: 0401-0512

Participants: 0401-0412 LiU. 0501-0512 LiU and UU-Å.

wp 1.2: Protein nano-particles

Description: The conformational diseases that involve production of aggregated proteins including amyloid have many features in common. It has been shown in several reports that soluble oligomeric assemblies of misfolded proteins are the most toxic species as compared to the relatively inert full length amyloid fibrils. These soluble oligomers have some interesting properties that we can take advantage of to enable their detection.

Output: Such nano-particles formed from misfolded proteins and peptides from the prion protein will be evaluated using conformational probes in wp 1.3.

Nano-particle decoys will be constructed through surface coupling of cysteinylated peptides of the prion protein and A β 1-42 to nano-gold particles. These will be used as baits for phage display of scFv antibodies in wp 1.4.

Timeline: 0401-0412

Participants: LiU

wp 1.3: Conformational probes

Description: Probes for conformational detection of misfolded proteins include fluorescent dyes such ANS, Bis-ANS, Nile red and TNS that recognize specific epitopes of hydrophobic patches in protein structures. Amyloidogenic epitopes can be recognized by the dyes Congo red and ThT. We have found that assembled protein structures including amyloid can be detected through molecular rotors such as DCVJ (unpublished results). Binding of the conformational probes generates specific fluorescent signals.

Output: Collection of spectroscopic signals from several toxic proteins will be used to generate "conformational libraries" from such dyes.

Timeline: 0401-0412

Participants: LiU, NTNU

wp 1.4: scFv antibody construction

Description: scFv binders have been developed for PrP detection, through phage display. We have some of these constructs in the laboratory. To obtain sites for attachment of extrinsic labels (see wp. 1.5-1.6) that do not interfere with antigen binding sites cysteine residues can be introduced in terminal regions of the molecules through protein engineering. Multiple valence of the scFv's can be engineered by linking codons for assembly peptides and fusion domain on the scFv construct gene.

Output: Phage display panning of scFv versus engineered nano-particles produced through peptide conjugation to nano-gold particles (described in wp 1.2) will be performed to generate good binders. Engineering of scFv antibody will produce multiple valence and attachment of tails etc.

Timeline: 0401-0512

Participants: LiU

wp 1.5-1.6: Protein binders and fluorescent labels.

Description: Antibodies can selectively bind specific antigens such as toxins and prions. Molecular chaperones are biological sensors for misfolded proteins. Sensitive detection can

be achieved through fluorescence from extrinsic dyes attached to the binders instead from enzymatic reactions (ELISA). Fluorescence conjugation chemistry requires minimal effects on antigen/protein binding efficiency and introduced high detection capability. Efficient use of chromophores enables harvesting a strong signal. One problem with utilizing fluorescent labeling is extensive modification of the binder affecting its binding efficiency. Attachment of antibodies or molecular chaperones on fluorescent microspheres can enable detection of antigens e.g. through assembly (aggregation) of fluorescence microspheres "glued together" by antigen binding.

Output: We will use modifications at fewer sites by using cysteine labeling and attachment of large fluorescence tails entailing 10-100 dyes/tail to our binders (e.g. wp. 1.4). The fluorophores have to be distributed throughout a polymer chain to avoid self-quenching photonic effects. The fluorescence tails will be constructed by derivatizing amine containing polymers with fluorophores and bifunctional reagents to render them fluorescent and reactive towards cysteines by introducing maleimide functionalities. Labeling of antibodies versus the same antigen with either fluorescent donor or acceptor tails will enable FRET detection after mixing. Commercially available fluorescent microspheres will also be employed⁹. These particles are accessible in sizes as small as 40 nm in diameter and are designed for fluorescence detection. They have intrinsic FRET properties enabling light to be harvested at many different wavelengths using the same excitation wavelength. The microspheres are carboxylated enabling conjugation with EDAC to free amines on proteins such as antibodies/chaperones.

Timeline: 0401-0512

Participants: LiU, NTNU

wp 1.7: protein binders coupled to molecular tools at UU-R.

Description: The toxic species investigated in these studies originate from assemblies of the same protein. Given this intrinsic symmetry only a single epitope and a single binder is required.

Output: DNA probes can be coupled to binders (described in wp 1.5-1.6) enabling their amplification through proximity ligation or rolling circle amplification.

Timeline: 0506-0512

Participants: LiU and UU-R

wp 1.8: Detection in flow systems

Description: Clusters of labels can be detected in a micro-channel flow-system coupled to a confocal microscope. This technology will be evaluated in wp 3.4.

Output: Proof-of principle tryout of detection of protein nano-particles in this experimental setup will be performed. Colocalization of different dyes or FRET between dyes coupled to the same binder can be used as a marker of protein nano-particles.

Timeline: 0501-0512

Participants: LiU, UU-R and UU-Å.

⁹ www.molecularprobes.com

Microfabrication and the Lab-on-a-Chip Concept

Fredrik Nikolajeff, UU-Å

Background

General. Microfabrication and the drive to analyze thousands or hundreds of thousands of samples quickly and efficiently have led to the development of a new form of analytical technology: "The lab-on-a-chip" concept. Standard laboratory techniques such as electrophoresis, polymerase chain reaction (PCR), and DNA sequencing are now all being miniaturized by various research groups, with increased analysis speed and reduced sample volumes as result. In their most complete form, Lab-On-a-Chip devices (LOCs) incorporate sample preparation, chemical separation, and analysis on a single, integrated substrate. According to the U.S. Advanced Technologies Program at the National Institute for Standards and Technologies (ATP/NIST), requirements for the development of optimal LOC technology include: biocompatibility (the ability to handle biological samples without degrading key analytes); control and communication of data to user; and integration. Enabling technologies include detection, microfluidics, microelectronic mechanical systems (MEMS), microseparations, optoelectronics and integrated optics, sensors, and new approaches to fabrication. An important application is point-of-care testing (e.g. at a patient's bedside at a battlefield hospital or directly on the battlefield) where samples are taken in the form of soil, water, blood, or air. This is also the application our BioNanoLab will be aimed for.

Microfabrication. In order to realize the microchannels and related structures for controlling the sample, buffer and other chemical substances we will need to use various microfabrication methods, such as silicon etching, photolithography and possibly plasma etching. We will also need to investigate which type of materials, preferably polymer, we can use. One important issue will be the integration of the different submodules into a complete system (BioNanoLab). We therefore aim to work closely with the other partners for testing and verifying different structure geometries and materials of the separate parts that will finally build up the system.

Micro-optics. The preferred detection method will be based on optical fluorescence techniques. The partner providing a palette of bulk laser sources (NTNU) will work on which laser wavelengths that are the most suitable. Our work will be to miniaturize the optical detection system, and we will therefore need access to microfabrication methods also for this task.

Detailed description of work packages (wp)

wp 2.1: Inventory of microfabrication methods and materials

Description: In order to realize the microchannels and related structures for controlling the sample, buffer and other chemical substances we will need to use various microfabrication methods, such as silicon etching, photolithography and possibly plasma etching. We will also need to investigate which type of materials, preferably polymer, we can use.

Output: A list of the microfabrication methods and material(s) we will use. Secured access to the equipment needed.

Timeline: 0401-0403

Participants: UU-Å.

wp 2.2: Light source evaluation

Description: Testing and evaluation of various light sources suitable for fluorophor excitation in a compact instrument. The optical detection is performed with standard methods (e.g. epifluorescent-microscopy).

Output: One or several excitation sources will be presented.

Timeline: 0404-0407

Participants: UU-Å, UU-R, and NTNU

wp 2.3: Detector evaluation

Description: Testing and evaluation of various detectors suitable for fluorophor detection in a compact instrument.

Output: A suitable optical detector will be presented.

Timeline: 0408-0412

Participants: UU-Å, UU-R and NTNU.

wp 2.4: Liquid pumping

Description: Testing and evaluation of various strategies for liquid pumping. Emphasis will be on electroosmosis and pressure driven flows.

Output: A liquid pumping system will be presented.

Timeline: 0501-0503

Participants: UU-R and UU-Å

wp 2.5: Micro-optical components

Description: Fabrication and purchase of the micro-optical components needed for building a miniaturized optical detection system.

Output: Micro-optical components, e.g. microlenses or gratings.

Timeline: 0504-0508

Participants: UU-Å.

wp 2.6: Assembling and testing of micro-optical detection

Description: Assembling of the discrete micro-optical components and testing of the subsystem using labeled biomolecules.

Output: Results from the micro-optical detection system, comparison with the results from wp 2.3.

Timeline: 0509-0512

Participants: UU-Å.

Integrated Molecular and Micromechanical Tools for Bioagent Detection

Ulf Landegren & Mats Nilsson, UU-R

Background

Molecular tools for detection of nucleic acids and proteins. Our research groups have a strong tradition in developing molecular tools and procedures for detection of nucleic acids and proteins. One genotyping method pioneered by us, the oligonucleotide ligation assay, underlies the leading commercial test for the genetic disorder cystic fibrosis¹⁰. Our so-called padlock probes¹¹ as provided by a US company we have co-founded, ParAllele Bioscience, were selected by the National Institute of Health of USA in October 2002 as one of three technology platforms in a recently initiated genome project. This project is aimed at characterizing the sequence context of genetic variation in the human genome, the HapMap. Earlier this year we presented for the first time an analytic mechanism enabling ultrasensitive protein analyses – proximity ligation. We have not yet described in the public literature a powerful means of amplifying detection signals of biological agents.

Our work is typically aimed at establishing tools for characterization of genomes and their products in research and for medical applications. With the present application we now propose to apply our technologies for rapid, sensitive detection of biological agents. We will develop integrated nanoscale molecular tools and micromechanical devices suitable as personal bioanalyzers for detection of health hazards in the form of natural or engineered biological agents.

Aims. We plan to adapt molecular tools previously developed by ourselves to now establish simple, extremely rapid tests for biological agents under field conditions. We will develop procedures to go from preparation of specimens to access proteins and nucleic acids; specific recognition of nucleic acids using padlock probes or proteins through proximity ligation; amplification of detection signals via rolling circle replication; to on-line read-out by detection of amplification products. All these steps will be implemented in a miniature assay system. The proposed project represents a seamless succession of analytic steps, preserving detection sensitivity and specificity, and integrated into one analytic device.

Sample preparation. This is an often neglected step of great importance. We have some experience of this problem^{12,13}, but new solutions are likely to be required for the present assay format. Sample preparation will not be the main focus in phase I of our part of the project, but will be dealt with by LiU.

Padlock probes. We have demonstrated that padlock probes, like the polymerase chain reaction (PCR), are sufficiently specific to detect unique DNA or RNA sequences in complex samples. Unlike PCR, padlock probes can be combined in large numbers for parallel analysis of sets of target molecules, however^{14,15}. We now plan to redesign probes and procedures to permit addition of sufficient concentrations to drive hybridization but without increasing background. The purpose is to detect target sequences in a one-minute hybridization/ligation

¹⁰ Landegren U, Kaiser R, Sanders J, and Hood L. *Science*, 1988, 241: 1077-1080.

¹¹ Nilsson M, Malmgren H, Samiotaki M, Kwiatkowski M, Chaudhary B, and Landegren U. *Science*, 1994 265: 2085-2088.

¹² Parik J, Kwiatkowski M, Lagerkvist A, Samiotaki M, Lagerström M, Stewart J, Glad G, Mendel-Hartvig M, and Landegren U. *Analytical Biochemistry*, 1993 211: 144-150.

¹³ Hagberg A, Barbany G, Samiotaki M, Landegren U. *Nucleic Acids Research*, 2000 28: E54

¹⁴ Hardenbol, P., Baner, J., Jain, M., Nilsson, M., Namsaraev, E.A., Karlin-Neumann, G.A., Fakhrai-Rad, H., Ronaghi, M., Willis, T.D., Landegren, U. et al. *Nat. Biotechnol.*, 2003 21: 673-678.

¹⁵ Baner, J., Isaksson, A., Waldenström, E., Jarvius, J., Landegren, U. and Nilsson, M. *Nucleic Acids Res.*, 2003 31: e103.

reaction. We are optimistic that such designs can be found.

Proximity ligation. We have achieved highly specific and sensitive protein detection by requiring coincident detection of single target molecules by two or more affinity probes¹⁶. Coincident binding juxtaposes DNA strands attached to the affinity probes, allowing these to be ligated, followed by nucleic acid amplification by PCR. The assay can be performed without any requirement for washes, and we expect to increase the already high detection sensitivity by judicious choice of target-binding reagents and assay design. We have preliminary results that specific detection can yield circular DNA ligation products, suitable for detection as described below. We will collaborate with Per Hammarström (LiU) on suitable protein binding reagents for proximity ligation.

Rolling circle replication and signal detection. We and others have demonstrated that circular DNA strands can be used to template rolling circle replication reactions, enabling sensitive detection¹⁷. Recently we have applied for patent for, but not yet published, a series of methods for sensitive, multiplexed detection of circular DNA strands using rolling circle-related procedures. Some of these procedures will be ideally suited for integrated genotyping devices, as highly specific and sensitive detection is possible with no or minimal requirements for washes or temperature cycling. We will also investigate polymerases sufficiently rapid to bring the required amplification times down to single minutes. The method permits digital gene detection, where individual target molecules are reflected by large, easily visualized concatemer rolling circle replication products¹⁸.

Microchannel devices. We are collaborating with Fredrik Nikolajeff (UU-Å), in designing and manufacturing by polymer replication, devices for liquid transport. In the context of the present project this work will be aimed at establishing integrated test devices for field use. We have theoretical solutions to the problems of constructing pumps and valves that should permit integration of all molecular procedures and ancillary functions in miniature, low cost test systems.

Electrochemical detection. If the project will be funded according to the higher alternative level, the molecular approaches described will also be detected by electrochemical means (see enclosure 2), complementing the fluorescence read-out that will be the only detection means at the lower funding level.

Detailed description of work packages (wp)

wp 3.1: Fast and sensitive padlock probe protocol.

Description: The design of the padlock probe and/or probing procedure will be improved to decrease the time required for padlock probe based detection of target molecules at low concentration. The main objective is to remove or destroy remaining non-reacted probes that otherwise interfere with the detection reaction.

Output: Improved padlock probe protocol.

Timeline: 0401-0412

Participants: UU-R.

¹⁶ Fredriksson S, Gullberg M, Jarvius J, Olsson C, Pietras K, Östman A, Landegren U. *Nature Biotechnology*, 2002 20: 473-477

¹⁷ Banér J, Nilsson M, Mendel-Hartvig M, and Landegren U. *Nucleic Acids Research*, 1998 26: 5073-5078

¹⁸ Blab, G.A., Schmidt, T. and Nilsson, M. 2003 *Submitted*.

wp 3.2: Proximity probe protocol for rolling circle replication

Description: The design of the proximity probe and /or probing procedure will be adapted for rolling-circle replication to allow efficient detection in the BioNanoLab.

Output: Adapted proximity probe protocol.

Timeline: 0401-0412

Participants: UU-R.

wp 3.3: Design of first generation microfluidic structures

Description: To design microfluidic structures for fluorescent detection of biomolecules. The initial work will be focused at choosing suitable materials for replication and optical read out. Thereafter different micro machining techniques will be used to produce micro fluidic channels. Characterisation will be done using a simplified model system.

Output: Microfluidic structures in suitable materials for fluorescence detection.

Timeline: 0401-0412

Participants: UU-R and UU-Å.

wp 3.4: Counting individual padlock probe reaction products in solution

Description: Adaptation of padlock probe technology to a microfluidic platform. Rolling-circle products from individual padlock probe detection reactions are counted in solution in microfluidic channels. Fluorescent signals will be analysed using different platforms (epifluorescent-, confocal-microscopy). The sensitivity, precision, selectivity and dynamic range of the detection system are determined for analysis of nucleic acid sequences.

Output: A conceptual proof of principle for biomolecular detection using padlock probes on a microfluidic platform. Determination of performance metrics of the method for nucleic acid analysis.

Timeline: 0401-0412

Participants: UUR and UUÅ.

wp 3.5: Counting individual padlock probe reaction products on solid phase

Description: As an alternative approach to the wp 3.4, rolling-circle products from individual padlock probe detection reactions will be counted on the surface of a microfluidic channel. The performance of this detection format will be compared with the homogenous detection format.

Output: A solid phase based detection format for the BioNanoLab.

Timeline: 0401-0412

Participants: UUR.

wp 3.6: Multiplex detection of biomolecules

Description: Evaluation of the possibility to simultaneously analyse multiple samples in parallel on a microfluidic platform. Different means of multiplexing will be analysed, either geometrical or molecular.

Output: A multiplexed format will be presented.

Timeline: 0501-0512

Participants: UU-R and UU-Å

wp 3.7: Macro-micro interface

Description: A macro-micro interface will be developed that allows rapid and precise loading of sample into the microfluidic detection device.

Output: A macro-micro interface will be presented.

Timeline: 0501-0512

Participants: UU-R and UU-Å

wp 3.8: Data analysis software

Description: A computer program will be developed optimized for handling the data produced from the microfluidic detection device.

Output: A data analysis software will be presented.

Timeline: 0501-0512

Participants: UU-R and UU-Å

Biophotonic technology - fluorescence excitation and detection systems

Mikael Lindgren, NTNU

In the BioNanoLab project NTNU will have two roles. One as a resource for advanced fluorescence spectroscopy of the biosystems used for molecular recognition (with UU-R and LiU). The other in supporting the design of the optical fluorescence detection system of the final BioNanoLab (UU-Å has main responsibility). The spectroscopic part is in part also a resource for the Sensor Protection project within the Nanoprogram.

Background

Modern photonic technology provides means to detect single photon events. High repetition rate lasers with short pulses (<100 ps) provide excitation sources for specific excitation from ultraviolet to infrared wavelengths. It is possible to directly measure a variety of dynamic molecular properties of the biosystem. The spectroscopic part of the proposed research project constitutes both challenges and possibilities to explore and develop novel and unique techniques for characterizing biological systems utilizing modern state-of-the-art photonic equipment. A tuneable Ti:Sapphire laser for studies of multiphoton excitation processes and life-time measurements (sub ns) will be available at NTNU, along with advanced detection systems for time-correlated single-photon counting. Confocal laser scanning and multiphoton microscopy are established techniques at the Faculty of Natural Science and Technology, NTNU. We have also experience in designing detection and systems for using various cw, pulsed LED and lasers as excitation source. Suitable optical excitation and detection systems shall be designed and investigated together with UU-Å responsible for the sample compartment and microoptic design of the final BioNanoLab.

Detailed description of work packages (wp)

The following equipment is currently in the process of being purchased and will be installed at NTNU by spring 2004. Detector system for time correlated single photon counting allowing measurement of fluorescence decay times between ca 20 ps and 1000 ns is provided by NTNU. For this particular BioNanoLab project the equipment will be extended with the possibility to excite with pulsed (ca 200 ps - 1.5 ns) fixed wavelength (ca 350 - 500 nm) LED and/or LD sources for life-time measurements. These sources will also be tested as excitation sources for the BioNanoLab. Finally, a fluorescence detector system for the BioNanoLab will be designed and tested together with the rest of the project group.

An experienced researcher (ML at 25%) and a graduate student (NN, to be hired 2004, at 40%) will set-up suitable measurement systems and carry out the measurements. The cost for this time will be covered by NTNU, Institute of Physics (a "start-up grant" for ML).

wp 4.1: Spectroscopic characterization

Description: Spectroscopic characterization of biofluorescent systems provided by the activities of the biochemical wp:s. Fluorescence spectra, life-times, polarization anisotropy, etc., will be characterized in order to understand detailed molecular association properties. See wp:s of UUR and LiU for details of the biomolecular systems to be studied.

Output: Spectroscopic data

Timeline: 0403-0512

Participants: NTNU with LiU and UU-R

wp 4.2: Tests of commercial time-resolved optical detection and excitation systems

CCD and PDA detector arrays are cheap and sensitive technology making it possible to record fluorescence spectra 'instantly' at ms time-resolution. Arrays of PMTs and APDs are more sensitive and can in addition be used for more delicate time resolved measurements (sub ms).

Description: In this wp detector schemes for pulsed excitation sources will be studied (time-resolved detection). A state-of-the-art commercial detection system (PMT array) will be purchased and used to get "hands-on" experience of the fluorescence of micro-fluid systems developed by UU-Å. Cheaper and simpler arrays (CCD and PDA) will also be tested. The results and experience are used to specify and design the final BioNanoLab in wp 4.3 together with UU-Å.

Output: Preliminary specifications for detection systems of fluorescence detection in microfluidic channels.

Timeline: 0401-0506

Participants: NTNU in collaboration with UU-Å and UU-R.

wp 4.3. Design of optical detection and excitation systems for the BioNanoLab

Description: This wp will be outlined more in detail after yr 1. The aim is to use results of the detectors (wp 4.2) and the available excitation sources to specify the detection system of the final BioNanoLab.

Output: Specifications for fluorescence detection and detection system of the BioNanoLab in Phase 2.

Timeline: 0501-0509

Participants: NTNU in collaboration with UU-Å and UU-R.

Bilaga 2. Tilläggsoffert för fas 1, ram 500 kkr/år

Enclosure 2. Optional offer

Integrated On-Chip Electrochemical Detection

Sub-project summary

One main part of the project is the molecular recognition of "hostile" bio-macromolecules, e.g. proteins, viral RNA or bacterial DNA and the amplification of the obtainable signal from these biological recognition events. In the main track of the project, optical methods (fluorescence spectroscopy) will be used to detect the amplification products. Alternative detection schemes to fluorescence detection can be offered by electrochemical methods which are well documented in the detection of chemical and biological warfare agents¹⁹. General advances of these methods are that the instrumentation needed is comparably low-cost, have low power consumption²⁰, necessary microelectrodes in polymer materials are easily processable and that the analytical results are already obtained in the electrical domain, which facilitates further signal processing. Vetcha *et al.*²¹ fabricated already in 2002 a handheld device for screening of Hantavirus in mice based on an amperometric immunoassay. Thus, these methods are quite well established in portable on-field detection applications. In combination with the molecular recognizing methods (e.g. Rolling Circle Amplification, RCA) developed at UU-R however, amperometric or impedance-spectroscopic methods would furthermore enable fast and sensitive detection of virtually any protein-, DNA-, or RNA-based agent to which proximity ligation probes or padlock probes can be found for. Besides offering an alternative detection method, electrochemical methods using integrated microelectrodes could be used to capture target molecules in the focus of a static fluorescence detection setup.

Minor additions to the main track would thus provide the project with an alternative Back-Up detection system and, in phase II, with means to fine-tune and localize the optical detection. The somewhat higher detection limits sometimes encountered in electrochemical detection compared to laser fluorescence detection would not hamper its use as secondary detection scheme, as the sensor senses the amount of amplified RCA product rather than the original analyte concentration. Besides the robustness and ruggedness of the electrochemical equipment, the fact that electrochemical results are not affected by differences in sample turbidity, advocate the integration of them along the fluorescence detection scheme.

Goal phase I

Within phase I the Rolling Circle Amplification (RCA) technique established at UU-R should be linked to electrochemical detection at microelectrodes. The molecular recognition provided by RCA could by this directly be transduced into the electrical domain for the output signal of the device.

¹⁹ Jasmin Shah; Wilkins, E. *Electroanalysis* 2003, 15, 157-167.

²⁰ Douglas J Jackson; Naber, J. F.; Roussel, T. J.; Crain, M. M.; Walsh, K. M.; Keunton, R. S.; Baldwin, R. P. *Analytical Chemistry* 2003, 75.

²¹ Vetcha, S.; Wilkins, E.; Yates, T.; Hjelle, B. *Talanta* 2002, 58, 517-528.

Vision phase II

Combination of modified microelectrodes with integrated waveguides to lead the light for optical direction at the point of molecular recognition.

Work-load distribution

Suitable molecular recognition probes are studied at UU-R. In addition to fluorescence labeling, the probes will also be redox-labeled. At UU-Å microelectrode arrays in various materials and substrates are prepared. The linking of proximity- or padlock probes to the electrodes will be studied. Further, the detection of the amplification products will be studied. The design of the microfabrication steps will be held compatible to the future integration with the optical detection system.

Delivery and costs

Date of Delivery	Description	Costs (kSEK)
2004-02-01	Arrays of microelectrodes made of different materials embedded in different polymeric substrates	15
2004-06-30	Linkage of recognition probes for one model compound to microelectrodes in batch experiments, first evaluation	235
2004-12-10	Linkage of recognition probes for one model compound to microelectrodes and electrochemical detection of amplification product of one model analyte in batch experiments, first evaluation	250
2005-06-30	Linkage of recognition probes for one model compound to microelectrodes and electrochemical detection of amplification product of one model analyte in microfluidic experiments, first evaluation	250
2005-12-15	Summary and evaluation	250

Budget

<i>Year 1</i> (in kSEK)	UU-Å	UU-R
Salary	160	160
Material	10	32
Equipment	22	
Travels		
OH (%)	30	30
OH total	58	58
Total	250	250

<i>Year 2</i> (in kSEK)	UU-Å	UU-R
Salary	160	160
Material	10	32
Equipment	22	
Travels		
OH (%)	30	30
OH total	58	58
Total	250	250

Integrated Electrochemical Detection

Oliver Klett, UU-Å

Background

Electrochemical Detection. Electrochemical methods are generally based on electrochemical processes taking place on an electrode surface²². This makes these techniques suitable for the study of micro environments since in a given system, the surface area decreases with a^2 , while the volume decreases with a^3 upon downsizing with a factor a (where $a < 1$). The surface to volume ratio will hence increase with the same factor used to decrease the lateral dimensions of a system²³. In other words, the smaller the sample volume, the more surface-based techniques are in favor. The heart pieces of electrochemical detection, the electrodes are readily miniaturizable and fit thus well with the concept of a Lab-on-a-chip and integration of instrumentation and sensing element on a silicon chip is possible²⁴. The electrodes employed in amperometric detection even perform better in terms of response time and signal-to-noise ration with decreasing size. Electrochemical sensors are used in a wide range of application, as recently reviewed by Bakker and Telting-Diaz²⁵.

Surface modification and Hybridisation Sensors. Electrochemical sensors sense directly in the sample and have molecular contact to it. And thus also to all matrix and interferences in a sample. This effect is pronounced in biological samples and to avoid problem with unspecific adsorption to the electrode, all of the sensing electrodes are coated and specific probes are linked to them that specifically bind to or hybridize with the target molecule. This hybridization event can electrochemically be monitored, either by the occurrence of an electron transfer (i.e. a current in the case of an amperometric sensor) or by a change in the surface capacitance (in the case of an impedance based sensor).

Detailed description of the work packages

wp 5.1: Fabrication of suitable arrays of individually addressable microelectrodes

Description: The electrochemical detection (or sample handling) part will be based on micrometer sized (e.g. squares of 5 by 5 μm) electrodes. Arrays of these will be produced in a variety of electrode materials (e.g. gold, platinum, copper, carbon) and a variety of substrates (e.g. PMMA, PC, Zeonor). These electrode arrays will be used in the further experiments and can eventually be included in the microdevice. This wp supports and facilitates wp 2.1.

Output: Microelectrode arrays and electrochemical characterization of the electrodes.

Timeline: 0311-0401

Participants: UU-Å

wp 5.2: Inventory of existing linkers and electrode modifiers

Description: In the literature a wide range of procedures are described to modify electrodes and link biomolecules as enzymes or DNA-probes to electrode surfaces (e.g. Wrobel et al²⁶).

²² Bard, A.; Faulkner, L. *John Wiley & Sons, New York 1980*, 2.

²³ A cube with an edge length of 1 mm has a surface to volume ratio of 6 mm^{-1} . By reducing the edge length to 0.1 mm, this ratio is increased to 60 mm^{-1} .

²⁴ Abhishek Bandyopadhyay; Grant Mulliken; Gert Cauwenberghs; Thakor, N. *JSCAS abstract 2002 2002, Smart Sensors II*.

²⁵ Bakker, E.; Telting-Diaz, M. *Analytical Chemistry 2002*, 74, 2781-2800.

²⁶ Nadia Wrobel; Werner Deininger; Peter Hegemann; Mirsky, V. M. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 2003*, 30.

During this working package the most suitable linkage chemistries will be evaluated. Attention will also be paid on redox-reversible surface modifications, i.e. possibilities to anchor hybridization probes spatially resolved and reversible at the electrodes.

Output: Tentative surface modification protocols.

Timeline: 0402-0403

Participants: UU-Å

wp 5.3: Synthesis of linkable recognition probes and redox-tagged probes

Description: Upon choice of one model target molecule, fitting recognition probes will be synthesized. The compatibility of redox-tags to the signal amplification step will be verified. Linkage of probes and other modifiers to the electrodes.

Output: Modified microelectrodes and redox-tagged amplification products.

Timeline: 0403

Participants: UU-R, UU-Å

wp 5.4: Fabrication of suitable arrays of individually addressable, recognition-probe modified microelectrodes and electrochemical evaluation

Description: Combination of the results from wp 5.1-5.3.

Output: Electrochemical evaluation of recognition probes for one model compound linked to microelectrodes in batch experiments.

Timeline: 0403-0407

Participants: UU-R, UU-Å

wp 5.5: Electrochemical detection of biochemical amplification products of localized molecular recognition

Description: Electrochemical evaluation of recognition probes and the amplification products formed for one model compound linked to microelectrodes in batch experiments.

Output: Prototype of an electrode-array chip that is compatible with the intended chemistry and setup for the entire microdevice

Timeline: 0408-0412

Participants: UU-R, UU-Å

wp 5.6: Integration and assembling with other parts of project

Description: During the design and fabrication of the optical components of wp 2.5 the findings of wp 5.5 will be included and further integrated during wp 2.6.

Output: see wp 2.6 plus an addition third system integrated in the microdevice substrate.

Timeline: 0501-0512

Participants: UU-Å

Bilaga 3. Försrag till ändringar i utkast till avtal i anbudsinfodran FOI 1885/03

Bakgrund

Avtalet är ett inomstatligt avtal mellan FOI och Linköpings universitet. I och med detta bör vissa punkter falla i nuvarande utkast. Övriga samarbetspartners är också offentliga myndigheter nämligen Uppsala universitet, Norges Naturvetenskaplige och Tekniska Universitet i Trondheim och FOI-NBC skydd Umeå.

Listade förslag till ändringar och tillägg.

1. Tillägg. Punkt 4. Uppdrags ansvarig

Samarbetspartners skrivs in i avtalet för att klargöra projektstrukturen och förenkla administration. Avtalet undertecknas av uppdragsansvarig leverantören (Linköpings universitet) och samarbetspartners Uppsala universitet, Norges tekniske-naturvitenskapelige universitet i Trondheim samt FOI-NBC skydd Umeå.

2. Punkt 9. Äganderätt.

Vi anser att äganderätten till forskningsresultat framtagna inom BioNanoLab-projektet tillkommer de enskilda forskarna i enlighet med lärarundantaget vid svenska universitet. FOI har en icke-exklusiv rätt att nyttja resultaten för bruk inom det svenska totalförsvaret och den svenska försvarsmakten. Ersättning till ägarna utgår vid nyttjande av licensen enligt nivå som fastställs från fall till fall i proportion till hur stort FOIs forskningsanslag varit och hur stort värdet av den nyttjade licensen är.

3. Punkt 10. Utnyttjande av uppdrag i marknadsföringssyfte

I likhet med punkt 9 bör tillgång och utnyttjanderätt till publicering av framtagna resultat tillåtas att användas av universitetsforskarna i enlighet med att de representerar offentliga myndigheter. Publicering bör vara tillåten i vetenskapliga artiklar, årsberättelse och ansökningar om anslag utan medgivande av FOI.

4. Punkt 11. Sekretess

Ingen nuvarande planering av projektet innehåller sekretessbelagda uppgifter. Linköpings universitet är en offentlig myndighet varför punkt 11 bör hävas. I annat fall bör FOI specificera i vilken mån sekretess är tillbörligt.

5. Punkt 12. Hävning av avtalet.

I ett inomstatligt avtal är det inte tillbörligt med skadestånd varför meningen: "Leverantören är skyldig att ersätta den skada FOI kan lida till följd av avtalsbrott." bör strykas. Dessutom är det orimligt att Linköpings universitet försätts i konkurs varför sista meningen är onödig.

6. Punkt 18. Tvist m.m.

Skrivs om. I ett inomstatligt avtal är det inte möjligt att dra tvist till domstol.

Nytt förslag: "Tvist angående detta avtal skall i samförstånd lösas av ingående avtalspartners".

APPENDIX 3.2 High temperature materials (HT-RAM)

Project leader: Dennis Lundström, Volvo Aero Corp

Inledning

Framdrivningssystem med extremt låg signatur är absolut nödvändigt för somliga framtida flygande farkoster. En farkosts totala signatur kan reduceras med radarabsorberande högtemperaturmaterial.

Denna projektplan är grundad på projektförslaget "Högtemperatur radarabsorberande material (HT-RAM)" som inlämnats inom FM Nanoteknikprogram, ref. [1].

Arbetet inom projektet kommer att vara inriktat på att ta fram en radarabsorberande lastbärande keramkomposit med nanofibrer som en aktiv komponent för att erhålla radarabsorption. Kompositmaterialet är tänkt att främst kunna användas för temperaturområdet 600-1000°C, men även högre temperaturer uppåt 2000°C för kortare livstider kan vara av intresse. Dess främsta användningsområde är tänkt inom framdrivningssystem för framtida militära farkoster såsom UAV'er, men även upgradering av dagens framdrivningssystem är av intresse. Den kunskap som erhållits under tidigare år utgör en bas för det kommande arbetet.

Projektet genomförs som ett samarbete mellan Volvo Aero, FOI, Laboratoire des Multimatériaux et Interfaces (LMI), Malmö högskola, Chalmers Tekniska Högskola och Saab. Vilka ansvarsområden de olika parterna har beskrivs mer i detalj i stycke 5.1.

Syfte

Projektets syfte är främst att erhålla

- Förhöjd nationell kunskap inom området radarabsorberande högtemperaturmaterial.
- Skapa grunder för framtida samarbeten inom området vilket kan leda till nationella och internationella demonstrator/utvecklingsprogram.

Mål

Projektmål

De övergripande projektmålen är:

- Ta fram koncept för en radarabsorberande högtemperatur keramkomposit för framdrivningssystem
- Förbättra tillverkningsprocesser och materialval för minskat sprödbrottsbeteende och ökad hållfasthet.
- Ökade kunskaper om åldringseffekter vid höga temperaturer, såsom under tillverkningsprocess och användning, vilket påverkar signaturegenskaperna.
- Signifikant ökad nationell kunskap.

- Enkel provplatta testad i rigg.
- Bygga upp rutiner och en väl fungerade samarbetssstruktur mellan de ingående parterna inför framtida demonstratorprojekt.
- Ett koncept som kan ligga till grund för del 2 av projektet, dvs efterföljande tre år.

Delmål

- Projektuppstart med detaljerad projektplanering.
- Utförd kravsställning avseende RCS, vikt, mekaniska och termiska egenskaper.
- Litteraturstudier för att finna lämpliga material samt tillverkningsmetoder.
- Val av tänkbara material.
- Ett antal grundkoncept genererade.
- Val av koncept att jobba vidare med.
- Radaregenskaper komposit samt radaregenskaper utlopp.

Milstolpar

Följande fem milstolpar är valda för intern projektuppföljning inom projektgruppen.

M1: Ett antal koncept genererade. Lämpliga materialkandidater funna. Utvärdering.

M2: Val av material samt koncept. Simulering RCS, simulering av materialegenskaper i mikrovågsområdet. Utvärdering.

M3: Första provmaterial framtaget. Mätning av egenskaper i mikrovågsområdet. Mek. provning. Utvärdering.

M4: Provmaterial med enkel geometri framtagen. Mätning av egenskaper i mikrovågsområdet. Koncept provat i rigg.

M5: Koncept utvärderat inför del 2 av projektet. Sammanfattande slutrapport av utfört arbete samt rekommendation fortsättning.

Kopplingar till andra projekt

Projektet kommer att vara nära knutet till FoT25-projektet "Signaturanpassningsteknik-RCS; HT-RAM", ref. [2], i vilket tyngdpunkten kommer att ligga på radarabsorberande beläggningar utan nanoteknik för höga temperaturer, typiskt 600-1000°C. Därigenom erhålls synergierffekter mellan de båda signaturanpassningsprojekten.

Planer

Arbetsprogram

Tabellen nedan beskriver projektet nedbrutet i arbetspaket (AP) samt ansvarig part. Ur detta ges således parternas respektive ansvarsområden. Kopplingen mellan olika AP är även angiven.

AP som är angivna med kursiv stil ingår som en option till utökning av programmet.

<u>AP-benämning</u>	<u>AP-beroende</u>	<u>Leveransobjekt</u>	<u>Ansvarig deltagare</u>
1. kravspecifikation			
1a. – motor		Krav avseende hållfasthetsnivåer, temperaturer, mm (beakta både strukturer och beläggningar)	VAC
1b. – flygplan		Krav/mål avseende RCS från motor i flygplan	Saab
1c. – material		Materialegenskaper avseende radarabsorption (beakta både strukturer och beläggningar)	FOI
1d. – nano		Hälsorisker vid hantering av nanomaterial; åtgärder	Mah
2. Litteraturstudie inför förstudie	Input från ap1		
2a. – nuläget		Vad finns på ”marknaden”?	Saab
2b. – val av långfiber		Lämpligt val av 1 – 3 fiberalternativ för lastbärande strukturer	Mah
2c. – val av matris		Lämpligt val av 1 – 3 matrisalternativ för strukturer	Mah
2d. – val av tillverkningsprocess		Lämpligt val av 1 – 3 tillverkningsprocesser för komposit	Mah
2e. – val av nanofiber från LMI		Lämpligt val av 1 – 3 nanofibrer från LMI. Brytpunkt; kan LMI leverera önskade fibrer?	FOI
2f. – val av partiklar		Lämpligt val av 1 – 3 partiklar för att användas tillsammans med LMI-fiber	FOI
2g. – val av nanofiber från andra leverantörer		Lämpligt val av 1 – 3 alternativa nanofibrer från andra leverantörer	Saab
2h. – mekaniska-/termiska egenskaper		Mekaniska och termiska egenskaper på kommersiella kompositer	VAC
<i>2i. – beläggningar</i>		<i>Som komplement/stöd till strukturer</i>	<i>Saab</i>
2j. – referensmaterial		För div. mätningar och mikroskopi	VAC
2k. – utvärdering		Val av koncept och material för vidare studier	VAC

3. Simulering			
3a. – ingående komponenter	Input från ap2	Föreslagen sammansättning fiber/partikel/matris för goda RA-egenskaper för strukturer, baserat på beräkningar/simuleringar med input från litt.studie/kravspec.	FOI
3b. – beläggningar		<i>Föreslagen sammansättning fiber/partikel/matris för goda RA-egenskaper för beläggningar.</i>	Saab
3c. – flygplan	Input från ap2 och ap3a	Simulering på helt flygplan av föreslagen sammansättning fiber/partikel/matris	Saab
4. Studie materialval	Input från ap1, reducera med ap3	Studera materialval för hållfasthetsegenskaper samt termiska egenskaper.	VAC
5. Studie tillverkningsprocesser	Input från ap1, reducera med ap4	Prova tillverkningsprocesser för hållfasthetsegenskaper (minskat sprödbrottsbeteende och ökad hållfasthet).	Mah
6. Utvärdering av ap3-5	För input till ap7	Brytpunkt; val av fiber (map radarabs. egenskaper). Val av övrigt material. Val av tillv.metod.	VAC
7. Materialinköp	Input från ap1, 2		
7a. – Mah		Matris, långfiber, disp.medel, mm	Mah
7b. – FOI		LMI nanofiber, partiklar	FOI
7c. – Saab		annan fiber	Saab
7d. – VAC		Komplettering; matris långfiber, mm	VAC
7e. – Beläggningar			Saab
8. Tillverkning av komposit	Input från ap6	Provmaterial i lämpliga dimensioner för karakterisering i mikrovågsområdet, mekanisk/termisk provning, åldringsprovning samt mikroskopji.	Mah
9. Mekanisk provning	Input från ap1, 2, 6 samt 7		Mah
10. Termisk provning	Input från ap1, 2, 7 samt 8		VAC
11. Karaktärisering i mikrovågsområdet	Input från ap1, 2, 3, 7 samt 8		
11a. – materialkomponenter		Fiber, nanofiber, partiklar; vid behov i lämplig matris, tex epoxi.	FOI
11b. – referensmaterial		På referensmaterial.	FOI

11c. – komposit		På komposit.	FOI
11d. – komposit provning		Efter mek./term. provning.	FOI
12. Åldringsprovning			
12a. – tillverkning		Tillverkning av provmtrl.	Mah
12b. – värmeförlängning	Input från ap7	Komposit samt fiber, nanofiber, partiklar; vid behov i lämplig matris, tex epoxi.	VAC
12c. – karakterisering i mikrovågsområdet; materialkomponenter	Input från ap7	Fiber, nanofiber, partiklar; vid behov i lämplig matris, tex epoxi.	FOI
12d. – karakterisering i mikrovågsområdet; komposit	Input från ap8	Rumstemperatur samt högre temperatur	FOI
13. Mikroskopi			
13a. – materialkaraktärisering	Input från ap7	Karakterisering av ingående material.	CTH
13b. – referensmaterial	Input från ap7	Karakterisering av referensmaterial.	CTH
13c. – komposit	Input från ap8	Karakterisering av komposit	CTH
13d. – mek. provning	Input från ap9	Studie efter mek. provning.	CTH
13e. – Åldring/bel.		Studie efter åldring + beläggningar.	CTH
14. Utvärdering av ap7-11	Input till ap13	Utvärdering om strukturer är mogna för att gå vidare till Del 2. Om backup-beläggningar ska användas tills vidare.	VAC
15. Tillverkning enkel panel	Input från ap7, 14	Panel tillverkad för prov i motormiljö	Mah
16. Karaktärisering i mikrovågsområdet	Input från ap15	På panel	Saab
17. "Motorprov"	Input från ap15	Provning av panel i motormiljö	VAC
18. Utvärdering		Inför del 2 av projektet (förl. av ap14)	VAC
19. Avslut; Del 1		Rapportskrivning, rekommendationer inför Del 2.	VAC
20. Projektledning och möten			
20a. – VAC 1		Projektledning	VAC
20b. – VAC 2		Projektledning	VAC
20c. – FOI		Projektledning	FOI
20d. – Möten		Möten	

Tidsplan med milstolpar

År		2003	2004			2005			
Kvartal		4	1	2	3	4	1	2	3
Aktivitet / milstolpe	Innehåller AP								
Detaljerad projektplanering, litt.studie, uppstart	1, 2	x							
Definitionsfas, kravsförståelse	1	x	x						
Konceptgenerering, materialkandidater	2	x	x						
Mikroskop; referensmaterial för komposit	13	x	x						
Utvärdering	2		x						
M1 enligt 2.3 (inkl uppföljning)			x						
Urval koncept	2		x	x					
Val av material	2		x	x					
Simulering i mikrovågsområdet på föreslagen sammansättning; komposit	3		x	x	x				
Simulering RCS på flygplan med föreslagen sammansättning; komposit	3		x	x	x				
Simulering i mikrovågsområdet på föreslagen sammansättning; beläggning	3		x	x	x				
Studie; materialval och tillv. processer	4, 5		x	x	x				
Mikroskop; valda mtrl-komponenter för komposit	13		x	x	x				
Åldringsprovning	12		x	x					
Utvärdering	6		x						
M2 enligt 2.3 (inkl uppföljning)			x						
Framtagning av material	7		x	x	x				
Tillverkning av komposit	8		x	x	x				
Åldringsprovning	12		x	x	x				
Materialkarakterisering i mikrovågsområdet,	11, 12		x	x	x				
Mek. provning, termisk provning	9, 10		x	x	x				
Mikroskop; komposit	13		x	x	x	x			
Utvärdering	14		x						
M3 enligt 2.3 (inkl uppföljning)			x						
Enkel provplatta framtagen	15		x	x	x				
Karakterisering i mikrovågsområdet	16		x	x	x				
Riggprovning av provplatta	17		x	x	x				
Förslag till projekt Del 2			x						
M4 enligt 2.3 (inkl uppföljning)							x		
Utvärdering inför del 2 av projektet	18						x		
Rapport, rekommenderad fortsättning	19						x		
M5 enligt 2.3 (inkl uppföljning)							x		

Deltagande parter och resursplan

I projektet deltar Volvo Aero (VAC) (projektledare), FOI, Malmö högskola (Mah), Chalmers Tekniska Högskola (CTH) samt Saab. Laboratoire des Multimatériaux et Interfaces (LMI), Lyon medverkar genom FOI. En fördelning av medlen visas i

nedanstående tabell och baseras på förväntad arbetsinsats samt uppskattade utrustningskostnader.

Deltagare	Fördelning, kSEK				Översiktsummering av ansvarsområden
	Med option	Utan option			
	År 1	År 2	År1	År 2	
VAC	600	650	500	550	Projektledning, inledande litt.studie, beräkning och provning; "motormiljö", inköp mtrl,
FOI + LMI	775	775	725	605	Projektledning,, inledande litt.studie, karakterisering; mtrlkomponenter och komposit, simulering/optimering kompositmtrl, högtemp.provning, LMI-nanofiber + ev. utveckling, inköp mtrl,
Mah	850	900	625	745	Inledande litt.studie, kompositsyntes, kompositframställning, mek. provning av mtrlkomp. och komposit, inköp mtrl,
Saab	400	325	325	250	Inledande litt.studie, kompletterande nanofiber, beläggningar, provning, simulering, inköp mtrl,
CTH	375	350	325	350	SEM + TEM; karakterisering material samt komposit + efter provning. Referensmaterial.
Summa	3000	3000	2500	2500	

Projektbudget

Av FM/FOI föreslagen totalbudget för projektet är 6 MSEK varav option på 1 MSEK, där respektive partners totala del framgår av punkt 5.3.

En viss omfördelning av medlen mellan parterna kan komma bli nödvändig under arbetets gång.

Rapportering

Rapportering kommer att ske kvartalsvis muntligt och halvårsvis skriftligt samt medverkan till halvårsseminarium.

Slutrapport utformas och levereras efter de anvisningar som lämnas av FOI.

Projektorganisation, Projektledare och Projektuppföljare etc.

Uppdragsgivare: FOI (Steven Savage)

Projektledare: Dennis Lundström, VAC

Bitr. projektledare: Anna Jänis, FOI

Projektgrupp:

VAC: Dennis Lundström

FOI: Anna Jänis

Mah: Jesper Brandt

Saab: Pontus Nordin

CTH: Uta Klement

Kontaktperson LMI: Stephane Parola

Projektavslutning

Projektet betraktas som avslutat då samtliga milstolpar är uppfyllda och samtliga tillhörande rapporter är levererade och godkända.

Vision för fas 2

Arbetet inom fas 2 börjar där fas 1 slutar och utifrån ett redan etablerat samarbete mellan projektdeltagarna tas nu sikte på att vidareutveckla de materialegenskaper som krävs för att uppfylla kraven som framtida militära farkoster ställer.

Ett starkt och öppet samarbete mellan projektdeltagarna utgör grundförutsättningen för projektets framgång. Inom fas 2 kan ytterligare parter tillkomma projektet, exempelvis tilltänkta framtida leverantörer av material och produkter.

Då huvudmålsättningen för fas 1 är att påvisa materialets mekaniska och radarabsorberande potential fortsätter arbetet under fas 2 med att optimera och vidareutveckla materialets olika egenskaper. Detta kan exempelvis innebära studier av hur en variation av material-sammansättningen i lateral riktning påverkar absorptiongrad och bandbredd.

Materialets egenskaper demonstreras slutligen genom framtagande av motorlik komponent som testas i relevant provmiljö, tex vid motorprov.

Referenser

[1]. Project application for “NanoF – Nanotechnology in Defence Applications”; “High temperature radar absorbing materials (HT-RAM)”. 9650-0824

[2]. FoT25 Projektspecifikation: Signaturanpassningsteknik-RCS; HT-RAM, 2003VAC002456, utg. 1, 2003-06-26

APPENDIX 3.3 Ceramic-based nanomaterials

Project leader: Pernilla Magnusson (Magnus Oskarsson during her leave of absence), FOI

Ceramic-based Nanomaterials for Ballistic Protection

1. Background and goal of the project

Development trends in ceramic armour

Ceramics in today's armour are usually monolithic materials (e.g. alumina or silicon carbide). These are low density materials with high hardness but low ductility (brittle). The main (only) function of the ceramic in these armours is as a protective component. Since the strength properties of both the intact and the fragmented ceramic material are pressure dependent [1-4] the protection performance of the ceramic is strongly dependent of the way the ceramic is confined. The challenge for today's designer is to integrate a given ceramic into the armour in such a way that a reasonable balance between pressure supporting structures and weight efficiency is achieved.

Future ceramic armour designs must be more efficient than those of today to cope with the demands on new generations of fighting vehicles. These vehicles will be relatively small and light (air-lift reasons) with the weight and size of an APC (armoured personnel carrier) but with a protection performance of an MBT (main battle tank). In order to meet these requirements, new types of protection mechanisms for ceramic armours have been suggested. Two promising mechanisms are: -interface defeat, also called dwell, where the penetrator flows on the surface of the ceramic without penetrating significantly. -High performance ceramic armour where the penetration resistance of the ceramic is as high as that of the virgin ceramic even if perforation starts. Dwell/interface defeat has been demonstrated [1-5] while high protection performance at impact velocities above the dwell-penetration transition velocity still remains to be demonstrated. Because of weight limitations, single function materials will not be possible to use in future armour constructions. Instead, the ceramic must be an integrated part of the load-carrying structure of the vehicle. This necessitates the development of advanced ceramic-metallic composite structures. Other functions like transparency and semi-conductivity (protective windows for sensor applications and signature management) are also of great interest. In order to meet these multiple requirements, totally new materials with improved mechanical, optical and electrical properties are needed. Nano-structured ceramics are promising candidates for such materials.

Why nano-structured ceramics?

Nano-structured ceramics have shown better mechanical properties than materials with normal grain size. Studies on e.g. nano-structured alumina [6, 7] and tungsten carbide [8] shows that as the grain size decreases, the hardness and bending strength increases. This is similar to the behaviour of metals where a smaller grain size results in a higher strength, mainly as a result of the Hall-Petch effect.

Stronger ceramics with higher hardness are essential in the design of the next generation of ceramic armours. But to really improve the protection performance, ceramic materials that allow some amount of inelastic deformation (plasticity) are desired. This behaviour has been observed in some types of ceramics with normal grain size during high pressure plate impact tests [9]. It is

likely that a nano-structure will improve this ability radically. If so, this would open for ceramic armours with much higher protection performance than those of today's systems.

At the same time, improved mechanical properties will make design and manufacturing of multifunctional ceramic armour systems possible. To be able to combine high protection capability with e.g. good load-carrying capacity, the ceramic component needs to have higher tensile strength and fracture toughness than those of today's materials. Some nano-structured ceramics like alumina will also be transparent [10] which in combination with the improved protection capability will give much lighter optical window designs (e.g. eye protection or different types of sensor windows).

Production method

The project will initially be focused on the consolidation of commercially available nano powders (synthesis of new powder is not included in this project). Spark plasma-sintering equipment at Stockholm University will be used to consolidate the ceramic materials with nano crystalline structures.

Material

Ceramics with high hardness and low density are initially considered. Nano-powders available today are Al_2O_3 , SiC , Si_3N_4 , YAG ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$) and spinel (MgAl_2O_4). B_4C and TiB_2 should be incorporated in the project if they become available.

Material characterisation and testing

The produced materials will undergo microstructural and mechanical characterisation in order to identify candidates for further testing. Promising materials will also undergo ballistic testing tailored to the threat relevant to the specific application of the armour. Transparent materials will also be characterised as regards their optical (IR and visual) properties. If the optical properties of the material are such that the material could be considered for sensor applications, rain-erosion testing will also be carried out (aircraft/missile applications).

Project goal

The main goal of this project is to demonstrate a set of nano-structured ceramic materials with properties necessary in the development of the next generation of ceramic armours. These materials must not only show superior ballistic protection capability but also have other valuable properties like load-carrying capability and, in some cases, good optical and electrical properties.

Two functional demonstrators will be developed at the end of the project (phase 2). One will demonstrate a ceramic armour with high protection capability. The other will demonstrate a sensor window with good ballistic protection as well as good load-carrying ability. The material will be transparent for visual wavelengths.

2. The Spark Plasma Sintering (SPS) technique

One of the primary goals in the processing of ceramics, composites and functional graded materials is the production of fully dense bodies with desired phase combination as well as controlled grain size and morphology. In order to obtain fully dense compacts from ceramic powder precursors various sintering techniques such as pressure-less sintering, hot pressing (HP) and hot isostatic-pressing (HIP) are used. The main factor that promotes densification in these

processes is heat supplied by an externally placed heating source. In the case of HP and HIP pressure-supported plastic flow is another important factor. These processes normally require high temperatures and pressures and typically hours of sintering time is necessary in order to obtain fully dense compacts. During sintering, it is very difficult to prohibit grain growth and avoid unwanted reactions because only comparatively slow heating and cooling rates can be applied due to the fact that not only the sample but also the entire reaction chamber is simultaneously heated and cooled in these sintering processes.

This proposal deals with nanomaterials compacted with a new sintering process, namely Spark Plasma Sintering (SPS), which was developed in Japan during the 1990's and that enables ceramics to be fully densified at comparatively low temperatures and within very short times (minutes). The process is constructed in a similar fashion as a conventional hot-pressing apparatus, i.e. the powder precursors are loaded in a die made of an electrically conducting material, normally graphite, and uniaxial pressure is applied during the sintering. However, instead of being heated by an external source, a pulsed DC current (up to 5000A) is applied, which passes through the pressure die as well as the sample, so that the sample is heated both from outside and inside, see Figure 1. This process thus permits very rapid heating rates (up to 600°C/min) and fundamentally new sintering mechanisms are operative. Originally, the inventors of the spark discharge process claimed that plasma is generated between particles during the initial stage of the current-voltage pulse; that is why the process is named spark plasma sintering. Whether or not plasma is created has not been established yet by direct experiments. However, it is quite obvious from various experiments that the spark discharge generates internal localised heating, which promotes material transfer and makes rapid densification possible.

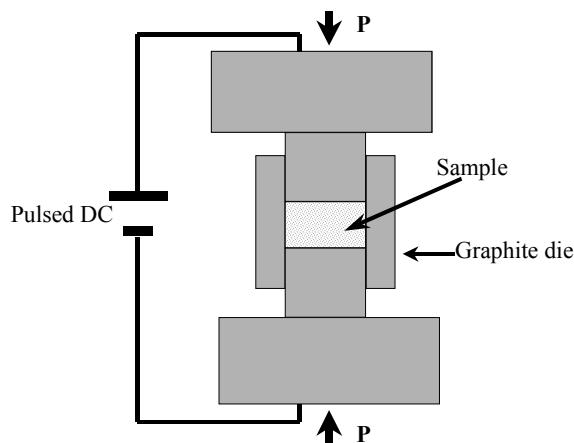


Figure 1. Principles of the SPS sintering technique.

The first SPS unit in Europe was installed at the Stockholm University in the end of 1998. During the last three and half years much work has been carried out to compact various materials by this apparatus in order to understand the sintering mechanism and to obtain materials with improved properties. This provides a sound foundation for applying this technique to obtain ceramic composite materials with unique microstructures.

To simultaneously suppress the grain growth and enhance densification is difficult because it is the same driving force behind both processes. However, with the SPS technique it is possible

to find the temperature window where a material densifies without substantial grain growth (regime II in Figure 2). Stockholm University has succeeded in suppressing the grain growth of α -Al₂O₃ to a great extent; pure α -Al₂O₃ that does not contain any additives was compacted to full density (3.96 g/cm³). By optimising the SPS sintering procedure, the average grain size of 300-500 nm for the precursor powder remains also after densification, see Figure 3.

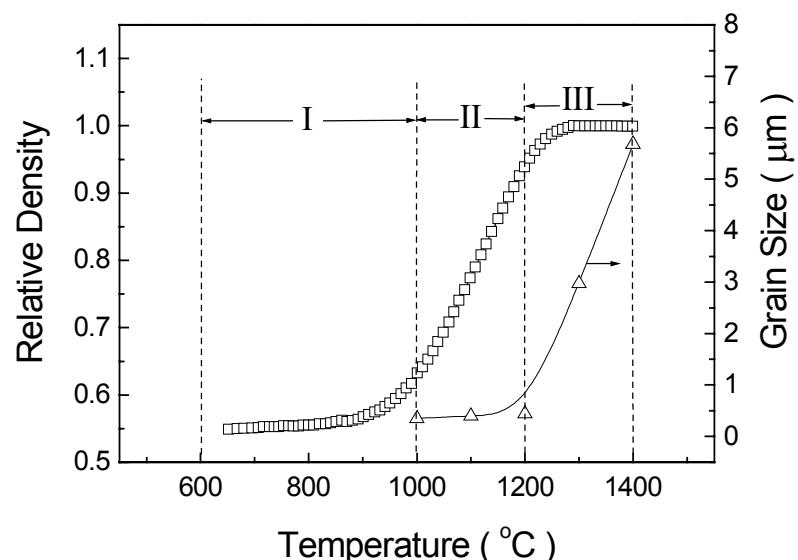


Figure 2. Three temperature regimes exist during compaction of e.g. Al₂O₃ with the SPS technique. (I) No compaction or grain growth. (II) Densification without grain growth. (III) Grain growth after full density is obtained.

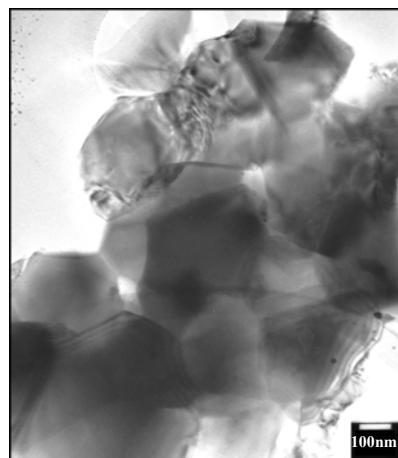


Figure 3. TEM micrograph of an Al₂O₃ compact densified with the SPS technique with grains in the range 0.3-0.5 μ m, which is of the same size as the starting powder.

3. Materials

Around ten different ceramic nano-powders are commercially available and many of these are of interest in multifunctional armour designs, e.g. silicon carbide (SiC) has promising properties such as high hardness and low density. Other candidate materials are Al₂O₃ or composites like SiC_{nano}/Si₃N₄ [11], SiC_{nano}/Al₂O₃ [12]. Studies on Al₂O₃ showed that the hardness increases with decreasing grain size while the fracture toughness does not drop when approaching the nano-size range ($K_{Ic} = 3.5 \text{ MPam}^{\frac{1}{2}}$) [6].

The most important factor in achieving high transparency is that the crystal size must be much smaller than the wavelength of the intrinsic light [13]. Nano-sized Al₂O₃ has proved to be opaque in earlier studies [10], and by changing the synthesis parameters it may be possible to make it transparent. Other interesting candidates for the preparation of transparent ballistic protection materials are YAG (Y₃Al₅O₁₂) and spinel (MgAl₂O₄), where other metals can replace the Mg and Al ions in the spinel structure. By appropriate replacements it is possible to tailor properties such as colour, electrical conductivity, heat capacity etc. We will however start with the Mg-Al-type since it is available as nano-powder today. Mg-Al-spinel has isotropic optical properties and good mechanical properties at high temperatures [14]. MgAl₂O₄ ceramics also have excellent transmittance (75-80%) from ultraviolet to infrared [15].

Within the first two years of this program we intend to prepare and characterise Al₂O₃, MgAl₂O₄, YAG, SiC and Si₃N₄ based nano-ceramics. Stockholm University has experience in preparation of nano-sized Al₂O₃ and Si₃N₄ based ceramics. The time needed to determine the optimal processing parameters for nano-ceramics for these two compounds should consequently be quite limited but for MgAl₂O₄, YAG, and SiC more time is needed.

4. Characterisation

The materials produced will undergo microstructural characterisation using standard instrumentation such as light optical microscope (LOM) and scanning electron microscope (SEM) equipped with EDS system. The identification of the formed phases will be done using X-ray analysis. When required, the samples will be investigated using transmission electron microscope. The density of the samples will be measured with Archimedes technique and/or with gas pycnometry (what is the density of nano-structured ceramics without pores?).

The mechanical properties will be determined mainly from indentation tests. Hardness and fracture toughness of the produced materials will be determined using a Wholpert macro hardness apparatus using a Vickers diamond indenter. The critical fracture stress for initiating ring cracks will be determined by the use of Hertzian indentation [16].

To study the inelastic properties of the produced materials, the indentation method developed by Milman et al. [17] on plasticity characteristics will be adopted. Some samples may also undergo 4-point bending tests to evaluate the bending strength.

5. Evaluation of ballistic properties

A way of determining the basic protection capability of a given target material is to use instrumented impact experiments. By measuring the penetration depth versus time (with e.g. flash X-ray technique) it is possible to determine the penetration velocity [18-21]. The penetration velocity reflects the strength of the target material during penetration. With the aid of simple models it is possible to estimate the target strength from the penetration velocity.

We will use two slightly different ballistic test methods for evaluation of the basic strength properties of the different materials. Both methods allow testing with relatively small material volumes. A typical test sample is a cylinder with diameter 20-40 mm and thickness 5-20 mm.

To study the response of thin unsupported targets (e.g. a sensor window), direct impact experiments will be used with a standardised fragment as test threat. For a thick, well-supported target, a reverse ballistic test method using confined ceramic samples will be used [4]. In both types of tests, flash X-ray registrations will be used for evaluation of the penetration process.

Two different strength values will be determined from the impact experiments:

- (1) The strength of the target material at the lowest impact velocity for which penetration first starts. In a thin unsupported target, this point reflects the tensile strength of the target material. In a thick well-supported target this velocity corresponds to the shear strength of the non-damaged material.
- (2) The strength of the target material during penetration, i.e. at an impact velocity above the velocity for which penetration first starts. This reflects the average strength of the highly damaged well-supported target material.

The difference between these two strength measures gives the strength degradation of the material as a result of the damage. In a damage-resistance target material this difference is small. On the other hand, for a material, which is sensitive to damage, there is a large difference in these strength levels.

The levels of strength and the strength degradation will be used as the basic means of characterising and comparing the different materials produced from a ballistic point of view.

All ballistic testing will be conducted in model-scale because of the small production capacity of the SPS-equipment. To make a first estimate of the protection performance of a full-scale ceramic armour case, the test data must be scaled according to the replica scaling law, see for instance [22].

6. Characterisation of optical properties

For the multisensor equipment of combat vehicles, where thermal imaging usually is combined with CCDs and laser range finders, it is both desirable and important to minimise the exposed sensor area. This area can be minimised if there is an optical material that is transparent in the visible and IR regions of the electromagnetic spectrum. The optical properties that have to be studied include dispersion, spectral transmittance and internal spectral transmittance in the UV, visible and IR regions. Characterisation will be done with photo-spectrometers.

7. Evaluation of rain-erosion properties

Rain-erosion testing will be carried out on produced materials that are optically (IR and visually) transparent, and when other optical properties of the material are such that the material could be considered for sensor applications. The incentive for the rain erosion tests is to characterise the materials ability to withstand high-speed rain-erosion as encountered in a missile or aircraft application. Since the material is optimised for high impact strength, there is a good

chance that also the ability to withstand rain-erosion will be significantly improved compared to conventional window materials.

The method normally used for evaluating rain erosion characteristics is a rotating device. A material sample is attached at the end of an arm coupled to a central shaft in the rain-erosion rig. The shaft is brought to rotation by an electric motor and will give the sample at the end of the arm a velocity of up to 300 m/s. The arm will pass through a controllable rain field during its rotational movement in the rig, inducing a predetermined rain-erosion load on the sample.

8. Participants, Organisation, Budget and Time schedule

Stockholm University, SU, Department of Inorganic Chemistry; Swedish Defence Research Agency, FOI, Weapons and protection; FMV; SAAB Bofors Dynamics AB; Saab Tech Systems AB and AB Sandvik Coromant will take part in this project and will be members of the board. FOI will act as coordinator of the project and at the first meeting a chairman will be appointed. Besides the “kick-off meeting” six board meetings are scheduled and at these meetings the written reports concerning the progress of the project will be discussed, see also below.

Table 1. Summary of the budget for Phase 1

Organisation	Activities	Work / Costs Phase 1
Inorganic Chemistry, Stockholm University	Determine operational parameters to enable the compaction of nanosized performs to full density and supply samples for characterisation. Characterisation of microstructure (SEM, X-ray, TEM)	1 man/year 900 000 SEK/year
Swedish Defence Research Agency, FOI Weapons and protection	Characterisation of microstructure (LOM, SEM) and mechanical properties (Hardness, fracture toughness and bending strength). Ballistic testing (small calibre and KE-projectiles registered with X-ray flash photography). Supply powders	1 man/year 1 500 000 SEK/year
FMV	Define material requirements for ballistic applications and future applications	0.5 man/year
SAAB Bofors Dynamics AB	Characterisation of rain erosion properties. Define material requirements for ballistic applications. (Phase 2)	600 000 SEK/year
Saab Tech Systems AB	Characterisation of optical properties	
AB Sandvik Coromant	Instrumented indentation	

The main part of the experimental work will be carried out at SU and FOI but the industrial partners will also perform some experiments, 600.000 SEK has been reserved in the budget. The main task for SU will be to determine operational parameters to enable the compaction of nano

sized powders to full density and supply samples for characterisation. The cost associated to this activity at SU is estimated to be 900.000 SEK per year (1 man-year) including internal overhead. FOI will coordinate the project and the main task for FOI will be to perform ballistic testing (small calibre and KE-projectiles registered with X-ray flash photography) and supply SU with powders. FOI will also characterise the microstructure of the produced samples and determine their mechanical properties, hardness, fracture toughness and bending strength (this property will be measured elsewhere). The cost associated to this activity at FOI is estimated to be 1.500.000 SEK per year (1 man-year). The budget is summarised in Table 1, above.

Activities

Date	Activities
030701	Project starts
031031	Intermediary report 1: SPS processing of Al ₂ O ₃ nano-powders, microstructural characterisation and measurements of hardness of produced samples.
040229	Intermediary report 2: SPS processing of Al ₂ O ₃ nano-powders, microstructural characterisation and measurements of hardness of produced samples. Samples for ballistic and optical tests.
040630	Year report: SPS processing of SiC and YAG nano-powders, microstructural characterisation and mechanical properties (hardness, instrumented indentation and 4-point bending). Ballistic and optical properties. Samples for rain erosion tests.
041031	Intermediary report 3: SPS processing of MgAl ₂ O ₄ and SiC nano-powders, microstructural characterisation and mechanical properties (hardness, instrumented indentation and 4-point bending). Samples for ballistic and optical tests. Ballistic and optical properties.
050228	Intermediary report 4: SPS processing of MgAl ₂ O ₄ nano-powders, microstructural characterisation and mechanical properties (hardness, instrumented indentation and 4-point bending). Samples for ballistic and optical tests. Ballistic and optical properties. Working plan for phase 2.
050630	Final report for Phase 1: Summarising microstructural features, mechanical properties (hardness, instrumented indentation and 4-point bending), optical properties, rain erosion and ballistic tests. Finalise the working plan for phase 2.

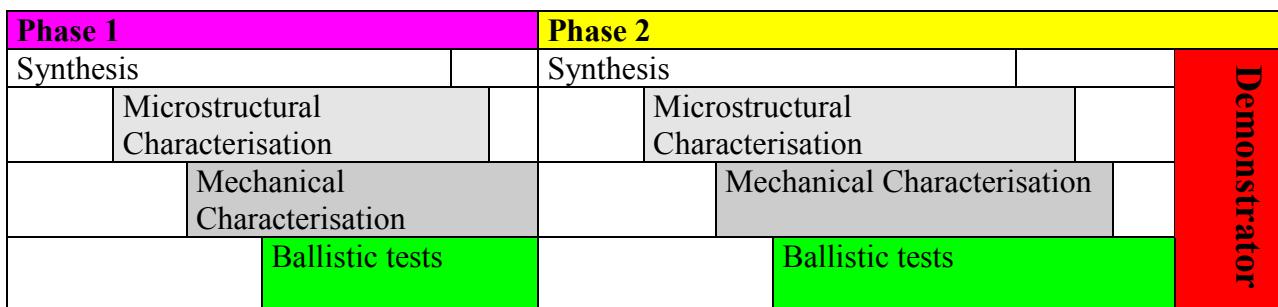


Figure 4. Schematic time schedule

9. Phase 2

In Phase 2 of the project the material developed in phase 1 will undergo a more extended test program regarding ballistic testing and evolution of other properties such as transparency and rain erosion tests.

10. References

- [1] G. E. Hauver, P. H. Netherwood, R. F. Benck and L. J. Kecske, "Ballistic performance of ceramic targets", Army Symposium On Solid Mechanics, USA (1993).
- [2] G. E. Hauver, P. H. Netherwood, R. F. Benck and L. J. Kecske, "Enhanced ballistic performance of ceramic targets", 19th Army Science Conference, USA (1994).
- [3] E. J. Rapacki, G. E. Hauver, P. H. Netherwood and R. F. Benck, "Ceramics for armours- a material system perspective", 7th Annual TARDEC Ground Vehicle Survivability Symposium, USA (1996).
- [4] P. Lundberg, R. Renström, B. Lundberg, "Impact of metallic projectiles on ceramic targets: transition between interface defeat and penetration", Int. J. Impact. Eng., **24**, 259-275, (2000).
- [5] P. Lundberg, R. Renström, L. Holmberg, "An experimental investigation of interface defeat at extended interaction times", Proc. 19th Int. Symp. on Ballistics, Switzerland, **3**, 1463-1469, (2001).
- [6] Z. Shen, M. Johnsson, Z. Zhao and M. Nygren, " Spark Plasma Sintering of Alumina", J. Am. Ceram. Soc., **85**, [8], 1921-1927, (2002).
- [7] A. Krell, "A new look at grain size and load effect in the hardness of ceramics", Mat. Sci. Eng., **A245**, 277-284, (1998).
- [8] K. Ija, T. E. Fisher and B. Gallois, "Microstructure, hardness and toughness of nanostructured and conventional WC-Co composites", Nanostructured materials, **10**, [5], 875-891, (1998).
- [9] R. Feng, Y. M. Gupta and G. Yuan, "Dynamic strength and inelastic deformation of ceramics under shock wave loading", Shock compression of condensed matter, (1997).
- [10] www.ikts.fraunhofer.de/publications/strukturkeramik/basiswerkstoffe/oxidkeramik/transparentkeramik.html
- [11] D.-S. Cheong, K.-T. Hwang and C.-S. Kim, "Fabrication, mechanical properties and microstructure analysis of $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}$ nanocomposite", Composites, Part A 30, 425-427, (1999).
- [12] L. Gao, H. Z. Wang, J. S. Hong, H. Miyamoto, K. Miyamoto, Y. Nishikawa and S. D. D. L. Torre, "Mechanical properties and microstructure of nano-SiC-Al₂O₃ composites densified by spark plasma sintering", J. Euro. Ceram. Soc., **19**, 609-613, (1999).
- [13] P. A. Tick, N. F. Borelli and I. M. Reaney, "The relationship between structure and transparency in glass-ceramic materials", Optical Materials, **5**, 81-91, (2000).
- [14] A. F. Dericioglu and Y. Kagawa, "Effect of grain boundary microcracking on the light transmittance of sintered transparent MgAl₂O₄", J. Euro. Ceram. Soc., In press 2002.
- [15] J. He, L.-B. Lin, T.-C. Lu and P. Wang, " Effects of electron- and/or gamma-irradiation upon the optical behavior of transparent MgAl₂O₄ ceramics: Different color centers induced by electron-beam and γ -ray", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, **191**, 596-599, (2002).
- [16] M. Andersson, "Dynamic and static contact in brittle materials", Department of solid mechanics, Royal Institute of Technology, Sweden (1996).

- [17] YU. V. Milman, B. A. Galanov and S. I. Chugunova, "Plastic characteristics obtained through hardness measurement", *Acta Metall. Mater.*, **41**, [9], 2523-2532, (1993).
- [18] R. Subramanian and S. J. Bless, "Penetration of semi-infinite AD995 alumina targets by tungsten long rod penetrators from 1.5 to 3.5 km/s", *Int. J. Impact Eng.*, **17**, 807-816,(1995).
- [19] D. L. Orphal, R. R. Franzen, A. J. Piekutowski and M. J. Forrestal, "Penetration of confined aluminum nitride targets by tungsten long rods at 1.5 to 4.5 km/s", *Int. J. Impact Eng.* **18**, 355-368, (1996).
- [20] D.L. Orphal and R. R. Franzen, "Penetration of confined silicon carbide targets by tungsten long rods at impact velocities from 1.5 to 4.6 km/s", *Int. J. Impact Eng.* **19**, 1-13, (1997).
- [21] D. L. Orphal, R. R. Franzen, A. C. Charters, T. L. Menna and A. J. Piekutowski, "Penetration of confined boron carbide targets by tungsten long rods at impact velocities from 1.5 to 5.0 km/s", *Int. J. Impact Eng.* **19**, 15-29, (1997).
- [22] P. Lundberg, L. Westerling and B. Lundberg, "Influence of scale on the penetration of tungsten rods into steel-backed alumina targets", *Int. J. Impact Eng.*, **16**, [5], (1995).

Attending to this matter, tel. direct line

CTMR/Magnus Ekelund, +46 8 726 65 60Our date
November 12 2003

Your date

Our reference

Your reference

To whom it may concern

Letter of Intent

Sandvik Coromant has with interest studied the application "Ceramic-based Nanomaterials for Ballistic Protection". Basic knowledge of nanomaterials, mechanical properties connected to microstructure as well as processing routes to produce such materials, is of great interest for us. Therefore we are prepared to support the project in the following ways:

Sandvik will participate in the discussion group meetings mentioned in the application and cover our own meeting expenses.

Sandvik has also, if the cost is covered by the project, the possibility to perform characterisation work regarding the instrumented indentation described in the application.

AB Sandvik Coromant
R&D, Materials and Processes



Ulf Rolander
Senior Manager

Kerambaserade nanomaterial

Projektet har två huvuddelar som båda syftar till att utveckla högpresterande nanokeramer:

- ett för tillämpning som sensorskydd
- ett för tillämpning som ballistiskt skydd mot pansarbrytande projektiler.

De material som används idag för sensorskydd har otillräckliga mekaniska egenskaper, m.a.p. ballistiskt skydd, erosion, tryckvåg vid avfyrning av egna vapen (i sensorer på vapenplattformar), möjligheten att klara höga temperaturer (höghastighetsmissiler), och de ballistiskt skydden väger för mycket, är för tjocka och/eller ger otillräckligt skydd.

Grundidén till att utveckla nya material för dessa tillämpningar är att utnyttja de nya möjligheter som nanotekniken ger för att skräddarsy material. Detta skall göras genom att utnyttja den nyutvecklade och unika s.k. SPS-tekniken (Spark Plasma Sintering) för att konsolidera nanopartikulära startmaterial till keramiska kroppar med nanostruktur, vilket ger ökade prestanda jämfört med dagens material.

För de skyddande sensorfönstren ämnar man tillverka keramiska material där de ingående kornen har storlek inom nanoområdet (mindre storlek än ljusets våglängder). Tanken är att genomskinligheten, tillsamman med nanostrukturella keramernas goda mekaniska egenskaper, kommer att ge bättre sensorfönster.

För de ballistiska skydds materialen ämnar man tillverka hårdare keramer som dessutom har inslag av seghet för att förbättra skyddsformågan. Detta kommer man att försöka uppnå genom att utgå från nanopartikulära startmaterial och styra konsolideringen till att bilda ett nätverk av sammanflätade keramiska stavar (s.k. whiskers), vilket ska ge nano- eller mikroarmerade material med hög skyddsprestanda.

Under *Fas I* kommer projektet att inriktas på att få fram grundmaterial för tillämpningarna, samt att karakterisera dessa m.a.p. optiska, mekaniska, ballistiska och erosionsegenskaper.

Under *Fas II* kommer projektet att inriktas mot användningen av materialen i tillämpningar, för att i slutet av programmet resultera i demonstratorer.

Tillämpningar: Sensorskyddsfönster för missiler och sensorer på vapenplattformar, samt skydd mot pansarbrytande projektiler i personskydd.

Leveranser

Statusrapport 1.

SPS tillverkning av Al₂O₃, mikrostrukturell karakterisering (LOM och SEM) och hårdhetsmätnings.

SPS tillverkning av kandidatmaterial lämpliga som ballistiskt skydd (keramer med icke-elastiska egenskaper).

Årsrapport 1.

SPS tillverkning av möjlig skyddsgeram och YAG, mikrostrukturell karakterisering och mekanisk egenskaper.

Fortsättning SPS tillverkning av kandidatmaterial lämpliga som ballistiskt skydd.

Ballistiska, optiska och regn-erosions egenskaper hos Al₂O₃.

Statusrapport 2.

SPS tillverkning av MgAl₂O₄, mikrostrukturell karakterisering och mekanisk egenskaper.

Ballistisk egenskaper hos skyddsgeram.

Ballistiska, optiska och regn-erosions egenskaper hos YAG.

Arbetsplan för etapp 2.

Slutrapport etapp 1.

Sammanfattning av mikrostrukturella, mekaniska och optiska egenskaper, regn-erosionstest samt ballistisk testning.

Fastläggning av planer för etapp 2.

Milstolpar

Leveransdatum	Beskrivning
---------------	-------------

2003-12-15	Lägesrapport
2004-03-31	Statusrapport 1.
2004-06-30	Lägesrapport
2004-09-30	Årsrapport.
2004-12-15	Lägesrapport
2005-03-31	Statusrapport 2.
2005-06-30	Lägesrapport
2005-09-30	Slutrapport – fas 1

Projektmöten

Projektmöten kommer att hållas regelbundet 1 gång/halvår, i anslutning till start projekt, status-, års eller slutrapport. Vid behov sammankallas till extramöte.

Stockholms Universitet

Period	Aktivitet	Avrapportering
031001-040331	Definiera material. SPS tillverkning av Al ₂ O ₃ (transparent). SPS tillverkning av kandidatmaterial för tillämpning ballistiskt skydd.	040301
040401-040930	SPS tillverkning av YAG och skyddsgeram (material med lovande mekaniska egenskaper). Fortsättning SPS tillverkning av kandidatmaterial för tillämpning ballistiskt skydd.	040901
041001-050331	SPS tillverkning av MgAl ₂ O ₄ . Fortsatt arbete SPS skyddsgeram. Arbetsplan för etapp 2.	050301
050401-050930	Fastläggning av planer för etapp 2.	050901

FOI

Tidpunkt	Aktivitet	Avrapportering
031001-040331	Definiera material. Mikrostrukturell karakterisering (LOM och SEM) och hårdhetsmätning av Al ₂ O ₃ och kandidater för tillämpning ballistiskt skydd.	040301
040401-040930	Mikrostrukturell karakterisering och hårdhetsmätning av skyddsgeram och YAG. Ballistisk egenskaper Al ₂ O ₃ .	040901
041001-050331	Mikrostrukturell karakterisering och hårdhetsmätning av MgAl ₂ O ₄ och skyddsgeram (fortsatt arbete). Ballistisk egenskaper YAG och skyddsgeram. Arbetsplan för etapp 2.	050301
050401-050930	Ballistisk egenskaper MgAl ₂ O ₄ och skyddsgeram. Fastläggning av planer för etapp 2.	050901

SAAB Tech Systems

Tidpunkt	Aktivitet	Avrapportering
031001-040331	Definiera material och kravspecifikation. Deltagande projektmöte	-
040401-040930	Optiska egenskaper Al ₂ O ₃ .	040901
041001-050331	Optiska egenskaper YAG. Arbetsplan för etapp 2.	050301
050401-050930	Optiska egenskaper MgAl ₂ O ₄ . Fastläggning av planer för etapp 2.	050901

SAAB Bofors Dynamics

Tidpunkt	Aktivitet	Avrapportering
031001-040331	Definiera material och kravspecifikation. Deltagande projektmöte	
040401-040930	Regn-erosionstest Al ₂ O ₃ .	040901

041001- 050331	Regn-erosionstest YAG. Arbetsplan för etapp 2.	050301
050401- 050930	Regn-erosionstest MgAl ₂ O ₄ . Fastläggning av planer för etapp 2.	050901

AB Sandvik Coromant

Tidpunkt	Aktivitet	Avrapportering
031001- 040331	Definiera material. Deltagande projektmöte	
040401- 040930	Instrumenterad indentering Al ₂ O ₃ och skyddsgeram.	040901
041001- 050331	Instrumenterad indentering YAG och skyddsgeram. Arbetsplan för etapp 2.	050301
050401- 050930	Instrumenterad indentering MgAl ₂ O ₄ och skyddsgeram. Fastläggning av planer för etapp 2.	050901

FMV

Tidpunkt	Aktivitet	Avrapportering
031001- 040331	Definiera kravprofil på material för ballistiska applikationer samt definiera framtida applikationer Deltagande projektmöte.	
040401- 040930	Deltagande projektmöte.	
041001- 050331	Deltagande projektmöte. Arbetsplan för etapp 2.	
050401- 050930	Deltagande projektmöte. Fastläggning av planer för etapp 2.	

Kontaktpersoner:

Pernilla Magnusson (PL) FOI Vapen och skydd Grindsjöns forskningscentrum 147 25 Tumba Tel: 08-55 50 34 51 Fax: 08-55 50 41 43 E-post: pernilla.pettersson@foi.se	Magnus Oskarsson (bitr. PL) FOI Vapen och skydd Grindsjöns forskningscentrum 147 25 Tumba Tel: 08-55 50 34 24 Fax: 08-55 50 41 43 E-post: magnus.oskarsson@foi.se
Mats Johnsson Organisk kemi Stockholms universitet 106 91 Stockholm Tel: 08-16 21 69 Mobil: 070-714 88 76 Fax: 08-15 21 87 E-post: matsj@inorg.su.se	Veronica Johansson FMV: KC skydd 115 88 Stockholm Tel: 08-782 55 84 Fax: 08-782 61 61 Mobil: 0706-22 55 84 E-post: veronica.x.johansson@fmv.se
Lars Olsson SAAB Bofors Dynamics AB 581 88 Linköping Tel: 013-18 62 00 Fax: 013-18 63 66 E-post: lars.r.olsson@dynamics.saab.se	Henrik Ludwigs SAAB Tech AB 175 88 Järfälla Tel: 08-580 857 29 Fax: 08-580 872 40 E-post: Henrik.Ludwigs@Saabtech.se
Magnus Ekelund AB Sandvik Coromant 126 80 Stockholm Tel. 08-726 65 60 Fax 08-726 67 60 E-post: magnus.ekelund@sandvik.com	

FOI-R--1102--SE

APPENDIX 3.4 Multispectral camouflage coatings

Project leader: Peter Edman, Saab Barracuda AB

FOI Förvaltningsavdelningen
Box 1165
581 11 Linköping

FOI Dnr: 02-2878:20
Case nr: 3713
Gamleby 2003-09-19



Anbud Multispektral Kamouflagebeläggning

Refererande till Er anbudsinfördran FOI 1887/03UPPDRAG INOM FM NANOTEKNIKPROGRAMMET har vi härmed nöjet att lämna vårt anbud. Vi hoppas att detta anbud är utformat enligt era önskemål. Saab Barracuda AB (Barracuda) hemställer om att FOI behandlar denna offert med sekretess enligt sekretesslagens bestämmelser. Barracuda kommer att lida skada om uppgifterna i denna offert röjs.

This document is the property of Saab Barracuda AB
and must not be reproduced in any form or distributed
to third party without the written consent of Saab
Barracuda AB.

Innehållsförteckning: 1.

Anbud: Huvuddokument

2. Bilaga 1: Genomförandeplan

3. Bilaga 2: Avtal

RELEASED WITH PERMISSION 2003-12-17
Steve J. Savage

**ANBUD: Multispektral Kamouflagebeläggning
HUVUDDOKUMENT**

Vara: Multispektral kamouflagebeläggning.

Projektbe-

skrivning: Projektet syftar till att utveckla en ny beläggning med multispektrala egenskaper. För detta har Saab Barracuda tänkt upphandla tjänster av Ytkemiska Institutet AB, Uppsala Universitet och Saab Aerosystems för att få tillgång till expertis inom våglängsområdena VIS och NIR (YKI), IR (UU) och RADAR (Saab Aerosystems). Målsättningen under fas I är att visa förbättrade egenskaper i ovan nämnda våglängdsområden jämfört med dagens kamouflagefärgar.

För utförligare projektbeskrivning med målsättning fas I och vision fas II, se Bilaga 1. Genomförandeplan.

Pris:

Kostnadskontrakt med takpris SEK 3.000.000, exklusive moms. Fakturering enligt avtal Bilaga 2. **FAKTURERING OCH BETALNING.**

De kostnader som redovisas för respektive position (se Bilaga 1) under år 2, kan komma att justeras mellan de olika positionerna, beroende på vilka framsteg som görs i projektets respektive positioner.

RELEASED WITH PERMISSION 2003-12-17
Steve J. Savage

<u>Leverans-plan:</u>		
Muntlig redovisning		2003-12-31
Skriftlig rapport		2004-03-31
Muntlig redovisning		2004-06-30
Skriftlig rapport		2004-09-30
Muntlig redovisning		2004-12-31
Skriftlig rapport		2005-03-31
Förslag till fas 2		2005-06-15
Muntlig redovisning		2005-06-30
Skriftlig rapport		2005-09-30

Denna leveransplan gäller under förutsättning att Barracuda erhållit order på detta uppdrag innan 2003-10-30.

Leverans-villkor: Fritt mottagaren.

Underleverantörer: Saab Aerosystems
SE-581 88 Linköping

YKI, Ytkemiska institutet AB
Box 5607
SE-114 86 Stockholm

Uppsala Universitet, C.-G Ribbing
Institutionen för teknikvetenskaper, Fasta tillståndets fysik
Box 534
SE-751 21 UPPSALA

Riktlinjer: Barracuda intygar att allt arbete inom ramen för detta projekt utförs av kompetent personal.

Kvalitets-säkring: Enligt ISO 9001

RELEASED WITH PERMISSION 2003-12-17



Projekt-

ledning: Projektledare: Peter Edman
Kommersiellt ansvarig: Anders Kristofersson

Säkerhet: Säkerhetsavtal KOM A851:5960/94 gäller.

Avtals-

förslag: Se Bilaga 2.

Giltighet: Anbudet är giltigt till och med 2003-10-30 under förutsättning att FOI och Saab Barracuda AB enas kring Avtalsförslaget Bilaga 2. samt under förutsättning att underleverantörer (se ovan) åtar sig de tjänster som nämns i "Bilaga 1. Genomförandeplan" och som tillika muntligt överenskommits.

Org.-

nummer: Barracuda har organisationsnummer 556045-7391.

Vi hör med största intresse av Era vidare meddelanden i detta ärende.

Med vänlig hälsning
Saab Barracuda AB.

Per-Johan Riis

Per Johan Riis
Chef FoU

RELEASED WITH PERMISSION 2003-12-17
Steve J. Savage

Bilaga 1. Genomförandeplan



Innehåll	Sida
1. Projektets Uppgift och Målsättning	2
1.1. Projektets uppgift	2
1.2. Målsättning fas 1	2
1.2.1. Målsättning delprojekt IR - Uppsala Universitet	2
1.2.2. Målsättning delprojekt VIS+NIR – YKI, Ytkemiska Institutet AB	3
1.2.3. Målsättning delprojekt RADAR - Saab Aerosystems	4
2. Vision fas 2	5
3. Genomförande fas 1	5
3.1. Strategi – Handlingsplan	5
3.2. Arbetsmetod	6
3.3. Verifiering / Validering	6
3.4. Uppföljning, rapportering och styrning av projekt	6
3.5. Upphandling/inköp	6
4. Budget – Specificerade Kostnader	6
5. Kritiska faktorer	7

RELEASED WITH PERMISSION 2003-12-17

Steve J. Savage

1. Projektets Uppgift och Målsättning

1.1. Projektets uppdrag

Projektets övergripande uppgift är att i en och samma beläggning inkorporera signaturegenskaper inom alla våglängdsområden (VIS, NIR, IR och RADAR) på sådant sätt så att resultatet konkurrensmässigt ska klara sig bra/bättre jämfört med dagens kamouflagefärg. Eftersom vi kommer att använda oss av i dessa sammanhang nya material och nya tillverkningsmetoder är detta en utmaning i vart och ett av våglängdsområdena. Den stora potentialen i det föreslagna projektet ligger i att kunna viga samman samtliga funktionaliteter i en och samma formulering. Detta kommer inte att bli trivialt, men det kommer underlättas genom en att ha en gemensam strategi för materialval inom projektet.

Förhoppningsvis kommer vi inte att tvingas kompromissa mellan egenskaperna i de olika våglängdsintervallen, sannolikt går detta dock inte att undvika. Inom projektgruppen finns kunskap kring vilka våglängdsområden som ska prioriteras för olika typer av fordon/plattformar. Därför, om det skulle visa sig vara nödvändigt att kompromissa, kommer vi designa/optimera beläggningen för olika typer av fordon/plattformar i samråd med beställaren (FOI).

1.2. Målsättning fas 1

Övergripande målsättning för projektgruppen under fas 1 är att en färdigställa tillräckligt med material (se nedan) för att kunna iordningställa en demonstrator inom respektive våglängdsområde. Dessa demonstratorer ska, i laboratoriemiljö, vara karakterisera och uppvisa bättre prestanda än dagens signaturmaterial.

Projektets idé och framgång bygger till stor del på att ”bygga in” de visuella egenskaperna tillsammans med (i samma partikel) NIR- och/eller IR-egenskaperna. Att denna del av projektet bör prioriteras beror på följande:

- Traditionell pigmentering kan förstöra/försämra egenskaperna i de andra våglängdsområdena
 - Förenklar avsevärt slutformulering av färgen/beläggningen

Som redan nämnts kommer största utmaningen säkerligen bli att gifta ihop de olika materialen till en och samma beläggning. Därför kommer vi i ett tidigt stadium börja jobba med olika strategier för att lyckas med detta. Målsättningen här är att ha gift ihop minst tre av de fyra (VIS, NIR, IR och RADAR) funktionaliteterna.

1.2.1 Målsättning delprojekt IR - Uppsala Universitet

Målsättning månad 1- 6:

-

RELEASED WITH PERMISSION 2003-12-17

REBB

Conclusion

Steve J. Savage

Målsättning månad 7-12:

-
-
-

Målsättning månad 13-18:

-
-
-

RELEASED WITH PERMISSION 2003-12-11
Steve J. Savage

Målsättning månad 19-24:

-
-

1.2.2. Målsättning delprojekt VIS+NIR – YKI, Ytkemiska Institutet AB

Målsättning månad 1-6:

-
-
-

Målsättning månad 7-12

-
-
-
-
-

Målsättning månad 13-18

-
-
-

Målsättning månad 19-24

-
-
-
-

1.2.3. Målsättning delprojekt RADAR - Saab Aerosystems

RELEASED WITH PERMISSION 2003-12-17

Steve J. Savage

Målsättning månad 1-6:

-
-
-
-
-
-

Målsättning månad 7-12

-
-
-
-
-
-

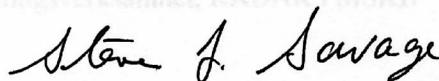
Målsättning månad 13-18

-
-
-
-
-

Målsättning månad 19-24

-
-
-
-
-

RELEASED WITH PERMISSION 2003-12-17



2. Vision fas 2

Efter fullgjort uppdrag med största möjliga framgång under fas 1 har vi inför fas 2 tillgång till en färg/beläggning i en eller två specificerade kulörer med egenskaper i tre av de fyra våglängdsområdena. Egenskaperna inom fjärde våglängdsområdet tillförs genom en annan i projektet utvecklad formulering. Egenskaperna är, där det är möjligt, inom respektive våglängdsområde bättre än dagens färg/beläggning, dock är inte möjligheterna att tillreda färgen/beläggning efter specifika behov/fordon/plattformar genomarbetade.

Under fas 2 ska beläggning vidareutvecklas så att den ska kunna läggas på i ett enda skikt. Vidare ska en uppskalning/optimering av tillverkningsprocessen av de olika funktionella komponenterna ske. Idén är att alla dessa partiklar ska ha samma ytkemiska egenskaper. Detta gör det enkelt att, efter vilka behov som finnes, kunna tillreda färgen/beläggningen på ett enkelt och funktionsoptimerat sätt genom att variera fyllnadsgraden av de olika partiklarna i en i övrigt samma matris.

3. Genomförande fas 1

3.1 *Strategi – Handlingsplan*

Projektet är under denna fas indelat i tre delprojekt, där respektive delprojekt i huvudsak har följande ansvarsområde:

1. VIS+NIR: YKI, Ytkemiska Institutet AB
2. IR: Uppsala Universitet
3. RADAR: Saab Aerosystems

Uppdelningen ovan betyder inte att respektive deltagare kommer att utföra allt arbete inom respektive deltagares ansvarsområde på egen hand. Inte heller kommer respektive projektdeltagare enbart arbeta inom givet ansvarsområde. För att på bästa sätt utnyttja projektdeltagarnas olika kompetensområden kommer exempelvis mätningar, valideringar och verifieringar av framtaget material i huvudsak att utföras av Saab Barracuda AB och Saab Aerosystems, liksom beräkningar i huvudsak kommer att utföras av Uppsala Universitet och Saab Aerosystems. Detta borgar för ett nära och fruktbart samarbete mellan Saab Barracuda AB, Saab Aerosystems, Ytkemiska Institutet AB och Uppsala Universitet (MSKB-gruppen).

MSKB-gruppen kommer att ha möten en gång i månaden. Mötena syftar till att informera projektdeltagarna om hur respektive delprojekt fortskridet samt att gemensamt komma fram till beslut som säkerställer att projektet når uppsatt målsättning

3.2. Arbetsmetod

Respektive projektdeltagare gör sin egen planering och ansvarar för sin egen budget utgående från de fastställda målsättningarna som nämnts under punkt 1. "Projektets Omfattning och Målsättning" samt den budgetram som specificerats under punkt 4. "Budget/Kostnader".

3.3. Verifiering / Validering

MSKB-gruppen förfogar tillsammans över mätutrustning och kunskap inom alla våglängdsområden varför fullständig karakterisering av framtaget material på ett relevant och korrekt sätt kommer att utföras.

3.4. Uppföljning, rapportering och styrning av projekt

Projektledaren ansvarar för ekonomisk uppföljning av projektet samt rapportering till FOI.

3.5. Upphandling/inköp

Projektet är upplagt så att Saab Barracuda AB står som firmatecknare gentemot FOI. Därför kommer Saab Barracuda AB att upphandla övriga projektmedlemmars tjänster/arbete. De köpta tjänsterna är specificerade under punkterna 1.2.1. – 1.2.3. till en kostnad som nämns under punkt 4. "Budget/Kostnader".

4. Budget – Specificerade Kostnader

I anbudsinfördran "Anbudsinförfrågan FOI 1887/03 uppdrag inom FM nanoteknikprogrammet" står det att kostnadsramen för uppdraget är 2.5 MSEK/år samt att en option på vad som kan göras för ytterligare 0.5 MSEK/år ska anges.

I tabellen nedan är de två budgetarna specificerade. Skillnaden i arbetsinsats och resultat mellan de två budgetarna är att inom den lägre budgetramen kommer aktiviteter som har med visuella egenskaper (försök att inkorporera visuella egenskaper i en och samma partikel tillsammans med NIR- och IR-egenskaper, syntes av nya visuella pigment) att prioriteras bort. Detta kan i förlängningen (vid en eventuell fortsättning av projektet) innebära att icke önskvärda effekter, såsom försämrade NIR och IR egenskaper vid tillsats av traditionella pigment, gör att den tänkta slutprodukten blir undermålig.

RELEASED WITH PERMISSION 2003-12-17

Steve J. Savage

5. Kritiska faktorer

I ett projekt av denna karaktär (forskningsprojekt) då nya idéer och tekniker ska testas och utprovas måste det finnas utrymme för misslyckanden. Det måste följaktligen också finnas tid för att ta reda på orsaken/orsakerna till misslyckandet. En uppenbar risk i detta projekt är att det inte finns tillräckligt med utrymme för misslyckanden. Detta kan i sin tur leda till att lösningarna inom respektive våglängdsområde inte kan optimeras.

RELEASED WITH PERMISSION 2003-12-17

Steve J. Savage

APPENDIX 3.5 Nanocomponents for the terahertz region

Project leader: Staffan Rudner, FOI

Projektbeskrivning

Att föra strid eller delta i fredsbevarande insatser i urban miljö är ett mycket riskfyllt uppdrag, inte minst när byggnader skall undersökas eller bevakas. Framtida internationella insatser i städer liksom nationella polisiära/militära insatser mot terrorister eller grov brottslighet är ett nytt behovsområde för kvalificerad sensor teknik. Behoven gäller såväl sensorer för spaning och bevakning som sensorer för kontroll av personer och fordon eller varor.

Det övergripande målet för projektet är att ta fram och demonstrera nanokomponenter i THz området (100GHz - 10THz) avsedda för nya potentiella sensorsystem som skulle kunna ge försvaret tillgång till information om t ex närvägo eller frånvaro av människor bakom väggar eller dörrar och därvid kanske t o m särskilja mellan beväpnade och obeväpnade personer. Andra nya sensorer som kan möjliggöras med samma THz-komponenter är sensorer för stridsfältsövervakning i stad och sensorer som ser igenom kläder och emballage och på avstånd kan varna för att en person bär på vapen eller explosivämnen.

Detta projekt skall studera diod-, transistor-, krets- och antennteknologi i området 100-1000GHz med fokus på smalbandig sändar- och mottagarteknologi för området 100-220GHz samt laser och laserdetektorteknik i området 1 – 10THz.

Målet för fas 1 är att genom forskning och fortsatt teknikbevakning på bredden bygga upp nödvändig teknisk kompetens och systemförståelse inom området nanobaserade THz-komponenter samt att ta fram nya tekniker. Det är också viktigt att bygga upp internationella forskningsnätverk samt ett användarnätverk i Sverige. Vid slutet på fas 1 skall vi ha en kunskap som gör att vi kan detaljplanera och realisera fas 2

Visionen för fas 2 är att utveckla och testa två demonstratorer;

- Som tillämpningsdemonstrator en sändare och mottagare i området under 400GHz lämplig för ”se genom väggen”-sensorer. Samma eller likartade komponenter kan användas i sensorer för stridsfältsövervakning i urban miljö samt i sensorer som genom kläder eller emballage kan varna för vapen eller explosivämnen.
- Som teknikdemonstrator en laserkälla för THz-området. Försvarstillämpningar av denna potentiellt revolutionerande nanokomponent är t ex sensorer som genom kläder eller emballage kan detektera sprängmedel och kanske även B-stridsmedel. Övriga tillämpningar ligger senare i tid och kommer att bero på uppnådda prestanda. Om laserkällan kan användas långt under 1 THz kan den t ex möjliggöra system som kräver längre räckvidder.

Projektets effektmål är att introducera och demonstrera den nya THz tekniken för försvarsmakten, FMV, FOI och försvarsindustrin samt att aktivt ta del av och vidarebefordra information om de nya tillämpningar som tekniken möjliggör. Om och när planerade systeminriktade projekt inom området startar avser projektet att samverka intimt med dessa.

Genomförandeplan (fas 1)

Projektet genomförs i samverkan mellan FOI, CTH, LiU och LTH varvid man;

Vid FOI leder projektet samt designar och testar millimetervågskretsar, antenner och byggsätt i samverkan med CTH

Vid CTH utvecklar och analyserar millimetervågskomponenter för sändare och mottagare i samverkan med FOI och utländska samarbetspartners. Inledningsvis koncentreras arbetet på design och tillverkning av transistorer och dioder för frekvenser upp till 220GHz. Dessa används sedan i en första design och tillverkning av frontend-kretsar för förstärkning, frekvensgenerering samt frekvenskonvertering

Vid LiU utvecklar och testar material för THz lasrar som sedan processas vid andra lab bl a inom ramen för EU-projektet SHINE. När fungerande THz lasrar blir tillgängliga avses LiU att ge oss tillgång till dessa.

Vid LTH utvecklar och testar nya nanokomponentkoncept för THz-området i samverkan med CTH och utländska partners. Denna verksamhet fokuserar på bl a nya lasrar, laserdetektorer och transistortyper.

Leveranser och kostnader

Projektets resultat presenteras muntligt kvartalsvis samt halvårsvis i en lägesrapport (FOI Memo). Alla vetenskapliga resultat presenteras även i vetenskapliga tidskrifter och vid internationella konferenser

Minst en gång per år presenteras och diskuteras projektets resultat med en användargrupp. Genom en regelbunden dialog avseende projektets inriktning och resultat med representanter från FMV och försvarsindustrin i en användargrupp säkras en god kundrelevans och en smidig resultatöverföring. En preliminär användargrupp som är intresserad att följa projektet består av Gunnar Ericson, FMV, Maria van Zijl, Saab, Johan Ståhl, EMW, Thomas Swahn, Optillion och Torbjörn Fängström VINNOVA.

Milstolpar för fas 1

Leveransdatum	Beskrivning
2003-12-10	Värdering av THz-teknikens möjligheter i försvarstillämpningar (FOI Memo, gemensam milstolpe med projektet "Värdering av THz-tekniken" (Strat fo kärrnor))
2004-12-10	Första design och tillverkning av transistorer och dioder för frekvenser upp till 220GHz samt första design och tillverkning av materialstrukturer för THz lasrar (Lägesrapport, FOI Memo)
2005-06-10	Första design och tillverkning av frontend-kretsar för förstärkning, frekvensgenerering samt frekvenskonvertering. Tillverkning och analys av material till laserdioder samt slutgiltigt förslag till fas 2 (Lägesrapport, FOI Memo)
2005-12-10	Slutrapport

Budget

Inom en ram på 2,5 Mkr årligen i två år planeras följande budget;

FOI	TOTAL	Phase 1	
		Year 1	Year 2
Salaries inkl overhead	1986	993	993
Equipment	80	40	40
Material, running costs	14	7	7
Travel	120	60	60
TOTAL	2200Kkr	1100Kkr	1100Kkr

CTH	TOTAL	Phase 1	
		Year 1	Year 2
Salaries	600	300	300
Equipment	200	100	100
Material, running costs	140	70	700
Travel	70	35	35
Overhead costs	390	195	195
TOTAL	1400Kkr	700Kkr	700Kkr

LTH	TOTAL	Phase 1	
		Year 1	Year 2
Salaries	360	180	180
Equipment	0	0	0
Material, running costs	60	30	30
Travel	32	16	16
Overhead costs	248	124	124
TOTAL	700 kkr	350 kkr	350 kkr

LiU	TOTAL	Phase 1	
		Year 1	Year 2
Salaries	460	230	230
Equipment			
Material, running costs	20	10	10
Travel			
Overhead costs	220	110	110
TOTAL	700Kkr	350Kkr	350Kkr

Samarbetspartners

Förutom universitetsgruppernas redan etablerade internationella samarbete i EU- och ONR-program förs nu diskussioner om ett MoU-samarbete med Fraunhofer Institute of Applied Solid-State Physics (IAF), Freiburg (Dr. Rüdiger Quay). Om ett sådant MoU-samarbete kommer till stånd bedöms projektet kunna genomföra fas 2 med samma årliga budget som under fas 1.

Tilläggsoffert för fas 1

Om projektet kan disponera ytterligare 0,5 Mkr per år i två år föreslås att FOI genomför kompletterande studier avseende olika materials transmissions- och reflektions-egenskaper i millimetervågsområdet samt en teknisk förstudie av en millimetervågsradars egenskaper m ap ”se igenom väggen” applikationer samt för övervakning av urbant stridsfält.

Materialmätningar (0,5 Mkr)

Materialmätningar för olika typer av byggmaterial för att definiera materialets transmissions- och reflektionsförmåga samt materialets permittivitet och permeabilitet i frekvensområdet upp till 120 GHz. En bedömning av respektive materials egenskaper över 120GHz kommer också att genomföras. Så många material som möjligt avses karakteriseras för att i slutstadiet kunna bygga en materialdatabas. En komplett databas ger en bra översikt över de material som finns samt deras egenskaper och kan ligga till grund för analys av resultat från andra delar av projektet.

Tillgänglig mätutrusning

- **Reflektions- (NRL-Arch) och transmissionsmätutrusning för frirymdsmätning av provpanel.**
Med hjälp av skalärnätverksanalysator Wiltron 54147A kan reflektion och transmission (endast amplitud) mätas upp i frekvensområdet mellan 2 och 120 GHz. Utifrån reflektions- och transmissionsmätningar kan permittivitet (realdel) beräknas som funktion av frekvens.

Arbetsgång

- Standardisering av mätutrusningen och mätprocedur inklusive litteraturstudier
- Val av material, både svenska och icke svenska byggmaterial
- Materialmätningar, både i vågledare och i frirymd
- Bedömning av materialegenskaper vid högre frekvenser
- Utformning av databas

Samarbete

Saab Dynamics AB har liknande mätutrusning för materialkarakterisering och är intresserat av samarbete inom det här området. Ett sådant samarbete handlar främst om utveckling av mätmetodik vid materialmätningar, men det kan också inbegripa en kvalitetssäkring genom jämförelser mellan vissa mätningar utförda vid FOI resp Saab Dynamics.

Millimetervågsradar för att se igenom väggen samt för övervakning av urbant stridsfält (0,5 Mkr)

Ett stort problem vid övervakning av urbant stridsfält är den ofta mycket begränsade fria sikten. En fientlig styrka kan vara under framryckning bakom nästa gathörn och behovet av ett sensorsystem som kan registrera en sådan aktivitet är påtagligt. En bärbar koherent millimetervågsradar, som klarar att inmäta doppler (rörelse) och har relativt god direktivitet, är en lösning. Experimentella försök kommer att göras för att klargöra möjligheten att via reflexion i angränsande husväggar detektera föremål i rörelse, vilka befinner sig utanför siktlinjen.

Ett annat problem vi strid i bebyggelse är den fientliga aktivitet som kan förekomma inne i byggnader. Här behövs en sensorförmåga som klarar att detektera mänskor genom väggar, men helst också kunna lokalisera var i rummet de befinner sig. En koherent mm-vågsradar är även i detta sammanhang en intressant lösning. Även i denna tillämpning är det förmågan att registrera rörelse som är fundamental, men de höga frekvenserna medför högre avstånds- och vinkelupplösning, vilket ger möjlighet till att eventuellt också kunna avbilda objekt på andra sidan väggen.

Experimentella försök kommer att göras för att detektera och om möjligt avbilda objekt genom väggen genom kommer att utföras vid de traditionella frekvenserna 35 resp 94 GHz. Enklare försök kommer också att göras för att detektera och ev. avbilda vapen genom kläder eller gömda i paket. Mätningarna genomförs med den radarutrustning som finns vid Lilla Gården.

APPENDIX 3.6 Self-decontaminating surfaces

Project leader: Dan Jacobsson, Institutet för Metallforskning, Stockholm

Projekttitel: ”Självsanerande ytor” enligt projektbeskrivning ”Biological and Chemical Decontamination”		Datum 2003-09-05
Anbudsgivare: Dan Jacobsson Institutet för Metallforskning Drottning Kristinas väg 48 114 28 Stockholm	Offertens ID-nr FOI 1888/03 Projektförslagets ID-nr FOI Dnr: 02-2878:16	Version 1
Tel. 08-440 48 44	E-post dan.jacobsson@simr.se	Grupp Ytkemi

Vi erbjuder er härmed projektet: **Självsanerande ytor**

1. Kravspecifikation

Projektbeskrivning med genomförandeplan för fas 1, dvs. de två inledande åren samt vision för fas 2 återfinns i inlämnad projektplan ”BC decontamination” (”Självsanerande ytor”), FOI Dnr: 02-2878:16.

1.1 Projektbeskrivning

Projektet syftar till att utveckla nya material och metoder för nedbrytning av biologiska och kemiska substanser (BC ämnen) vilka kan användas i självsanerande system. Två olika principer för självsanering skall studeras:

- 1) fotokatalytisk nedbrytning på ytor av nanostrukturerade, halvledande metalloxider.
- 2) antibakteriell nedbrytning på ytor av organiska filmer innehållande nanodispersiva aktiva komponenter.

Syftet är att ta fram självsanerande material/beläggningar som (i) förhindrar ackumulering/tillväxt av CB föroreningar på dess ytor och därmed bibehåller materialets ursprungliga funktion under en längre period, och (ii) dels ta fram material och metoder för att effektivt bryta ner toxiska kemikalier för att rena luft. Målsättningen är att utveckla nya mer effektiva material och nya beläggningstekniker som kan appliceras i polymera (flexibla) material, filter- och färgsystem. Projektet skall studera systemaspekter för att optimera material och metoder för industriell uppskalning. I fas 2 är visionen att ta fram systemlösningar lämpliga för industriell produktion med följande försvarsspecifika tillämpningar: Självsanerande material/beläggningar (i) på tält- och presenningar (BC agens skydd och förbättrade hygieniska förhållanden i t.ex. fältsjukhus), (ii) i materialförråd (mot odör och mögel), (iii) i skrovbeläggningar, och/eller (iv) i luftfilter. Det offererade projektet exklusive option är något nedbantat jämfört med den ursprungliga ansökan.

Projektet består av fyra aktörer vilka ansvarar för olika komplementerande delprojekt (i alfabetisk ordning):

- Chalmers, Institutionen för material och ytkemi. Projektansvarig: Doc. Anders Palmqvist.
- FOI NBC skydd, Institutionen för miljö och skydd. Projektansvarig: Dr. Ola Claesson.
- Institutet för metallforskning (IM). Projektansvarig: Dr. Dan Jacobsson.
- Ångström laboratoriet, Avdelningen för fasta tillståndets fysik vid institutionen för teknikvetenskaper. Projektansvarig: Prof. Claes-Göran Granqvist.

I tabellen nedan anges målen för respektive delprojekt.

Mål fas 1	Aktör
Syntes av fotokatalytiskt aktivt nanomaterial, inkluderande TiO ₂ , (nanopartiklar, mesoporöst material, och 'core-shell' partiklar) med välbestämd struktur och kemisk sammansättning (även dopade oxidstrukturer) med våtkemiska metoder (speciellt själv-aggregerande system).	Chalmers
Verifiera, beskriva och bestämma optimala reaktionsbetingelser för fotokatalytisk nedbrytning av C agens (organiska fosforföreningar) och volatila organiska ämnen (VOC) på fotokatalytiska ytor tillverkade inom projektet, för att användas i design av optimerade fotokatalytiska system.	FOI
Att med nanodispersiv inblandning av antimikrobiella komponenter i färgsystem skapa självsanerande ytor på befintliga och nyproducerade produkter, samt förstå samspelet mellan dispergering och övriga egenskaper hos färgfilmer med avseende på antimikrobiell verkan under systemets livslängd.	IM
Tillverkning av fotokatalytiskt aktiva nanoporösa metalloxid- och metalloxynitridskikt (inkluderande TiO ₂ och TiO ₂ :N) med sputtering och gasdeponering på substrat (inkluderande polymera substrat) lämpliga för systemuppskalning.	Ångströmlab.

1.2 Genomförande plan

Projektet avser att iterativt tillverka och karakterisera nya fotokatalytiska material genom leveranser från Chalmers, IM och Ångström, som fortlöpande utvärderas m.a.p. saneringsförmåga (FOI). Logistiken och tidsplanen för denna verksamhet finns beskriven i §1.3. Projektet har tillgång till erforderlig utrustning för syntes av material genom respektive aktör. Syntes och kunskap om C agens (speciellt organiska fosforföreningar) finns på FOI. Mätningsutrustning och analys för saneringsförmåga färdigställs på FOI under 2003. Utformningen av programmet i en fas 1 och fas 2 (2+3 år), projektets storlek (4 aktörer), samt den instrumentkrävande metodiken medför vissa randvillkor för anställningar och projektgenomförande, som gör det önskvärt att å ena sidan knyta senior personal till projektet i så hög grad som möjligt, samt å andra sidan erbjuda en kostnadseffektiv organisation. I denna offert anges en minimum nivå baserad i huvudsak på personalkostnader. Några punkter i den ursprungliga målbeskrivningen utgår i denna nedbantade offert av ovan angivna skäl. I en utökad offert (option) erbjuds:

- Processutveckling i samverkan med Chromogenics Sweden AB.
- Nedbrytning av B agens.
- Utvärdering av kommersiella antibakteriella system mot BC agens.
- Utvärdering av våtkemisk metod för beläggning av ytor med fotokatalytiskt material.

1.3 Leveranser och specificerade kostnader

Nedan anges specifikt delleveranser, tidsplan, specifika kostnader utslagna på respektive delprojekt för att synliggöra genomförandeplanen.

Chalmers:

Tidpunkt (år/kvartal)	Delmoment	Avrapportering	Kostnad (kkr)
1/1	• Tillverkning av nanopartiklar (inkluderande TiO ₂ och Ag) med våtkemiska metoder	Lägesrapport	170
1/2		Halvårsrapport	170
1/3		Lägesrapport	170

1/4	<ul style="list-style-type: none"> Tillverkning av mesoporösa metalloxider (inkluderande TiO₂) med våtkemiska metoder Deponering av nanopartiklar på mesoporösa metalloxider (inkluderande Ag på TiO₂) Tillverkning av "core-shell" nanopartiklar (inkluderande Ag partiklar belagda med ett TiO₂ skal) 	Årsrapport	170
2/1	<ul style="list-style-type: none"> Urval av bästa system av nanopartiklar med avseende på fotokatalytisk aktivitet 	Lägesrapport	170
2/2		Halvårsrapport	170
2/3		Lägesrapport	170
2/4	<ul style="list-style-type: none"> Urval av bästa system av mesoporösa metalloxider med avseende på fotokatalytisk aktivitet Optimering av materialsynteser Studie av möjligheterna för uppskalning av optimerade materialsynteser 	Årsrapport	170
Total kostnad			1360

Materialen kommer att karakteriseras med hjälp av TEM, SEM, XRD, N₂-adsorption, SAXS och PCS/DLS vid Chalmers i den utsträckning som anses nödvändig för utvecklingen av materialsynteserna.

FOI:

Tidpunkt (år/kvartal)	Delmoment	Avrapportering	Kostnad (kkr)
1/1	<ul style="list-style-type: none"> Projektanställning av forskare/doktorand 	Lägesrapport	115
1/2	<ul style="list-style-type: none"> Val, beställning och ev. syntes av kemiska målsubstanser (VOC och organiska fosforföreningar) 	Halvårsrapport	115
1/3		Lägesrapport	115
1/4	<ul style="list-style-type: none"> Anpassning av fotokatalytiska mätmetoder till projektspecifika material Karakterisering av fotokatalytiska material 1 Fotokatalytisk nedbrytning av toxiska kemiska substanser 1 	Årsrapport	115
2/1	<ul style="list-style-type: none"> Karakterisering av fotokatalytiska material 2 	Lägesrapport	115
2/2	<ul style="list-style-type: none"> Karakterisering av fotokatalytiska beläggningar 1 	Halvårsrapport	115
2/3	<ul style="list-style-type: none"> Fotokatalytisk nedbrytning av toxiska kemiska substanser 2 	Lägesrapport	115
2/4	<ul style="list-style-type: none"> Karakterisering av fotokatalytiska processbetingelser för nedbrytning av toxiska kemiska substanser Optimering av fotokatalytiska processbetingelser för nedbrytning av toxiska kemiska substanser Verifiering av fotokatalytiska principer i realistiska miljöer Rekommendationer, systemaspekter, och uppskalningsproblematik inför fas 2 	Årsrapport	115
Total kostnad			920

Karakterisering görs med hjälp av MS, GC, FTIR, XPS och UV-Vis. Arbetet utförs i samarbete med Institutionen för Organisk kemi, Umeå universitet.

IM:

Tidpunkt (år/kvartal)	Delmoment	Avrapportering	Kostnad (kkr)
1/1	• Metodutveckling för nanodispers fördelning av aktiva komponenter i organiska filmer (färgsystem)	Lägesrapport	170
1/2		Halvårsrapport	170
1/3	• Lab försök för att bekräfta dispersionsmetod	Lägesrapport	170
1/4	• Framställning av aktiva komponenter i nanodispersiv form i organiska beläggningar	Årsrapport	170
2/1	• Karaktärisering av framställda skikt	Lägesrapport	170
2/2	• Optimering av antimikrobiella mekanismer (bl.a. utsöndring av joner) realiserade i organisk film	Halvårsrapport	170
2/3		Lägesrapport	170
2/4	• Sammanfattning slutsatser och rekommendationer för fas 2	Årsrapport	170
Total kostnad			1360

Det arbete och tillhörande delmoment som utförs av IM sker i samarbete med Institutionen för Polymerkemi, KTH.

Ångströmlaboratoriet:

Tidpunkt (år/kvartal)	Delmoment	Avrapportering	Kostnad (kkr)
1/1	• Tillverkning av nanoporösa metalloxidskikt (inkluderande TiO ₂) med sputtering	Lägesrapport	170
1/2	• Tillverkning av nanopartiklar av metalloxider (inkluderande TiO ₂) med gasdeponering	Halvårsrapport	170
1/3	• Tillverkning av nanoporösa metalloxynitridskikt (inkluderande TiO ₂ :N)	Lägesrapport	170
1/4	• Tillverkning av nanoporösa skikt av dopade metalloxidskikt (inkluderande TiO ₂ :X (X=Au, Cr, Mo,...))	Årsrapport	170
2/1	• Jämförande utvärdering av data för de metalloid-baserade materialen	Lägesrapport	170
2/2	• Optimering av materialsyntes	Halvårsrapport	170
2/3	• Uppskalning till 30x30 cm; explorativa försök	Lägesrapport	170
2/4	• Uppskalning till 30x30 cm; tillverkning av optimerade material	Årsrapport	170
Total kostnad			1360

Materialen kommer att karakteriseras med TEM, SEM, XRD och en rad elektrokemiska metoder inkl cyklisk voltammetri och impedansspektroskopi i den utsträckning som erfordras.

1.4 Leveranser och fakturering:

Inför varje leverans sammanfattar koordinatorn lägesrapporterna från delprojekten. Vartannat kvartal sker leveransen muntligt. Vid varje halårsredovisning sker leveransen skriftligt och muntligt vid halvårseminarium. Efter godkänd leverans sker fakturering.

1.5 Samarbetspartners, internationellt samarbete

I enlighet med ansökan”), FOI Dnr: 02-2878:16. Se även §1.5 option.

1.6 Option

No.	Tidpunkt (år)	Leveransbeskrivning	leverantör	Option (kkr)
1.6.1	2	Utvärdering av våtkemisk metod för beläggning av ytor med fotokatalytiskt aktivt material för att möjliggöra uppskalning och beläggningsförsök.	Chalmers	140
1.6.2	2	Fotokatalytisk nedbrytning av B agens	FOI NBC skydd	70
1.6.3	2	Utveckling av utvärderingsmetod för antimikrobiella effekter. Metoden appliceras för att utvärdera den biologiska effekten av framtagna nanodispersiva och kommersiella system. (Alternativ: Utvärdering av kommersiella antimikrobiella system. System väljs m.a.p.mekanism och rapporterade egenskaper. De tre intressanta mekanismerna är: oligodynamisk (metalljoner), halogener (t.ex. Br med rapporterad effekt på VX gas) och organiska agenter. Valet gör utan avseende på nanoteknik utan bara på bedömd effekt. Systemen utvärderas m.a.p. effekt på antimikrobiella mekanismer och effekter.)	IM	150 (150)
1.6.4		Utnyttjande av resurser i företaget <i>Chromogenics Sweden AB</i> (etablerat av sökande på Ångström lab.) för ytbeläggning av bl. a. fotokatalytiska skikt på flexibla underlag.	Ångström	140
Total kostnad				500

Optionen avser:

- Nya resurser riktade mot uppskalningsförsök och industriellt samarbete (1.6.1 och 1.6.4).
- Leveranser i enlighet med ursprunglig ansökan som tagits bort för att anpassa beställningen till ett belopp på 2.5 MSEK/år (1.6.2 och 1.6.3)

2. Pris

Totalt, exklusive moms, är priset för projektet 2,5 MSEK/år i fas 1. Priset är fast. Moms utgår totalt med 625 Kkr/år. Priset baseras på det beräkningsprinciper som angetts i projektplanen.

Notera dock följande. Målsättningen med dessa beräkningsprinciper var att 1 manår/delprojekt skulle utföras. Efter det att den ursprungliga ansökan lämnats in till försvarsmakten har kraftiga lönekostnadsökningar slagit igenom (främst OH kostnader). För att upprätthålla rimligt godtagbar nivå, dock ej ett fullt manår/utförare, har projektet bantats (se ovan).

Om även optionen §1.5 beställs så möjliggör detta att alla väsentliga delar i projektets ursprungliga målsättning och genomförandeplan kan genomföras i enlighet med ansökan FOI Dnr: 02-2878:16.

Angivet pris för optionen är 0.5 MSEK utan moms.

3. Kvalitetsgaranti

Projektet kommer att utföras i enlighet med §6 i avtalsförslaget och med den goda forskningskvalitet som upparbetats vid respektive utförare. Dokumentation, t.ex. kvalitetshandböcker, kan erhållas vid begäran.

4. Krav på Leverantörer:

Institutet för Metallforskning kommer vara projektets koordinator. Som sådan ansvarar IM för rekvisition av betalning från FOI och distribution av dessa medel till övriga partner efter uppfyllda åtaganden. Inget förhindrar IM enligt LOU 6 kap 9§ att agera som koordinator.

5. Avtalsvillkor:

Följande kompletteringar och förändringar till ”utkast till avtal”, som bilagts Anbudsinfodran FOI 1888/03, offereras:

Kompletteringar:

§4. Hos Koordinatoren skall för detta avtal Dan Jacobsson vara ansvarig. Lämnar den uppdragsansvarige sin anställning hos Koordinatoren skall parterna i samråd utse en ny uppdragsansvarig. I övrigt tillhandahåller Koordinatoren följande organisation gentemot FOI:

- Ola Claesson, FOI NBC Skydd (biträdande Koordinator)
- Anders Palmqvist, Material och ytkemi, Chalmers
- Claes-Göran Granqvist, Ångströmlaboratoriet, Fasta tillståndets fysik

Förändringar:

Avtalet ska tecknas av samtliga partner, d.v.s. även FOI, Ångströmlaboratoriet och Chalmers enligt listan i §4 ovan. Alla partner tillsammans bör benämns ”Leverantörer”. IM bör benämns ”Koordinator” men är tillika leverantör. I avtalstexten bör Leverantören i tillämpliga fall bytas ut mot Koordinatoren. Tillämpliga fall är bl. a. vid ekonomiska transaktioner mellan FOI och projektdeltagarna. Dessa fall kan vara i följande paragrafer: §4, §5 och §8. I övrigt bör pluralformen Leverantörerna användas.

Specifika paragrafer:

§7. Kostnader för resor nödvändiga för projektarbetet och i samband med leverans till FOI måste ingå i projektbudgeten. Någon annan, extern eller alternativ finansiering finns ej. Därför föreslås att sista meningen i paragrafen ersätts med: ”Uppkomna resekostnader hanteras inom projektbudget.”

§8. Ingen av projektets partner har ekonomiska förutsättningar att vänta med ersättning till efter slutleverans. Därför föreslås att första meningen ersätts med: ”Koordinator fakturerar för alla leverantörers räkning upparbetat, redovisat och av FOI godkänd delleverans. Delleveranserna sammanfaller med de kvartalsvisa redovisningarna som överenskommits.”

§11: Skrivelsen kring sekretess kan läsas så att all inhämtning och sedvanligt utbyte av vetenskap inte är möjligt. Detta kan starkt försvåra och försämra projektarbetet. Texten bör bytas ut mot att andemeningen blir att sedvanlig sekretess anmodas och eventuellt att FOI äger rätt att efter kvartalsredovisningarna påtala särskild sekretess för någon delleverans/delprojekt eller annan avgränsad del av projektet.

6. Anbudets form

Anbjudet ges av Institutet för Metallforskning på följande partners vägar:

- Chalmers, Institutionen för material och ytkemi
Org.nr. 556479-5598
Kemivägen 10, 412 96 Göteborg
tel. 031-772 29 61
- FOI NBC skydd, Institutionen för miljö och skydd
Org.nr. 202100-5182
Cementvägen 20, 901 82 Umeå
tel. 090-10 67 00
- Institutet för Metallforskning (IM)
Org. nr: SE556593050901
Drottning Kristinas väg 48, 114 48 Stockholm
tel. 08-440 48 44
- Ångström laboratoriet, Avdelningen för fasta tillståndets fysik vid institutionen för teknikvetenskaper.
Org.nr. 20210029301
Box 534, 751 21 Uppsala
tel. 018-471 30 67

Om ni har frågor angående Institutet för Metallforskning eller offerten står vår kontaktperson
Avdelning: Kemi

Dan Jacobsson

APPENDIX 3.7 Sensor protection

Project leader: Cesar Lopes, FOI

Projektbeskrivning

Modern laserteknik medför risker för skador på ögon och optiska sensorer på slagfältet och i terroraktioner. Målet för projektet är att ta fram och demonstrera nya material och strukturer för självverkande laserskydd genom s k optisk begränsning (Optical Power Limiting, OPL, materialen blir mörkare desto mer de belyses). En detaljerad bakgrund och projektplan på engelska finns som en bilaga.

Målet för fas 1 är att genom forskning och internationell teknikbevakning vidareutveckla material och metoder studerade i det tidigare FM fotonikprogrammet samt FoT-projektet "Laserskydd". Dagens bästa material ligger på gränsen att klara det hårda krav som ställs för ögonskydd. Syftet är att genom nanoteknik förbättra materialens prestanda och samtidigt prova olika metoder att bygga in processegenskaper som gör att materialet kan användas i form av optiska filter.

Vid slutet på fas 1 skall vi ha en kunskap som gör att vi kan detaljplanera och realisera fas 2.

Visionen för fas 2 är att vidareutveckla och optimera materialet framtagna i fas 1 och slutligen utpröva konkreta optiska filter.

Genomförandeplan

Projektet genomförs i samverkan mellan FOI, KTH, LiU, UmU, UCB (Frankrike) och NTNU (Norge). FOI leder projektet samt utvärderar den optiska begränsningsfunktionen och andra optiska egenskaper i samverkan med NTNU.

Vid UmU och UCB framställs speciellt lämpade molekylära föreningar med OPL-egenskaper genom kemisk syntes.

Vid KTH polymerteknik tas i samverkan med organiska synteskemisterna fram strategier för inbyggning av molekylära optiskt aktiva strukturer i olika polymersystem lämpade för processteknik till filter.

Vid FOI och NTNU uppmäts materialens OPL-egenskaper och andra viktiga parameterar från exciterade tillstånd (absorbans, livstider).

Vid LiU och KTH beräknas och modelleras materialegenskaperna av experter på teoretisk kemi, och jämförs med resultat från den experimentella karakteriseringen.

Leveranser och kostnader

Projektets resultat sammanfattas och presenteras muntligt kvartalsvis samt halvårsvis i en lägesrapport (FOI Memo). Alla vetenskapliga resultat presenteras även i vetenskapliga tidskrifter och vid internationella konferenser. En lista med erhållna resultat och vetenskapliga publikationer uppdateras löpande.

Minst en gång per år presenteras och diskuteras projektets resultat med en användargrupp av typen "workshop". Detta görs i samverkan med relaterade FoT-projekt som i regel har kunskapsutbyte med utländska organisationer som har liknande teknikutvecklingsprogram (AFRL, DSTO).

Leveranser/Milstolpar för fas 1

Leveransdatum	Beskrivning	kkr
Kvaral 1, år 1	Pres. av projektet etc; poster vid Älvsjömässan (03-11-12 - 03-11--13), presentation för högvarteret (03-11-14) och kick-off	625
Kvartal 1, år 1	Muntlig rapportering I	
Kvaral 2, år 1 2004-04-30	Första design, tillverkning och utvärdering av molekylära system, nano-hybrider och dendritiska inkapslingar. Lägesrapport, FOI Memo.	625
Kvartal 2, år 1	Medverkan vid halvårsseminarium	
Kvartal 3 år 1	Muntlig rapportering II	
Kvartal 4, år 1 2004-10-29	Fortsatt beskrivning av design, tillverkning och utvärdering av molekylära system, nanohybrider och dendritiska inkapslingar. Lägesrapport, FOI Memo.	1250
Kvartal 1, år 2	Muntlig rapportring III	
Kvartal 2, år 2 2005-04-30	Resultat av molekylära system i geler och polymerer. Plan för fortsatt arbete i fas 2. Lägesrapport, FOI Memo	1250
Kvartal 2, år 2	Medverkan vid halvårsseminarium	
Kvartal 3, år 2	Muntlig rapportering IV	
Kvartal 4, år 2 2005-10-31	Slutrapport fas I	1250

Samarbetspartners

Följande samarbetspartners förutom leverantören vid FOI ingår i projektet:

- KTH, Fiber- och Polymerteknologi (Dr. Eva Malmström)
- UmU, Institutionen för Kemi, Organisk Kemi (Dr. Bertil Eliasson)
- UCB, Laboratoire des Multimatériaux et Interfaces UMR CNRS 5615, France (Dr. Stephane Parola)
- NTNU, Naturvetenskapligt och Tekniskt Universitet, Trondheim Norge (Prof. Mikael Lindgren)
- KTH ,Teoretisk kemi (Prof. Hans Ågren)
- LiU, Institutionen för Fysik och Mätteknik (Dr. Patrick Norman)
- Saab Tech AB (Dr. Henrik Ludwigs)

Kontaktpersoner

PL: Cesar Lopes, FOI, Institutionen för Signaturmaterial. Tel 013 - 378092 (cesar@foi.se)

Eva Malmström, KTH, Fiber- och Polymerteknologi. Tel. 08 - 7908273 (mave@polymer.kth.se)

Bertil Eliasson, UmU, Institutionen för Kemi, Organisk Kemi. Tel. 090-7866837 (bernil.eliasson@chem.umu.se).

Stéphane Parola, Université Claude Bernard - Lyon1 (France), Laboratoire des Multimatériaux et Interfaces UMR CNRS 5615. Tel. +33 4 72448167 (Stephane.Parola@univ-lyon1.fr)

Mikael Lindgren, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Department of physics,
Tel. +47 7359341 (Mikael.Lindgren@phys.ntnu.no)

Hans Ågren, KTH ,Teoretisk kemi. Tel. 08 - 55378416 (agren@theochem.kth.se)

Patrick Norman, LiU, Institutionen för Fysik och Mätteknik. Tel. 013 - 281688
(panor@ifm.liu.se)

Henrik Ludwigs, Saab Tech AB. Tel. 08 - 58085729 (henrik.ludwigs@saabtech.se)

Budget

Inom en ram på 2,5 Mkr årligen i två år planeras följande budget (kSEK).

	<u>KTH</u>	<u>UmU</u>	<u>UCB</u>	<u>FOI, Linköping</u>	<u>KTH/ LiU</u>	<u>NTNU</u>	<u>Proj. ledn.</u>	<u>Total (kkr)</u>
YEAR 1								
Salary	354	240	20	150	471		280	1485
Mtrls, computing	60	50	60	0	80	60	0	320
Equipment	35	35	30	10	0	200	0	300
Travel	20	20	10	0	20	40	20	130
OH (in % and sum)	70%	60%			65%			
	399	240			423			
OH charged to the project*	18%	18%	17%		18%	15%		
	101	55	20		85	45		306
TOTAL Y1	570	400	120	160	650	300	300	2 500
Year 2								
Salary	354	240	20	150	471		280	1485
Mtrls, computing	60	50	60	0	80	60	0	320
Equipment	35	35	30	10	0	200	0	300
Travel	20	20	10		20	40	20	130
OH (in % and sum)	70%	60%			65			
	399	240			423			
OH charged to the project*	18%	18%	17%		18%	15%		
	101	55	20		85	45		306
TOTAL Y2	570	400	120	160	650	300	300	2 500

*skillnaden täcks av andra finansiärer

Tilläggsoffert för fas 1, ram 500 kkr/år Effektivare laserskyddskomponenter

Applikationen kräver så effektiva komponenter som möjligt. Om projektet kan disponera ytterligare 0,5 Mkr per år i två år föreslås att projektgruppen genomför kompletterande studier avseende molekylär självorientering för utökad respons för polariserat laserljus. Vi har tidigare teoretiskt visat att den molekylära orienteringen relativt den infallande strålningen är ytterst viktig för hur effektivt materialen dämpar strålningen. Genom att orientera molekylerna "rätt" kan effektiviteten ökas dramatiskt. Ett antal tekniker kommer att utvärderas för att på detta sätt fram effektivare material.

En detaljerad beskrivning/plan för detta finns i bilaga 2.

BILAGA 1 - DETALJERAD PROJEKTBESKRIVNING

SENSOR PROTECTION

Introduktion

Today's modern warfare relies heavily on optical sensors for information gathering. In this respect, optical sensors are crucial for establishing and maintaining a "Dominant Battlespace Awareness".

As a means for disabling optical sensors, including the human eye, lasers have the right features. Laser weapons against eyes and electro-optical sensors can be divided into two distinct categories:

- Laser weapons designed to permanently damage the human eye or electro-optical sensors
- Laser weapons designed to dazzle or jam

The present project will address the first issue mentioned above*.

The increasing concerns regarding the development in this area were recently discussed by the "Humans Rights Watch".⁴

"We are witnessing an explosion of so-called dazzling laser weapon programs that could prove to be, in effect, blinding laser weapons in disguise. There is a real danger that the procurement and spread of such weapons could render the blinding laser ban meaningless. We fear that weapons labeled as dazzlers could easily be used to blind intentionally"
(Stephen Goose, Director of the Arms Division of Human Rights Watch).

The spread of anti-personnel lasers to civilians, e.g. criminal elements, terrorists, is also of major concern for the society. Thus, the increasing demand for protection of eyes and electro-optical sensors against lasers can not be exaggerated. This is a conclusion which has been drawn by defense organizations around the world.

The obtained knowledge is expected to form a base for the final realization of protective devices for military applications in the wavelength region between 0.4 - 1.5 μm.

*Initially this project did also include protection against dazzle. But, due to unforeseen increase in costs the forthcoming years, this smaller part of the project is excluded.

Overall Project Goal

The overall goal of the proposed project is to design laser protection devices, operating between 0.4 – 1.5 μm, for protection of eyes, electro-optical sensors and night vision goggles against damage/injury. We intend to achieve this goal through research and development of self-activating protection devices. A broad spectrum of laser pulse lengths, from μs pulses to very short pulses, i.e. ps, will be addressed.

Composition of the project group

In order to effectively address the challenging project goal the project group has been composed so as to ensure that several expertise areas are represented. The participants are;

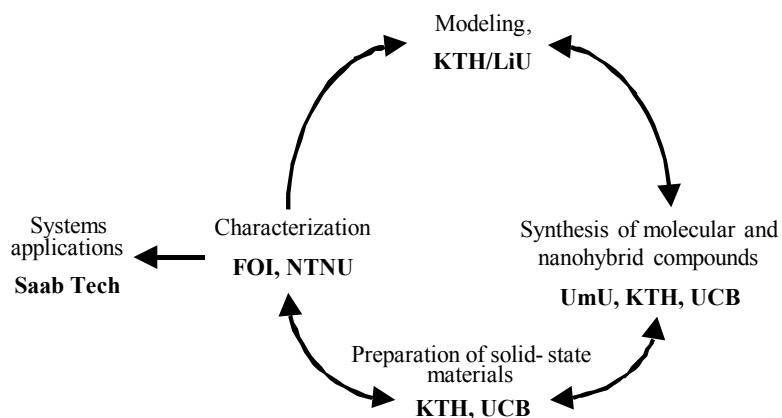
⁴ <http://www.hrw.org>

<u>Participants:</u>	<u>Location</u>	<u>Fields of expertise</u>
Bertil Eliasson, Dr	UmU	Physical org. chem., mechanisms for electron transfer and molecular interactions in the condensed phase. Synthetic chemistry
Cesar Lopes, Dr	FOI	Coordination chemistry, OL characterization
Eva Malmström, Dr	KTH	Synthesis of dendrimers, tailored macromolecules, crosslinking chemistry
Patrick Norman, Dr	LiU	First principle quantum chemical methods with a wide range of applications in light-matter interaction
Stephane Parola, Dr	UCB	Inorganic and organometallic chemistry, emphasis on molecular design and sol-gel processes to obtain thin films, fibers, and monoliths
Hans Ågren, Prof	KTH	Theory and modeling of molecular materials
Mikael Lindgren, Prof	NTNU	Spectroscopic characterization of materials (fluorescence, excited state absorption)
Henrik Ludwigs, Dr	Saab	Laser protection devices for military applications

For the past two years essentially the same project group has been involved in a project in which the main objectives have been towards protection of eyes behind magnifying optics (FMV's Photonics-program, *Electro Optical Counter Countermeasures*). We have been working with nonlinear optical limiting materials (protection against damage) and liquid crystal devices (protection against dazzle/jamming). The group has been successful in the development of liquid based broadband protection against damage for visible wavelength region and nanosecond pulses.

Project Organization

The project will be divided into different areas organized as outlined in the scheme below.



The participants have other granted projects in related areas from FOI, VR, SSF and EU. Saab Tech Systems AB will follow the research during the whole time and evaluate the results obtained by the research group.

International network and co-operation

- US Air Force Research Laboratory, Wright Patterson Air Force Base, Dayton Ohio, USA (Dr Paul Fleitz)
- The Defence Science and Technology Organization of Australia (Dr Tim McKay)
- Universite Joseph Fourier (Grenoble I), France, Laboratoire de Spectrometrie Physique (Dr Patrice Baldeck)
- Air Force Research Laboratory, Materials and Manufacturing Directorate (AFRL/ML), Wright-Patterson Air Force Base (Dr. James G. Grote)
- Photonics Research Center, University of Buffalo (Prof P. Prasad)
- Photonics Research Institute, Kansai Center, Osaka, Japan (Prof. Koji Ohta)
- Univ. of Notre Dame, Indiana, USA (Prof. Graham Lappin)
- Tokyo University, Dept of Chemistry, Japan (Dr. Yuri Muchizuki)
- U. Ottawa, Dept. of Physics, Canada (Prof. David Bishop)
- Air Force Lab, Albuquerque, New Mexico, USA (Prof. Shahsi Karna)

Meetingplan 2004 (preliminary)

Meeting 1: Mars 12, KTH Stockholm

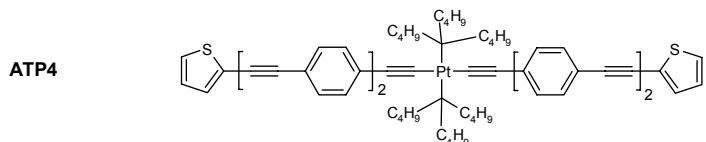
Meeting 2: 14-15 juni, Trondheim Norway

Meeting 3: In connection with a FOI/AFRL workshop in Linköping

Meeting 4: November 26, UmU Umeå

Background to the proposed project

For the past three years the project group has been involved in a project in which the main objective has been towards protection of eyes behind magnifying optics. We have been working on modeling, synthesis and characterization of nonlinear optical limiting (OL) materials for protection against damage. Some very promising OL-entities, such ATP4 (below) have been identified.



To further enhance the optical limiting properties, successful attempts have been made to decorate the OL-compound with dendrons. The hypothesis for doing this was to decrease the effect of intermolecular collisions on the excited state lifetime and also to increase the solubility of the usually poorly soluble OL-compound. This concept was shown to be promising since our results indicate that OL-active compounds having inert protecting side-groups (see dendrimers below) can provide a pathway to improved materials, especially for non-liquid OL filters.

Molecular size (in the range of tens to hundreds of nm) and structure of its shell can be controlled by step-wise synthesis. Although not directly related to the goal of this project, we believe that the shell can be synthesized with various functional groups to facilitate interaction with other molecules, for example to detect certain hazardous chemicals by changes in light absorption or electric conductivity. Further, such molecular materials, with uniform particle/molecular size, may find use as new efficient catalysts with quantitative re-use of expensive metal ions such as Pt(II).

We have also initiated the preparation of organically modified ceramics by using nanohybrid precursors. Glass based materials seem to be especially suitable for optical limiting applications. Our preparation method gives us the means to control the amount of doping in the glass.

The synthetic activities have been closely linked to theoretical modeling. The theoretical modeling group has made substantial contributions to the development of the theory for general linear and non-linear properties, following the interaction between light and matter. The theory, so-called response theory, is based on first principles that fulfill important basic criteria, like size consistency, sum-rules, and gauge invariance. The group has acquired a rich experience in application of response theory to optimize optical non-linearities at the truly molecular structure level, and has obtained a deep understanding of the intra- and inter-molecular interactions and the relationships between microscopic and macroscopic properties.

Project Proposal

With this application we seek to establish a forum for laboratory work---synthesis and spectral characterization---joint with theoretical simulations. We believe that such a joint approach will develop to encompass almost all aspects of the research and production of novel materials, from screening candidate compounds to its performance in the final device. We intend to take full advantage of the already ongoing collaborations between project members and further develop the good prospects for close interactions between theoretical simulations, synthesis and spectroscopy to understand the microscopic origin of photonic properties.

Development of novel optical limiting materials for protection in the solid- or gel-state

This part of the project will be addressed by the use of compounds exhibiting nonlinear optical properties. To obtain optical limiting materials that can be processed into solids or gels we intend to incorporate the chromophore into a dendritic scaffold, a dendrimer or glass material.

A dendrimer scaffold is highly branched (Figure 1) and three different regions can be identified: the core, the interior layers and the outer layer. Dendrimers are unique materials since they are monodisperse, *i.e.* all molecules are identical, which is very unusual for organic macro-molecules.

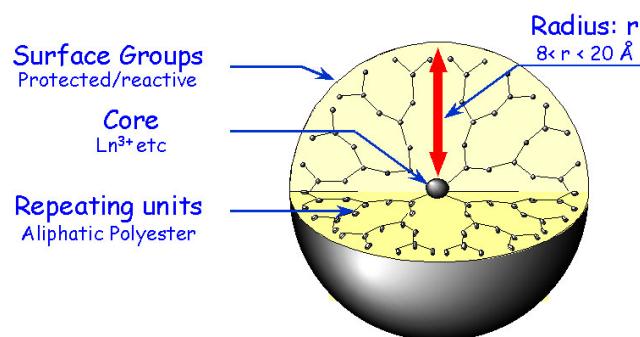


Figure 1. Three distinct regions can be identified within the dendrimer: the core, the interior layers (repeating units) and the outer layer (surface groups).

The monodisperse nature of the dendrimers bring about that a dendrimer can be considered as a individual nanoscopic building block in the size range of 10-50 Å, whose size, topology and functionality can be tailored by the appropriate choice of building blocks (Figure 2). This bring about a large degree of freedom for the synthetic chemist since the appropriate choice of chemistry in each of the regions will give rise to fundamentally different molecules. For instance, alteration of the surface groups gives rise to dramatically different material properties. Also, the chemistry of the repeating unit will determine the flexibility/stiffness of the interior layers and also influence the topology.

Considerable attention has been directed to the use of a dendritic framework to surround an active core molecule. Given that the dendritic skeleton is large enough, shielding or encapsulation of the core moiety is obtained. For dendrimers it has been shown that *e.g.* the core structure, as well as the size of the dendrons, determine the shielding efficiency (Figure 2).

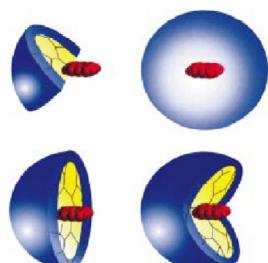


Figure 2. The core determines the number of dendrons possible to attach. Increasing number leads to a more efficient encapsulation. The example depicts a porphyrin-core encapsulated with polyether-dendrons. (Illustration from Aida and Jiang, *Nature* 1997, 388, 454-456)

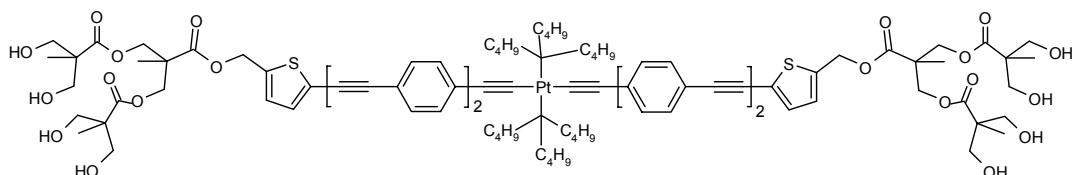
Dendritic polymers are nanometer scale compounds “expected to play a key role as an ‘enabling technology’, shouldering the role as the first class of three-dimensionally ordered materials”.⁵ Their structural build-up provides unprecedented control over shape, size and end-group functionality. This brings about that they can form isotropic and anisotropic assemblies, and more importantly be compatible with many other types of nanometer scale building blocks (DNA, proteins, etc). The dendrimers defined nanoscopic nature might also offer the possibility to use them as individual building blocks in self-assembled structures.

We also intend to use the sol-gel route for the preparation of solid-state materials. For military applications solid-state materials will be needed. By synthesizing covalently bonded organic-inorganic nanohybrid precursors, organically modified ceramics can be prepared (see *Scientific approach* below)

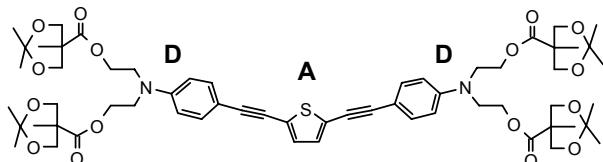
Scientific approach

Materials Design

In the proposed project we intend to further explore the effect of dendron-decoration on the OL-properties. The Malmström group at KTH will, in collaboration with Bertil Eliasson at UmU, aim at structures combining the best OL-compounds with dendritic fragments where one example is shown below.

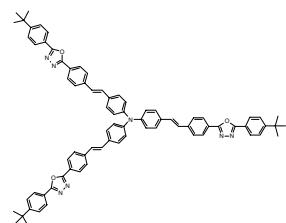


We further aim at the synthesis of dendron-decorated donor-acceptor systems in order to investigate how this affects the OL-properties.



Site isolation and increased solubility are not the only potential benefits of the dendrons. The versatility of the dendron structure allows for OL-active building blocks not only to be incorporated in the core but also in the periphery or in the building blocks. This features help to increase the TPA-cross section as well as leading to increased tunability.

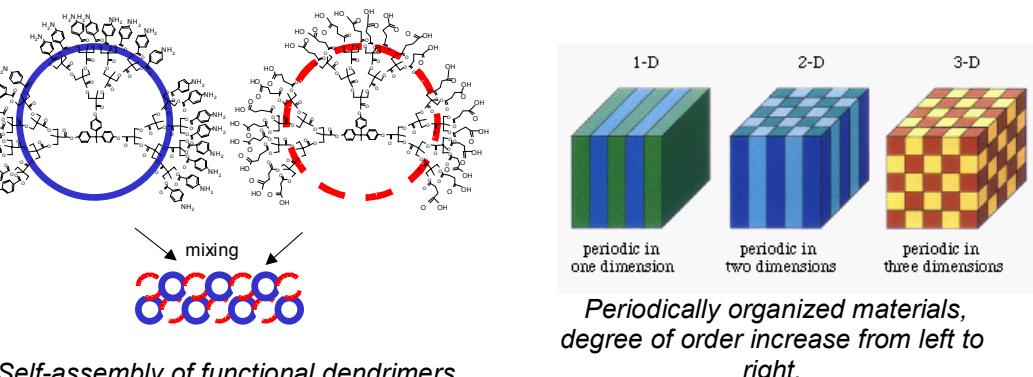
For example, the TPA-cross section for a three-armed compound is six times greater than for the linear building blocks (not three as might be expected).⁶



⁵ Chapter 1 in “Dendrimers and other dendritic polymers”, Wiley Series in Polymer Science, Eds. J.M.J. Fréchet and D. Tomalia

⁶ Ma, H.; Jen, A. K. Y. *Advanced Materials (Weinheim, Germany)* **2001**, 13, 1201-1205.

We hypothesize that dendrimers will self-organize, in order to build up three-dimensionally organized nanostructures, given that the end-groups are accurately chosen, see figure below. The “easily” tailored properties of dendrimers and the fact that a dendritic material can afford site isolation govern the choice of dendritic scaffolds for these materials. In a longer perspective, this concept might prove important and viable to obtain 3D-nanoscopic structures, similar to those found in photonic band gap materials. The major part of this work will be conducted in the group of Eva Malmström, KTH who has a long experience in the synthesis of dendritic materials and crosslinkable materials.



Processing into solid-state materials or gels

Optical limiting molecules need to be incorporated into a solid state matrix in order to be useful for military applications. It is well known that the sol-gel routes allow easy insertion of organic dyes (or particles) into an oxide network.⁷ Two major classes of the so-called organic-inorganic hybrids can be considered:

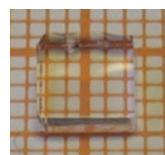
In class I hybrids the organic molecules possess weak chemical interactions with the inorganic network (non-covalently). The optically active molecules can be introduced in the oxide by simply mixing together a solution of the thiocalixarene (or other dyes) with the solution of the precursor. Hydrolysis, gelation and careful drying of the gels can be performed to prepare the final



Class I hybrid

xerogels. A common drawback of this method is that when the concentration of the organics is increased, precipitation or crystallization often occurs during the gelation process. In order to prevent these defects in the final xerogels, class II hybrids can be considered.

In this case the organics are strongly bonded to the inorganic network (covalently). The organic dye has thus to be functionalised with a trialkoxysilane group to create the organic-inorganic covalent link at the very early step of the elaboration of the material.

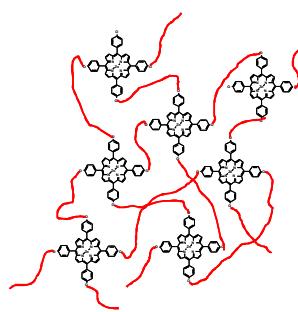


Class II hybrid

We anticipate that the use of sol-gel processes is a viable route to prepare highly concentrated hybrid materials with good optical and mechanical properties.

⁷ a) Avnir, D.; Kaufman, V.R.; Resifeld, R. *J. Non-Cryst. Solids* **1985**, 74, 394. b) Levy D.; Einhorn, S.; Avnir, J.; *J. Non-Cryst. Solids* **1989**, 113, 137. c) Judeinstein, P., Sanchez, C. *J..Mater. Chem.* **1996**, 6(4), 511. d) Riehl, D.; Chaput, F.; Levy, Y.; Boilot, J.P.; Kajzar, F.; Chollet, P.A. *Chem. Phys. Lett.* **1995**, 245, 36.

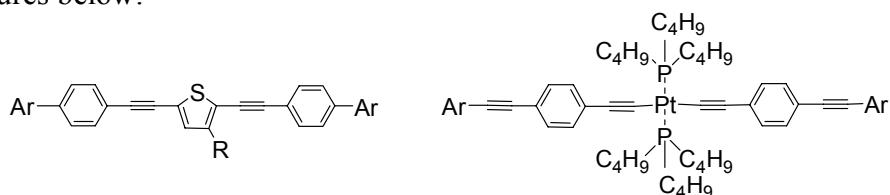
We will also explore the use of crosslinked materials, using coating-type crosslinking chemistries. If the dendrimer is end-capped with crosslinkable groups a solid material can be obtained. The concept has been proven viable, however, more chemistry needs to be elaborated. This part of the work will be guided by Stéphane Parola, UCB (sol-gel processes) and Eva Malmström, KTH (coating-like crosslinking reactions).



The project group has earlier successfully used cocktails (dilute solutions) of thiophenes, thiocalixarenes, porphyrins and/or Pt-acetylides to ensure efficient OL in the visible spectrum. The proposed project will pursue the synthesis of more efficient OL-entities that ultimately will be processed into dendrimers and subsequently into solids, semi-solids, crosslinked films or gels. Theoretical modeling will be used to efficiently and rapidly identify promising compounds that are worth aiming for in the synthetic work.

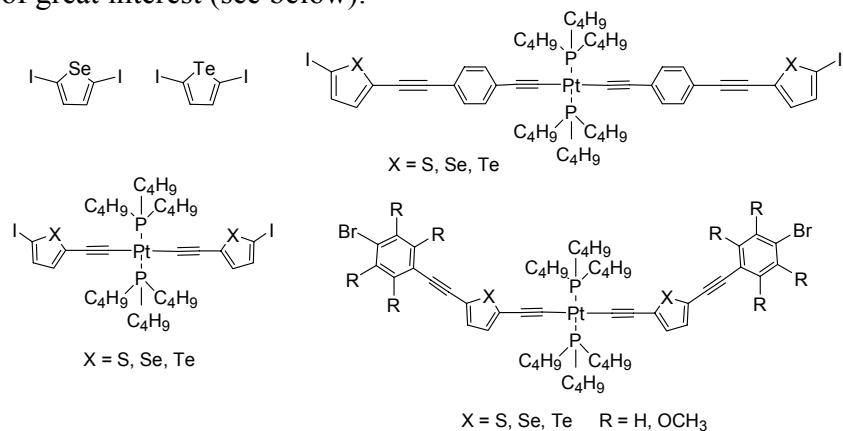
Thiophenes, Pt-acetylides, tellurophenes and selenophenes

The Eliasson group at UmU has previously developed two different molecular entities (see structures below) with promising OL, as characterized by Lopes *et al.* at FOI, Linköping. The most interesting compounds have extended electron-rich molecular substituents, denoted Ar in the structures below:



These compounds have so far only been studied in dilute solution, but robust (thermally, air-, and light-stable) solid or semi-solid structures are of great interest.

We here propose the synthesis of additionally improved molecular units, exhibiting pronounced OL properties at wavelengths between 0.4 and 1.5 μm . So far, primarily sulfur has been used as the heteroatom and platinum as the metal in the left and right structure above, respectively. This will be extended to the heavier elements selenium and tellurium which are of interest as building blocks for somewhat larger molecules containing the phenylacetylene unit. Platinum(II) compounds connected to selenophene- and tellurophene-rings are also of great interest (see below).

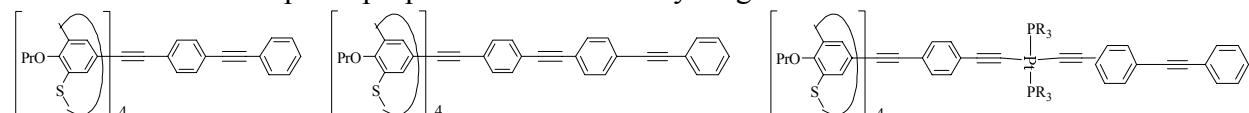


Another class of compounds which could be of interest is porphyrins. Dendron coated porphyrins might give materials suitable for protection against μ s laser pulses.

The major part of this work will be conducted in the group of Bertil Eliasson at UmU, who has experience in this kind of materials.

Thiacalixarenes

The thiocalixarenes can form excellent precursors for class II hybrid materials. Several phenylazothiocalixarenes and alkynyl-thiocalixarenes have previously been prepared and preliminary investigations reveal promising OPL-properties. New alkynyl-thiocalixarenes need to be prepared (structures below) in order to increase the electron delocalisation and to understand how the optical properties are affected by length of the delocalised chain.



This part of the work will be conducted by Stephane Parola, UCB (France) who has a long experience in working with thiocalixarenes and class II hybrid materials.

Structure characterization

The purity of compounds is important for both OPL measurements and studies of their photophysical properties. This characterization will be provided by standard methods (NMR, IR, single crystal X-ray analysis, MALDI-TOF and other MS techniques), photoelectron spectroscopy (PES), and microscopy/imaging techniques (STM, AFM, TEM). In order to fully understand the nonlinear behaviour other spectroscopic methods are needed (see below).

Spectroscopic characterization

To understand the photo-physical properties giving the desired optical power limiting function it is necessary to carry out detailed spectroscopic measurements. The influences of different solvents give hints on how energy transfer processes are related to the relaxation of the excited states. The life-times and extinction coefficients of the excited states can be altered and controlled by introducing various molecular coatings such as the dendritic structures described in the previous sections. Knowledge of extinction coefficients and radiative life-times makes it possible to deduce overall OPL performances. These detailed measurements are needed to give feed-back to the theoretical modeling for optimizing the OPL function (more below). It is particularly important to see and understand how the photo-physical properties are retained in producing gels and bulk film materials.

The four basic spectroscopic measurements most relevant for developing OPL materials are:

- A. Optical absorption.
- B. Nonlinear optical absorption (OPL).
- C. Measurements of radiative decay times of the excited states.
- D. Measurements of absorption coefficient for pertinent OPL active excited states.

A Varian Cary spectrometer for optical absorption and a tunable ns OPO laser source for nonlinear optical absorption (OPL) are available at FOI and have been used extensively in related research projects over the past 5 years. A new lab is currently under development at Department of Physics, NTNU (Prof M. Lindgren) where focus will be on studies of nonlinear optical processes in nanostructured photonic materials and biophotonic molecular systems. The following equipment is currently in the process of being purchased and will be installed at NTNU by spring 2004. The major part of the support to NTNU will be used to

complement the measurement systems for studies relevant for the molecular OPL functions to be developed in this project.

Detector system for time correlated single photon counting allowing measurement of fluorescence decay times between ca 20 ps and 1000 ns is provided by NTNU. For this particular OPL application project the equipment will be extended with the possibility to study phosphorescence in the time response region ca 1 μ s - 10 s from ultraviolet (300 nm) to infrared 1.8 μ m.

A Ti:Sapphire laser for studies of multiphoton excitation processes and life-time measurements (sub ns) are provided by NTNU. For this particular OPL application project the equipment will be complemented with the possibility to study excited state absorption in the visible and NIR wavelengths.

An experienced researcher (ML at 25%) and a graduate student to be hired 2004, at 40%) will set-up suitable measurement systems and carry out the measurements. The cost for this time will be covered by NTNU, Institute of Physics (a "start-up grant" for ML).

In addition there are two confocal fluorescence microscopes (one with Ti:Sapphire excitation possibility) and continuous wave fluorescence spectrometers operating in the wavelength region of 250 nm - 1.8 μ m available to the project.

Theoretical Modeling

With aim at a passive protection against laser damage, we intend to conduct research in multi-photon active materials with a two-fold objective. One objective is to investigate the structure-to-property relations to identify those features of molecular structures that lead to enhanced multi-photon absorption, light control and optical limiting. Two convergent approaches will be used here. First is the experimental study, where we investigate the multi-photon properties of a group of systematically derivatized structures and which can be used to calibrate the theoretical modeling; second is the molecular design guided by the theoretical studies of the structure-property relationship by using quantum chemical models of multi-photon absorption (e.g. few-state models, response theory). Particularly, life-times and dynamics of excited states will be considered. The second objective is to produce materials with strong two- or three-photon absorption and other relevant characteristics at certain wavelength ranges and to explore the possibility to further develop the materials for practical applications. This second objective includes theoretical simulations also of the role of macroscopic parameters, like laser pulse characteristics, pulse propagation, presence of solutions and dendritic encapsulation etc. We have already predicted a number of porphyrin, cumulene, and platinum based compounds with strong two-photon absorption in the visible wavelength region. With the present proposal we intend to significantly widen the scope to also include NIR wavelengths, and consider a range of organic, organometallic, inorganic, and multi-composite materials of varying size and type.

The group of Prof. Hans Ågren at KTH and Dr Patrick Norman will conduct this part of the work.

Work and timeplan

Year 1:

- Synthesis of compounds having different functional groups suited for dendrimer synthesis, and some target platinum(II) materials with dendrimer coating groups. (UmU)
- Synthesis of the dendron-decorated entities (synthesis, KTH)
- Synthesis of nanohybrid molecular precursors for solid-state materials. (UCB)
- Spectroscopic investigations (NTNU)
- Account for laser and sample characteristics in time-resolved pulse dynamics to predict macroscopic properties in the actual device application. Investigation of structure-to-property relations (modeling, KTH, LiU)
- OPL-characterization of synthesized materials (FOI)

Year 2:

- Synthesis of donor and acceptor decorated compounds. Synthesis of platinum(II) compounds for gel incorporation. (KTH, UmU)
- Synthesis of class II nanohybrid materials (UCB)
- Spectroscopic investigations (NTNU)
- The application of sample characteristics to optical power limiting. Material characterization also with respect to long-term stability (oxidation and other types of chemical degradation will be taken into account). Investigation of structure-to-property relations (modeling, KTH, LiU)
- OPL-characterization of synthesized compounds (FOI)

Bilaga 2 - Detaljerad beskrivning av Tilläggsoffert

Option: Enhanced OPL action through molecular self-orientation

As a mean to produce more efficient materials we intend to align the molecules in the matrix materials. Dye molecules for OPL action are usually very anisotropic. This means that the nonlinear action take different responses depending on the orientation of the optical polarization (electromagnetic field direction) in relation to the molecular orientation within the material. The "alignment" effect can drastically increase the efficiency of the material. This is a way to improve the performance of the final solid state material. In a solution we have a chaotic situation where only a fraction of the molecules have a correct orientation for absorbing the radiation. If the active unit is correctly aligned less will be needed to obtain a desired clamping (optical limiting) as compared to non-aligned molecules.

As an option to the suggested research described above we suggest the study of various molecular alignment techniques. If alignment is proven to drastically enhance the OPL action we suggest a further development of the most suitable alignment techniques in phase 2.

Alignment techniques :

1. Mechanical stretching of polymer gel systems
2. Electrophores (A charge gradient is used, just as in the very conventional separation techniques used in biotechnology.)
3. The molecular systems are introduced in polymer liquid crystal phases that are "pre-aligned" with the conventional techniques used for LC display technology.
4. Self-assembly from surfaces (e.g. thiophen-metal substrates, etc)
5. Other alignment techniques

Option budget phase 1 /yr :

	kSEK
Modelling/prediction of alignment effect (modelling, KTH, LiU)	100
Experimental study of most suitable/promising alignment technique (KTH/UCB)	300
Characterization and evaluation of optical anisotropy and OPL (FOI, NTNU)	100

APPENDIX 4 Preliminary activity plan for the first phase of the programme.

Uppföljningskvartal	Deadline/tidspunkt	Format
1	2003-12-06	Enkel skriftlig enligt mall
2 halvårskonferens	v 11 (8-12 mars 2004)	30 min presentation inför PL* + skriftlig enligt mall
3	v 22 (24-28 maj 2004)	30 min presentation inför PL* + skriftlig enligt mall
4 Kontrollstation/årskonferens (2 dagar)	v 37 (6-10 sept 2004)	Kontrollstation. Större (2 dagar) konferens, inför PL* och referensgruppen, + skriftlig enligt mall
5	v 48 (22-26 nov 2004)	Presentation inför PL* + skriftlig enligt mall
6 halvårskonferens	v 11 14-18 mars 2005)	Presentation för PL* + skriftlig enligt mall
7 (beredning inför fas 2)	v 22 (30 maj-3 juni 2005)	Presentation för PL* + skriftlig enligt mall
8 Slutkonferens fas 1. (2 dagar)	v 36 (5-9 sept 2005)	Presentation inför PL* + referensgrupp, + skriftlig enligt mall

* PL = programledning

