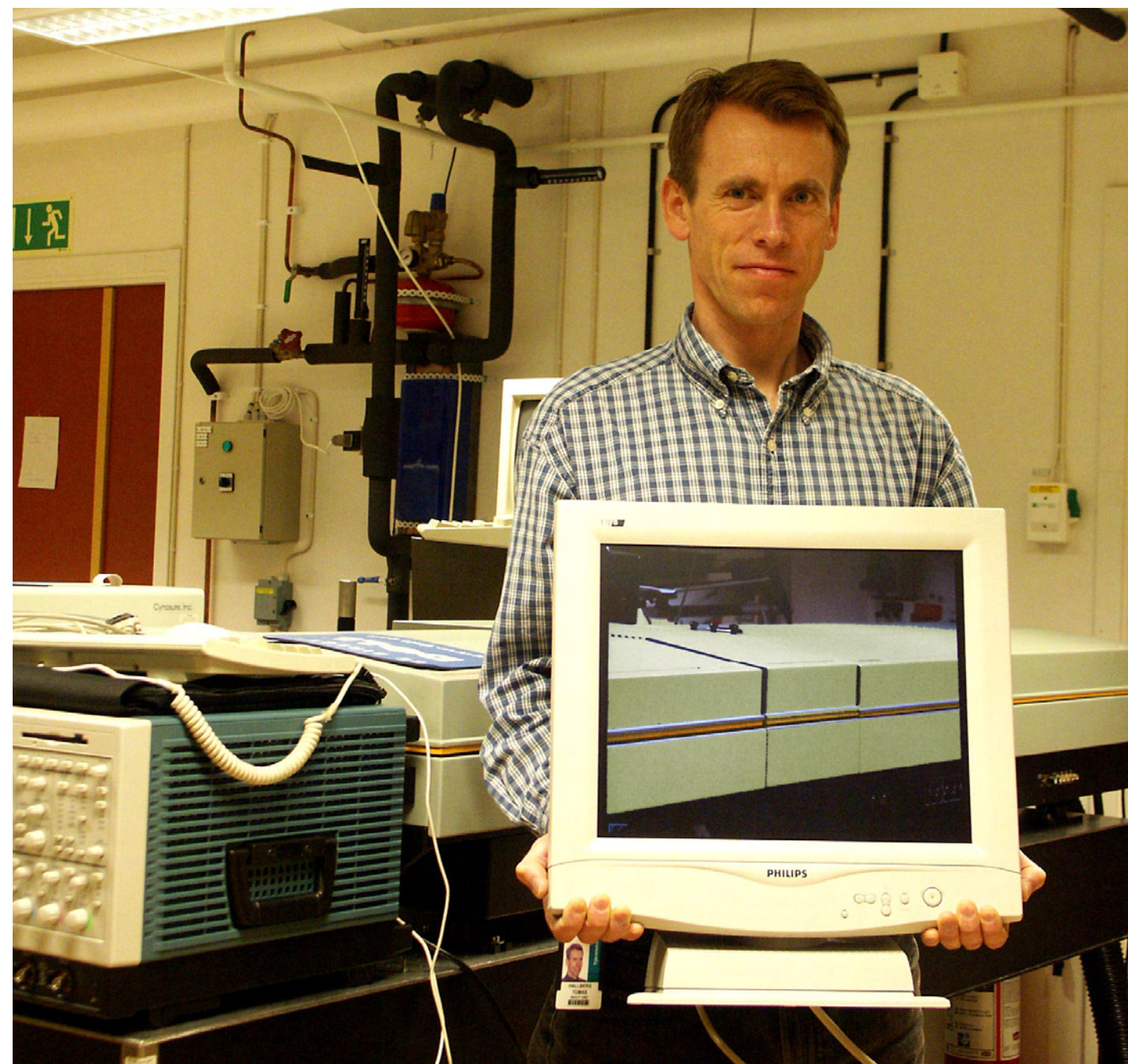


ANNA POHL OCH HANS KARIIS



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Anna Pohl och Hans Kariis

Styrbara och multispektrala signaturmaterial

forskning 2004-2007

Titel	Styrbara och multispektrala signaturmaterial
Title	Adaptable and multispectral signature management materials
Rapportnr/Report no	FOI-R--2370--SE
Rapporttyp Report Type	Användarrapport User report
Utgivningsår/Year	2007
Antal sidor/Pages	32 p
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	FörsvarmaktenFörsvarmakten
Forskningsområde Programme area	4. Sensorer och signaturanpassning 4. Sensors and Low Observables
Delområde Subcategory	45 Signaturanpassning 45 Low Observables
Projektnr/Project no	E3068
Godkänd av/Approved by	Lena Klasén

Totalförsvarets Forskningsinstitut FOI
Avdelningen för Sensorsystem
Box 1165
581 11 Linköping

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	6
1 Inledning	7
2 Material för emissivitetskontroll	9
2.1 Samarbetesprojekt med PvTT (Finnish Defence Forces Technical Research Centre).	9
2.2 Solgel-framställning av VO ₂ -filmer och effekten av dopning med W och Re	10
2.3 En ny typ av lågemissiv kamuflagefärg	11
3 Signaturanpassning mha strukturmodifiering	13
3.1 Fotonkristaller för signaturreduktion i termiska IR	13
3.2 Radarabsorberande strukturer	15
3.2.1 Styrbarhet	15
4 Radarabsorberande material för höga temperaturer	17
4.1 Materialmätningar vid höga temperaturer	17
4.1.1 Mikrovågsmätningar för berylliumoxid (BeO)	17
4.1.2 IR-egenskaper hos berylliumoxid vid höga temperaturer	18
5 Radarabsorbenter och radarsignaturer	19
5.1 Bistatisk spridning	20
6 Multispektrala skyddsmaterial	21
6.1 Ledande polymerer	21
6.2 Berylliumoxid (BeO) för tillämpningar inom det optiska- och mikrovågsområdet.	21
6.3 Nanopartiklar för radarabsorption, ferriter:	22
7 Forskningsproduktion	24
7.1 FOI-rapporter	24
7.2 Vetenskapliga artiklar	24
7.3 Konferensbidrag	25
7.4 Avhandlingar	28
7.5 Patent	28
7.6 Medverkan vid initiering av övrig verksamhet	28
7.7 Kursmedverkan	29
7.8 Kunskapsförmedling till kund	29
7.9 Hårdvara	29
7.10 Samverkan med civila enheter	30
7.11 Internationell samverkan	30

8	Slutsatser _____	31
9	Referenser _____	32

Sammanfattning

Den nya hotbilden ställer stora krav på flexibla skydd för internationella operationer i varierande miljöer. Rapporten sammanfattar den verksamhet som bedrivits inom projektet ”Styrbara signaturmaterial” inom tidsperioden 2004-2007. Ett begrepp som återkommer är multispektralitet dvs. man eftersträvar signaturanpassning över flera olika våglängdsintervall samtidigt (exempelvis radar, IR och visuellt våglängdsområde).

Exempel på detta är lågemissiv färg som minskar signaturen av infraröd strålning (IR) och samtidigt ger önskad färg i det visuella området (synligt ljus). Flera material och materialkombinationer har undersökts.

En annan teknik är strukturmodifiering där man använder sig av fotonkristaller eller en så kallad Salisbury screen. Denna teknik är skalbar och kan användas i alla våglängdsområden där hot kan finnas.

Det är viktigt att förbättring av signaturen i ett våglängdsområde inte försämrar den i ett annat. Detta åstadkommes genom att experter på olika hotområden samverkar i ett och samma projekt. Som multispektrala skydd studeras tex. keramiska material för det optiska området och IR-området. Ferriter möjliggör tunnare och lättare radarabsorbenter som inte påverkar IR-signaturen.

I en del av tillämpningarna råder höga temperaturer som t ex. flygmotorer. Därför studeras keramiska materials egenskaper i IR- och radarområdet för höga temperaturer.

Arbetet inom projektet leder till utveckling av nya material samt utgör en del av bevakningen av den forskningsverksamhet som finns i andra delar av världen.

Nyckelord: signatur, radar, IR, styrbar, multispektral, VO₂, BeO, PEDOT

Summary

The modern world puts higher requirements on flexibility for defence material since international operations are conducted in varying environments. The report summarizes the activity that has been done in the project “Adaptable Camouflage Materials” within the time frame of 2004-2007. One reoccurring concept is multi spectrality i.e. one is aiming at low signature in several wavelength intervals simultaneously (for example radar, IR and optical wave lengths).

One example is low emissive paint which minimizes the signature in the infrared region and simultaneously gives the right colour in the visible range (visible light). Several materials and material combinations has been studied

Another technique is structure modification using photonic crystals or a so called Salisbury screen. This technique can be used in all wave length areas where a threat can exist.

It is important that improvement of the signature in one wave length region does not deteriorate it in another. This is achieved by collaboration between experts of different types of threat within the same project. Ceramic materials are studied as a candidate for protection in the optical region and IR region simultaneously. Ferrites render thinner and lighter protection possible that does not influence the IR signature.

Some of the materials are used in high temperatures in for example aeroplane engines and therefore their properties in the IR and radar region are studied for high temperatures.

The work leads to development of more advanced materials and the coverage of research development in other parts of the world.

Keywords: signature, radar, IR, adaptability, multi spectral, VO₂, BeO, PEDOT

1 Inledning

Det moderna försvaret ställer helt andra krav på utrustning än äldre tiders invasionsförsvar. Man brukar tala om asymmetriska konflikter, d.v.s. hotet kommer oftast inte från en specifik stat utan från olika terrorgrupper. Då Sverige har beslutat att ställa upp med en insatsstyrka som med kort varsel i princip ska kunna placeras på en godtycklig plats i världen, ställs det helt andra krav på materiel vad det gäller anpassningsbarhet. Det ökade kravet på anpassning gör att mer flexibel utrustning är ett önskemål. Då hotbilden på förhand är okänd behövs skydd mot flera tänkbara sensorhot, som ögon, bildförstärkare, termiska IR-kameror och stridsfältsskannare.

Fram till och med 2003 drevs forskningen inom signaturmaterial i separata projekt för radarsignaturanpassning och signaturanpassning i det optiska området. För ett användbart material ställs emellertid sammanlänkade krav i flera våglängdsområden. Modellering av signaturmaterial studerades i ett tredje projekt, frikopplat från de experimentella projekten. För att bättre tillgodose de multispektrala kraven, startade 2004 projektet "Styrbara signaturmaterial" för att studera material ut ett multispektralt perspektiv. Även modelleringsverksamheten integrerades senare i detta projekt. Denna rapport sammanfattar verksamheten under de fyra åren 2004-2007. Betoningen ligger på flexibilitet och multispektralitet så att de signaturmaterial som utvecklas ska kunna fungera i en mängd olika miljöer och i flera frekvensområden samtidigt.

Med signaturmaterial menas ett material som smälter bra in i miljön d.v.s. ett material som är svårt att uppfatta för fienden. Det enklaste exemplet är den gröna kamouflagefärgen som passar bra in i den svenska gröna naturen dvs den har en låg signatur i det optiska området av det elektromagnetiska spektrat. Det nya försvaret ställer krav på styrbarhet och multispektralitet:

Med styrbarhet menar vi att signaturen skall kunna ändras med hänsyn till:

- Bakgrunden
- Uppdragets art
- Vädret
- Sensorhotet

Med multispektralitet menar vi att signaturanpassningen samtidigt skall kunna fungera i:

- Synligt ljus
- Nära IR (bildförstärkare)
- Termisk IR
- Radar (mikrovågsområdet)

Hur de framsteg som gjorts inom både civil och militär materialforskning på senare år kan nyttjas för att tillgodose dessa önskemål har studerats inom projekten. De viktigaste resultaten sammanfattas i denna rapport, som också innehåller en förteckning över resultat och publikationer från FOI inom området styrbara och multispektrala signaturmaterial.

Forskning inom signaturmaterial fyller två viktiga funktioner. Den första och mest självklara är att forskningen genererar nya typer av material som på sikt industrialiseras och underlättar arbetet för våra förband. Den andra anledningen är inte lika självklar men icke desto mindre viktig. Detta är att Sverige upprätthåller en kompetens inom området som sköter bevakningen om vad som sker inom forskningen i andra delar av världen. Den

kompetensen, t.ex. genom litteraturbevakning, upprätthålls bäst av de personer som samtidigt har ett aktivt forskningsintresse inom området. Den kompetensen behövs både för värdering av våra egna nutida och framtida sensorer och vid nyutveckling och/eller inköp av nya skyddssystem.

Omslagsbilden visar principen för styrbar signaturanpassning i det synliga området. Bakgrunden projiceras på personens framsida. I framtiden hoppas man kunna integrera en polymerbaserad display i kläderna.

2 Material för emissivitetskontroll

Alla varma objekt sänder ut strålning, där våglängd och intensitet beror på ytans temperatur [1]. Glödlampen i en glödlampa har t ex en temperatur på ca 2000 °C och sänder ut synligt ljus. Ett svalare objekt, som t.ex. en människa, sänder ut strålning med våglängd runt 10 µm, s.k. infraröd strålning (IR). Intensiteten hos strålningen beror på temperaturen och på ytans emissivitet, ε . ε är ett mått på ytans förmåga att emittera strålning. En kropp med $\varepsilon=100\%$ kallas en svart kropp, den absorberar all strålning som faller in mot den och reflekterar ingenting. Motsatsen till en svart kropp är en perfekt spegel, som har $\varepsilon=0\%$. De flesta material ligger någonstans däremellan. Material som återfinns i naturen, t ex vegetation, trä, hud och målarfärg har ofta $\varepsilon=90-95\%$, dvs. de är ganska svartkroppslika. För signaturanpassning i IR-området av varma objekt försöker man sänka ytans emissivitet. Då ytan betraktas i en värmekamera kommer den att se kallare ut än den verkligen är. Med väl avvägd signaturanpassning kan då objektet se ut som den vanligen kallare bakgrunden.

2.1 Samarbetesprojekt med PvTT (Finnish Defence Forces Technical Research Centre).

Som grundregel har alla metaller hög IR-reflektion, så metallflagor eller pulver av t.ex. aluminium, koppar, silver och guld är därför lämpliga som IR-pigment. En blank och jämn metallyta reflekterar ca 98% av ljuset medan en skrovlig yta minskar reflektansen. Det senare gäller även för metallpulver, där reflektansen även påverkas av partikelstorleken. Nackdelen med metaller är att dessa även har en stark visuell reflektion vilket inte är särskilt bra t ex med tanke på solreflexer.

En annan metod är att utnyttja s.k. tunnfilmsinterferens genom att tillverka flagor av kvartsvågslängdstunna skikt, hos vilka synligt ljus absorberas och IR-strålning reflekteras [3]. En liknande metod används för framställning av antireflexbehandling av optiska linser i glasögon. I vårt fall har vi tillverkat flagor med växelvisa skikt av guld och titan.

Ytterligare en metod går ut på att använda pulver av kisel, där hög IR-reflektion fås genom bakåtspridning av ljuset på liknande sätt som socker eller salt ser vitt ut, trots att de enskilda kornen är genomskinliga. För kisel uppträder denna effekt inom IR-området, däremot absorberas synligt ljus på grund av dess bandgap i detta område vilket effektivt tar bort alla reflexer inom det synliga området.

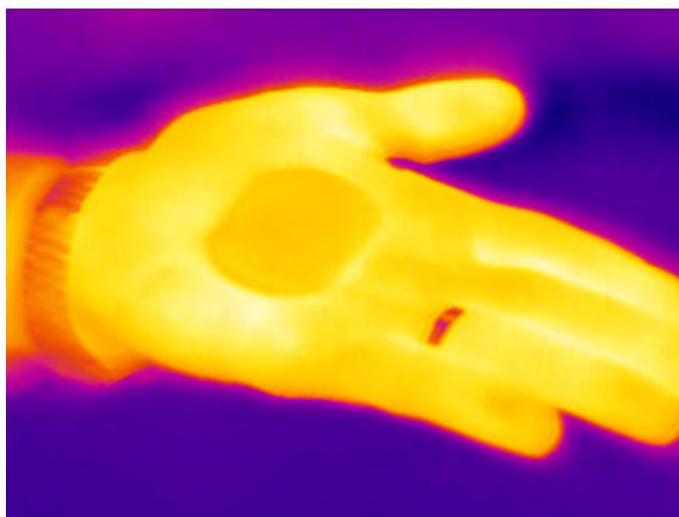
Vi har även tagit fram ett lättviktspigment som kan vara användbart för t.ex. flygplan. Denna är baserad på s.k. cenosfärer, bestående av ihåliga keramiska partiklar. Dessa har täckts med olika metaller genom diverse ytbeläggningsmetoder. Ett färgskikt med metallbelagda cenosfärer blir starkt spridande vilket minskar ytans glansighet.

2.2 Solgel-framställning av VO₂-filmer och effekten av dopning med W och Re

Ett material med hög emissivitet vid låg temperatur och låg emissivitet vid hög temperatur skulle ge låg kontrast mot bakgrunden vid alla temperaturer, utan att någon yttre styrning av ytan vore nödvändig. Inom projektet har vi studerat material för att åstadkomma en sådan yta.

En kategori material som är intressant för dynamisk anpassning av ytors optiska egenskaper är termokroma material, dvs. sådana vars färg eller reflektans är temperaturberoende. Ett exempel på sådant material är Vanadindioxid (VO₂), som genomgår en fasomvandling från halvledande till metalliskt vid en temperatur omkring 68°C (fasövergångstemperaturen, T_f)[4]. Dock sker ingen större färgförändring av VO₂ inom det synliga området, men inom IR-området förändras det från hög till låg transmission eller från låg till hög reflektion, då temperaturen passerar T_f . Denna fasomvandling innebär inte bara optiska förändringar utan även elektriska (förändrad ledningsförmåga) och magnetiska förändringar.

Det är sedan tidigare känt att man kan reducera (eller öka) T_f genom att dopa VO₂. Enligt litteraturen är det mest vanligt att dopa med volframjoner (W), där en typisk applikation är inom beläggningar av fönsterglas (sk. smart windows) för energibesparing. Enligt litteraturen är det också känt att ju högre oxidationstalet är hos katjonerna desto större blir reduktionen av omslagspunkten. Därför var det även motiverat att pröva dopning med (rhenium) Re för vilken oxidationstalet som mest är +7 medan det för W är +6. Dessutom är W och Re grannar i det periodiska systemet, vilket tyder på att de bör ge liknande effekt vid dopning.



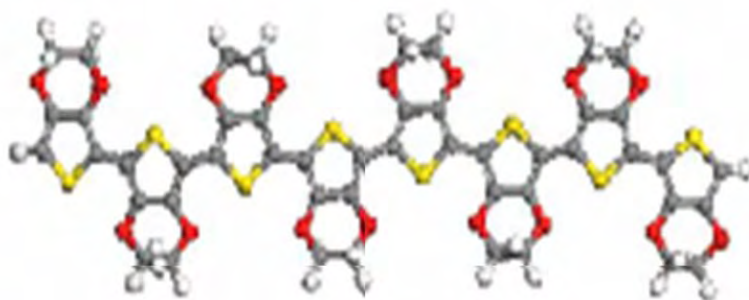
Figur 1. Ett stycke vandiumdioxid med lägre temperatur ger en kontrast mot handen.

Odopade VO₂-filmer uppvisade som väntat en fasövergångstemperatur runt 68°C, där filmtransmittansen under T_f var ca 80-90 % och över T_f ca 5 %, mätt vid våglängden 4

μm . Genom W-dopning kunde T_f sänkas som mest ned till 22°C , genom att tillsätta 4 atom% W. En nackdel som dock uppkommer vid dopningen är att omslagsdynamiken minskar, dvs. skillnaden i transmittans eller reflektans mellan metallisk och halvledande fas. För den mest dopade filmen nästan halverades transmittansen jämfört med odopat VO_2 under T_f , medan dopning ökade transmissionen till drygt 30 % över T_f . Omslagsdynamikens försämring var inte lika allvarlig för lägre dopningskoncentrationer om ca 1 atom%. Dopning med Re misslyckades då det inte gav någon förändring av T_f . Det kan finnas flera förklaringar till detta, varav en är att Re inte kunde tillföras till VO_2 -filmen pga. att stabila föreningar av Re bildades, som transporterades bort från filmen av gasflödet under värmebehandlingen.

2.3 En ny typ av låg emissiv kamouflagefärg

I detta kapitel beskrivs även en relaterad aktivitet som finansieras av FOI:s innovationsråd. En låg emissiv färg med nytt bindemedel som ger lägre emissivitet har studerats [1]. Denna färg ökar reflektionen av framför allt IR-strålning vilket gör att den kan användas för att maskera objekt och människor från att upptäckas av IR-detektorer. Innan någon industri är redo att ta över utvecklingen av en produkt måste vissa egenskaper verifieras och förbättras [6,7]. Färgen består av pigment som är den aktiva substansen som reflekterar IR-strålningen, bindemedel och tilläggsmiddel. Pigmentet utgörs ofta av en metall tex aluminium. Tidigare studier som gjorts av FOI och PvTT har visat att man behöver hitta ett bättre bindemedel då detta har visat sig ha negativ inverkan pigmenten. Det nya bindemedlet består av poly(3,4-etylenedioxytiofen) (PEDOT), poly(styren sulfonat) (PPS) och Acronal 706 (kommersiellt bindemedel från BASF). Den först provade sammansättningen hade dock problem med väderbeständigheten, ett problem som måste lösas innan industriella tillämpningar kan komma ifråga.



Figur. 2 PEDOT poly (3,4- etylendioxytiofen)

Färgen har visat sig ha problem med dålig vattenbeständighet och för att lösa detta problem görs försök med att tillsätta etylenglykol. Ett annat problem har varit dålig vidhäftningsförmåga och därför har även försök med att tillsätta 3-glycioxypropyl-trimethoxysilan gjorts.

Tillämpningarna inskränker sig inte enbart till militärt kamouflage utan kan även användas för civil tillämpning som t.ex.

- *Solfångare för att förlänga den effektiva nyttjandetiden vår och höst
- *flaskor för att förlänga kylningseffekten på picknick en solig dag
- *förpackningar för att förhindra ljus- och värmeinstrålning
- *sportkläder för att upprätthålla en behaglig temperatur oavsett klimat och väderlek
- *kaross och glas i fordon som ett komplement till lack för att kunna minska användningen av AC
- *containrar för transport av kylvaror
- *fjärrvärmerör för att minska värmeläckage

FOI har fått patent på denna färg (Sv pat ans nr 0502472-4, Publ nr 529327 (2007)).

3 Signaturanpassning mha strukturmodifiering

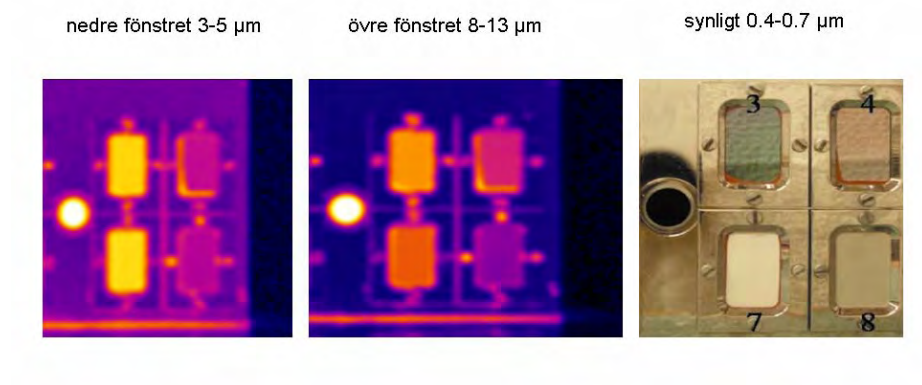
Ett sätt att påverka en elektromagnetisk våg är att modifiera strukturen i materialet. Periodlängden i strukturen skall då vara i samma storleksordning som den elektromagnetiska våglängd man önskar påverka. Detta är tanken med signaturanpassning mha fotonkristaller och en sk. Salisbury screen.

3.1 Fotonkristaller för signaturreduktion i termiska IR

En fotonkristall är en periodisk struktur i minst två medier, i det typiska fallet ett högbrytande dielektrikum och luft. Ett förbjudet frekvensintervall, i form av ett fotongap, kan uppträda i en fotonkristall. Det medför att strålning med frekvens inom detta område inte transmittas genom fotonkristallen utan reflekteras i ytan. En sådan yta emitterar därför ingen strålning i det aktuella frekvensintervallet. Detta utgör grunden för FOI:s arbete med fotonkristaller [1],[8], som avser praktiska möjligheter till signaturanpassning i det termiska IR-området med hjälp av fotonkristaller. Ett uppenbart val är de s.k. termiska fönstren: 3-5 μm (nedre fönstret) och 8-12 μm (övre fönstret).

Tidigare verksamhet vid FOA/FOI har inriktats på att undertrycka den termiska emissionen i det övre termiska fönstret dvs 8-13 μm . På 1990-talet bedömdes det primära spaningshotet från IR-sensorer finnas i detta våglängdsområde. Genom detta arbete identifierades ett antal kandidatmaterial såsom berylliumoxid, kiselkarbid, kiseldioxid och bornitrid med vilkas hjälp den emissionen i det övre termiska fönstret till större eller mindre del kan undertryckas. Den breda översikt som gjordes då gav också det negativa resultatet att det med all sannolikhet inte finns något enstaka material som undertrycker emissionen i det nedre fönstret 3-5 μm . Denna svaghet accentueras av den snabba parallella utvecklingen av hotsensorer i detta kortvågiga fönster.

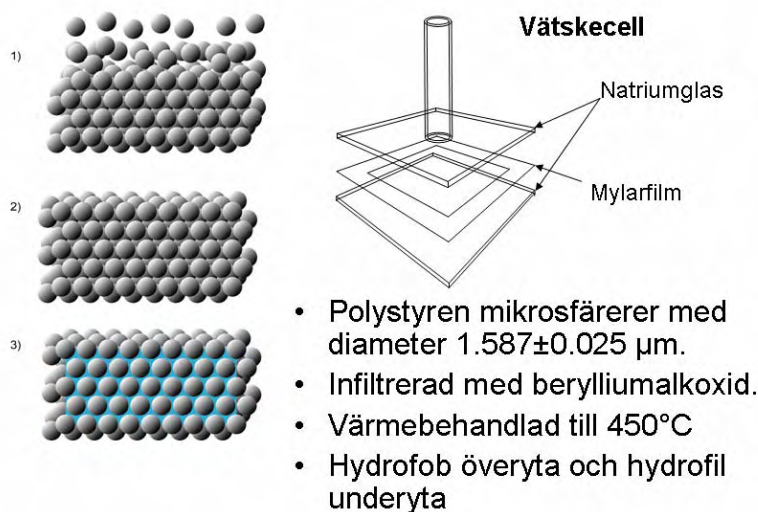
Våren 2004 presenteras ett arbete (Herman Högström, licentiatexamen[9]) som behandlar fotonkristaller avsedda för signaturreduktion i båda termiska fönstren. De ingående materialen var kisel, Si och kiseldioxid, SiO_2 vilka båda kan deponeras från gasfas med en s.k. CVD-teknik. Metoden används inom halvledarteknik och har visat sig kunna kontrolleras med god noggrannhet även vid storskalig tillverkning.



Figur 3: Övre raden: SiO_2/Si och $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Si}$; nedre raden: berylliumoxid och aluminium. Den runda fläcken till vänster i bilden är en empirisk svartkropp som används som referens.

Färgskalan är sådan att en ljusare kulör motsvarar högre emittans. Proverna i den övre raden är från vänster SiO_2 på Si och multilager $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Si}$. I den nedre raden finner vi berylliumoxid och aluminium. Aluminium är som sagt lågemitterande i båda fönstren men visuellt oacceptabelt pga solreflexer. Berylliumoxid är bra endast i det övre fönstret (8-12 μm) under det att kombinationen $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Si}$ är lågemitterande i båda fallen.

Försök har även gjorts med s.k. invers opalin berylliumoxid [9]. Opaler är ädelstenar som är uppbyggda av mikrokulor ordnade i tre dimensioner. Inversen av en sådan struktur är sfärer av luft ordnade i en matris av solitt material. Resultaten visar på att man kan åstadkomma en signaturanpassning i hotvåglängderna i det termiska IR-området utan att ytan blir onödigt isolerande och därmed förvärrar problemet med att avleda värme. En annan fördel är att materialet är radartransparent, vilket betyder att den termiska signaturanpassningen kan appliceras ovanpå ett raderareducerande skikt. Dock är kvalitén på kristallen låg och den tillverkningsmetod som användes lämpar sig inte för storskalig produktion. Därmed behövs det en betydande arbetsinsats innan en fältmässig signaturanpassning baserad på denna teknik kan förverkligas.



Figur 4 Invers syntetisk opal med en vätskecell [5]

3.2 Radarabsorberande strukturer

De första försöken på mikrovågsabsorberande strukturer gjordes i Tyskland under 1930-talet med smalbandiga absorberande beläggningar på U-båtsperiskop. De första beläggningarna bestod av homogena förlustmaterial, där tjockleken bestämde vid vilken frekvens absorbenten hade optimala absorptionsegenskaper.

På 1950-talet fick W.W. Salisbury patent på en smalbandig radarabsorberande struktur som kallas för Salisbury-screen. Denna struktur består av ett tunt förlustskikt på utsidan av ett bärmaterial med låg relativ dielektrisk permittivitet. Radarabsorbenter baserade på tunna förlustskikt har den fördelen att de har en mycket enkel uppbyggnad, men om de ska ha bredbandiga egenskaper utnyttjas deras tjocklek oftast. I början av 1990-talet presenterades resultat från University of Sheffield i England, där förlustskikt baserat på ledande polymerer ingick. Experimentella resultat presenterades där det visades att skiktens mikrovågsegenskaper kunde påverkas av en yttre signal.

3.2.1 Styrbarhet

Anledningen till att en ledande polymer har valts som förlustskikt är att det tidigare rapporterats om försök med styrbara mikrovågsabsorberande strukturer baserade på en ledande polymer, polypyrol (PPy). PPy har den negativa egenskapen att den lätt tappar ledningsförmågan via oxidering då den exponeras för luft. Projektet har därför fokuserat på en annan ledande polymer PEDOT:PPS (polyetylendioxytiofen:polystyrensulfonat)[10].

En sk NRL-båge (Navy Research Lab) används för att göra reflektionsmätningar, för att mäta relativ permittivitet hos substrat och distansmaterial samt för att mäta ytresistansen.

Eftersom polymeren behöver någon form av material att appliceras på valdes PMMA och glas som lämpliga substrat.

Studien visar att det finns en stor potential att utveckla radarabsorberande strukturer med styrbara eller designbara egenskaper. Dock råder det en stor internationell sekretess inom området. Den ledande polymeren PEDOT:PPS, som huvudsakligen studerades har visat intressanta egenskaper. PEDOT:PPS kan användas som förlustskick i radarabsorberande strukturer. Materialet kan dock inte karaktäriseras som rent resistivt utan har även en reaktiv komponent som påverkar faseegenskaperna. För att påverka de elektromagnetiska egenskaperna hos ett homogent PEDOT:PPS-skikt krävs troligen någon typ av elektrolyt. För att vidareutveckla kunskapen inom området föreslås arbete inom följande områden:

- Karaktärisering av elektrolytskikt inom mikrovågsområdet
- Studier av hur ytresistansen hos PEDOT:PPS kan kontrolleras genom dopning
- Karaktärisering av förlustskick bestående av elektrolyt/PEDOT:PPS
- Inventering/Utveckling av programvara för kretsanalog förlustskikt
- Karaktärisering av VIS/IR material inom mikrovågsområdet (tex vätskekristall)
- Utveckling av PIN-diod baserat på fasskiftande förlustskikt
- Studier av möjligheter att styra/designa dielektriska material med önskad frekvensberoende permittivitet
- Studier av styrbara material för radomtillämpningar

4 Radarabsorberande material för höga temperaturer

Matrismaterial behöver ha hög hållfasthet och tåla höga temperaturer[1],[2], men behöver inte vara radarabsorberande i sig. Bland alla material som används som matrismaterial idag är det bara keramer som både klarar höga temperaturer och har hög hållfasthet.

Ur radarabsorptionsynpunkt är det fördelaktigt om matrisen har låg dielektricitetskonstant för att undvika reflektion vid ytan. De flesta keramer har en ganska hög dielektricitetskonstant vilken också är temperaturberoende. Mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) används ofta som matrismaterial vid höga temperaturer och har en dielektricitetskonstant på 6.6 vid rumstemperatur och 7.5 vid 1000°C . Ett sätt att minska materialets dielektricitetskonstant är att införa porer. Porösa keramer kan framställas på flera olika sätt t.ex. genom att använda plastkolor, genom jäsning eller infiltration av porösa förförmar (t.ex. natursvamp).

För att kompositen ska bli radarabsorberande tillsätter man partiklar eller fibrer med konduktiva eller magnetiska förluster. Eftersom materialet måste tåla höga temperaturer är det ferriter och halvledande keramer som är mest intressanta. Ferriter är keramer, metalloxider, med magnetiska förluster. Absorptionsegenskaperna hos ferriterna kan varieras inom stora frekvensområden och man kan därmed åstadkomma bredbandiga absorbenter.

Ferritmaterial är möjliga att använda vid höga temperaturer så länge som man håller sig under Curie-temperaturen. Över denna temperatur försämras absorptionsegenskaperna avsevärt även om de mekaniska egenskaperna bibehålls till betydligt högre temperatur. Tyvärr ligger Curie-temperaturen vid ca 600°C för flertalet spineller och vid ca 500°C för hexagonala ferriter. Därför är användbarheten för ferriter som förlustmaterial begränsad i dagsläget.

I halvledande material är antalet ledande elektroner starkt beroende av temperaturen. Vid högre temperaturer får materialet en tillräcklig ledningsförmåga för att kunna absorbera mikrovågsstrålning. Dopingtillsatser medför stora förändringar i absorption, t.ex. kan absorptionen i SiC öka avsevärt om karbiden är dopad med t.ex. B, P eller N.

4.1 Materialmätningar vid höga temperaturer

Berylliumoxid är unik bland oxider eftersom den kombinerar utmärkta elektriskt isolerande egenskaper med hög värmeledningsförmåga. BeO köptes från det engelska företaget Goodfellow men det finns inte redovisat för vilken temperatur de egenskaper som tillverkaren anger för materialet är uppmätta. Dock kan man anta att det gäller för rumstemperatur så det är intressant att studera hur berylliumoxid uppträder vid höga temperaturer.

4.1.1 Mikrovågsmätningar för berylliumoxid (BeO)

För att undersöka berylliumoxids mikrovågsegenskaper vid höga temperaturer genomfördes en rad vågledarmätningar vid rumstemperatur och högre temperaturer:

100°C, 150°C och 200°C. Utrustningen ger möjlighet att mäta materialegenskaper i frekvensområdet mellan 3,95 och 18 GHz vilket täcks med hjälp av 4 stycken vågledare.

HiTEMP™ universal plattform system för vågledare har inskaffats från Damaskos Inc. (USA). Plattformen ger möjlighet att genomföra transmissions- och reflektionsmätningar i vågledare för fasta material vid temperaturer upp till 200°C.

När ett dielektriskt material, som till exempel berylliumoxid (BeO), befinner sig i ett elektriskt fält blir materialet polariserat. Polariseringen leder till energiförluster som direkt påverkar dielektricitetskonstanten dvs permittiviteten. Speciellt två typer av polarisation, gränsytelpolarisation och orienteringspolarisation är starkt temperaturberoende.

4.1.2 IR-egenskaper hos berylliumoxid vid höga temperaturer

Mätningarna i IR-området inom våglängdsintervallet 2-20 μm , gjordes med en Bruker IFS55 Fouriertransform infrarö- (FTIR) spektrometer utrustad med en högtemperaturmätcell från Specac Ltd. Reflektansen mättes med en plan guldtyta som referens och mätresultaten visar en relativt kraftig minskning av reflektansen (nästan 50%) mellan mätningar i rumstemperatur och 700 °C. Resultatet av mätningarna leder till ett visst ifrågasättande av BeO som lågemissivt material för högtemperatur-tillämpningar.

5 Radarabsorbenter och radarsignaturer

Moderna militära objekt utformas för att försvåra upptäckt och identifiering, målföljning och bekämpning. Detta förutsätter kännedom om de krav som ställs av uppdragen som är planerade för objektet i fråga. De hot en speciell typ av uppdrag förväntas möta måste först definieras: typen av radar, frekvenser, polarisation, rumslig belägenhet och detektionsavstånd. Genom signaturanpassning är det vanligtvis ökad överlevnadsförmåga och taktisk effektivitet man önskar uppnå [1],[2].

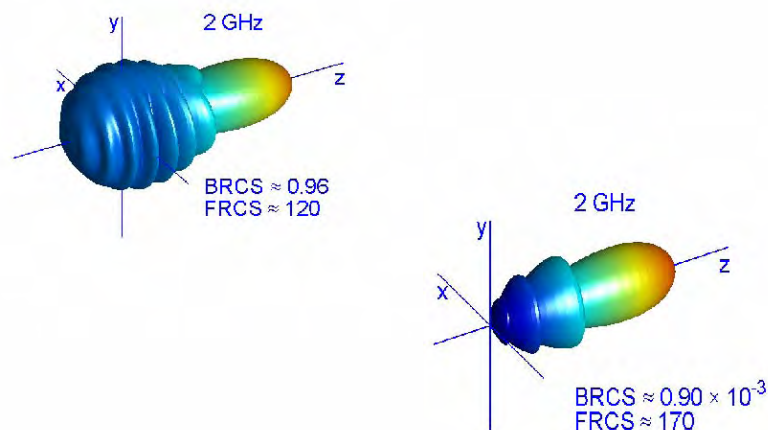
För luftfarkoster är den mest kritiska hotsektorn den framifrån inom specificerade intervall i azimut och elevation. Bakifrånsektorn och sidsektorn med på ett liknande sätt specificerade vinkelintervall är också viktiga, men kanske i mindre grad. Ett exempel är ”Pegasus”, en UCAV av Northrop Grumman, som kännetecknas av sin utpräglade drakform med kraftigt bakåtsvepta vingframkanter och markant framåtsvepta bakkanter. I avsaknad av absorbentmaterial skulle en vingkant kunna generera exceptionellt stora monostatiska radarekon i en smal azimutsektor. För en belysande radar skulle emellertid sådana ekon uppträda mycket kortvarigt på grund av planets relativa rörelse. Pegasus form genererar helt obetydliga monostatiska radarmålytor i hotsektorerna, sådana kan beräknas med hjälp av fysikalisk eller geometrisk optik.

En viktig uppgift för radarabsorberande material (RAM) på luftfarkoster är att reducera bidrag till målytor från t.ex. kantdiffraktion och ytvågsdiffraktion, vilka är svåra att förutsäga med hjälp av optiska beräkningsmetoder. Diffraktion från kaviteter behöver också optimeras för att minska målytan. En grundläggande uppgift för RAM vid allmänna tillämpningar är att reducera återspridning från belysta ytor. Den tekniska utvecklingen av radar mot såväl lägre frekvenser som bredare frekvensband måste mötas av motsvarande utveckling på absorbentsidan. Härtill kommer de multispektrala aspekterna av multisensorhot samt vikt- och miljökrav.

5.1 Bistatisk spridning

Möjligheten att detektera mål med hjälp av bistatisk eller multistatisk radar har undersökts genom teoretisk analys av spridningen i alla riktningar av infallande vågor mot ett geometriskt enkelt mål i tidigare FOI-projekt. Dessa modeller har nu utvecklats ytterligare[1]. Målet har varit en metallsfär eller metallcylinder, bar eller belagd med ett tunt skikt av en homogen radarabsorbent. Exakta lösningar av spridningsproblemet visar att en tillräckligt effektiv radarabsorbent i hög grad kan eliminera spridningen i hela återspridningshalvrymden. Däremot kan spridningen i en sektor omkring framåtspridningsriktningen inte alls undertryckas. Denna framåtspridningssektor är möjlig att utnyttja för detektion med hjälp av ett bi- eller multistatiskt radarsystem [14].

Spridningsegenskaperna hos ett perfekt ledande objekt och samma objekt klätt med en effektiv radarabsorbent illustreras i de båda tredimensionella diagrammen nedan. Dessa åskådliggör den bistatiska radarmålytan hos en perfekt ledande sfär (med diameter 50 cm) belyst av en plan våg från vänster i z-axelns riktning. Avståndet från koordinatsystemets origo till diagrammens yta är ett logaritmiskt mått på radartvärsnittets storlek. BRCS och FRCS betecknar radartvärsnitten i respektive bakåt- och framåtspridning.



Figur 5: Bistatisk radarmålyta hos en perfekt ledande sfär av diametern 50 cm, utan (vänster) eller försedd med en effektiv radarabsorbent (höger)

I optiska sammanhang är stark framåtspridning ett i hög grad välkänt fenomen. Alla som kört bil i riktning mot en lågtstående sol vet att detta kan vara en bländande upplevelse, även om tak eller solskydd avskärmar den direkta solstrålningen. Orsaken är framåtspridning från partiklar i luften eller på vindrutan.

6 Multispektrala skyddsmaterial

Med multispektrala skyddsmaterial avser vi material som är aktiva vid minst två olika områden samtidigt av det elektromagnetiska spektrat. Vid ISIS-konferensen i Bad Reichenhall 2006 [7] presenterades några olika aktiviteter: Ledande polymerer som tidigare använts för civila ändamål framför allt i displayer och som även kan användas radarabsorbenter; Keramiska material kan användas för att reducera både radar och IR-signaturer vid höga temperaturer tex. vid utsläpp av avgaser från förbränningsmotorer; Genom att tillsätta magnetiska nanopartiklar till radarabsorbenter så kan signaturen för materialet minskas.

6.1 Ledande polymerer

Ledande polymerer kan vara elektrokroma material som ändrar färg då en spänning appliceras. Material av ledande polymerer har använts flitigt de senaste åren framför allt i displayer. Färgförändringen förklaras med förändringar i elektronstrukturen pga. dopning. Dopningprocessen ger upphov till nya elektroniska tillstånd i bandgapet vilket betyder att den optiska absorptionen skiftas mot lägre energier vilket gör att man får en färgförändring. Dopningen påverkar också ledningsförmågan. Dopade polymerer är goda ledare pga. ett ökat antal rörliga joner. Som odopade är polymererna ofta isolatorer. För att ett halvledarmaterial ska bli ledande måste en elektron förflyttas från valensbandet till ledningsbandet. Skillnaden i energi för de två banden kallas bandgap.

Ett exempel på ledande polymerer är polypyrol som växlar gul-grön till blå-lila vid dopning. Ett annat exempel är PEDOT som fått mycket uppmärksamhet på senare år pga sin höga stabilitet över tiden, sin låga excitationpotential, höga kontrast och snabba omslag.

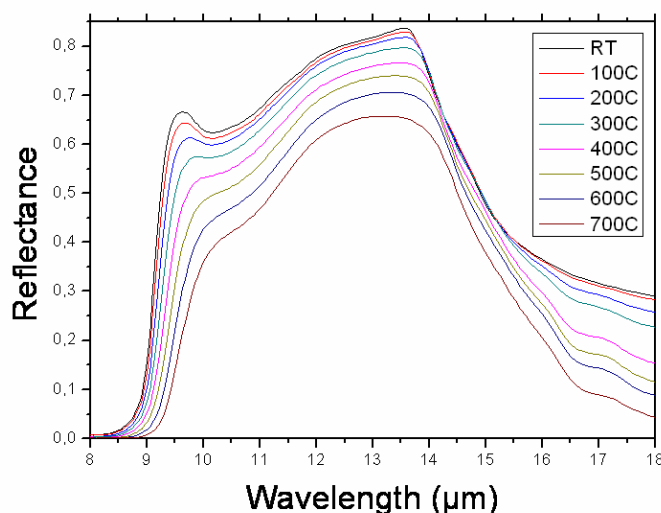
Det finns många material rapporterade som skiftar mellan genomskinligt och absorberande tillstånd i det synliga området. En del av dessa har även intressanta egenskaper i IR-området, men detta är mycket mer okänt pga. Den begränsade forskningen inom området.

Material med avstämbbar transmission i IR-området skulle kunna vara intressanta för en mängd olika tillämpningar[12-13]. Denna typ av material kan också användas som en optisk switch i IR-området så att man kan kontrollera våglängden i den inkommande strålningen. Det finns också en önskan att kunna reglera emissionen i den infraröda delen av spektrat för militär maskering. Detta görs genom IR-display med anpassningsbar emission för att kompensera för svartkroppsstrålningen och på så sätt smälta in i bakgrunden. Här är hela spektrat 3-20 μm av intresse.

6.2 Berylliumoxid (BeO) för tillämpningar inom det optiska- och mikrovågsområdet.

Material med låg emittans i de atmosfäriska transmissionsbanden vid 3-5 μm och 8-12 μm och hög emittans utanför dessa band är intressanta för termiskt maskering då kylning kan åstadkommas genom strålning i det område där sensorer inte är verksamma. Berylliumoxid (BeO) är ett intressant material i detta avseende.

Pga. sin höga transmission i mikrovågsområdet kan BeO även användas som radarabsorberande material (RAM) tex. i lågemissiva radomer och för högtemperatur-tillämpningar såsom signaturreduktion för utsläpp från förbränningsmotorer. BeO är dock hälsovådligt för temperaturer över 900 °C eller vid inandning av större mängder även vid lägre temperaturer.



Figur 6. Reflektansen hos berylliumoxid minskar för ökande temperatur

Pga. användningsområdet är det viktigt att veta hur BeO uppträder vid uppvärmning. Mätningar upp till 700 °C i IR-området visar att reflektansen minskar och bandets position förflyttas mot högre våglängder vid högre temperaturer. Mätningar upp till 200 °C i mikrovågsområdet (4-18GHz)-området visade dock inga större förändringar i reflektion och transmission. Från resultaten har permittiviteten (polariserbarheten) vid rumstemperatur beräknats och den visar sig vara något för hög för ett RAM. Ett sätt att minska permittiviteten är att göra materialet poröst.

6.3 Nanopartiklar för radarabsorption, ferriter:

Genom nanoteknik har man gjort en ny generation av radarabsorberande material möjlig, dessa kallas nanokompositer. Ett sätt att producera nanokompositer för radarabsorption är att introducera nanopartiklar eller nanofibrer med elektriska eller magnetiska förluster i matrismaterial som ofta är dielektriskt. Ferriter är en grupp material med magnetiska förluster och de uppvisar spontan magnetism samtidigt som de är dielektriska. En grupp som är särskilt intressant kallas spinell-ferriter. Dessa kan skrivas på formen $\text{MeO Fe}_2\text{O}_4$ där Me står för en tvåvärd metalljon dvs $\text{Me}=\text{Mn}^{2+}, \text{Co}^{2+}, \text{Ni}^{2+}, \text{Zn}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$. I den här studien tittade vi närmare på Mn- och Co-ferriterna. Mätningarna visade att Mn-ferriterna hade förluster i 3.95-5.85 GHz och Co-ferriterna hade förluster i 8.2-12.4 GHz. En litteraturstudie bekräftade resultatet för Co-ferriterna medan Mn-ferriterna påstods ha absorption i MHz-området enligt samma studie [14].

För att åstadkomma en bättre inblandning av ferriterna i kompositen använder man sig av sk. ytmodifiering med silaner. För att undersöka hur ytmodifiering inverkar på de

magnetiska egenskaperna hos nanokompositerna tillverkades ett antal kompositer bestående av epoxymatriser tillsammans med fyllnadsmaterial av Mn- och Co-ferriter med ytmodifiering med silan. Det visade sig att ytmodifieringen inte hade någon inverkan på de magnetiska egenskaperna hos nanopartiklarna vilket var ett önskat resultat.

7 Forskningsproduktion

Under projektets lopp 2004-2007 har bl a följande åstadkommits:

7.1 FOI-rapporter

C Nilsson et al, Reflektansstyrning med hjälp av konjugerade polymerer, FOI-R--1196--SE

E H Karlsson et al, Pigments with Potential for Adaptable Optical Properties, FOI-R--1256--SE

H Kariis et al, Styrbara signaturmaterial – möjligheter och forskningsbehov, FOI-R--1412--SE

T Hallberg et al, Development of low-emissive camouflage paint: Final report, FOI-R--1592--SE

J-O Ousbäck, Principer för en styrbar Salisbury-screen, FOI-R--1598--SE

Moffatt, Wigstein, Sol-gel synthesis of VO₂ thin films and the effects of doping, FOI-R--1684--SE

H Kariis et al, Styrbara signaturmaterial: forskning 2004-2005, FOI-R--1794--SE

Kariis Hans, Nilsson Christina, Behov av styrbar multispektral signaturanpassning vid internationella operationer, FOI-R--2158--SE

Ousbäck Jan-Olof, Mikrovågsegenskaper hos vanadindioxid, FOI-R--2005--SE

Anna Pohl, Hans Kariis, Styrbara och multispektrala signaturmaterial, FOI-R--2370--SE

7.2 Vetenskapliga artiklar

Rung, A. Ribbing, C-G., Polaritonic and Photonic Gap Interactions in a Two-dimensional Photonic Crystal, *Phys. Rev. Lett.*, 92, no. 123901

Högström, H., Ribbing, C-G., Polaritonic and photonic gaps in SiO₂/Si and SiO₂/air periodic structures, *Photonics and Nanostructures - Fundamentals and Applications*, vol. 2, pp 23-32, 2004.

H. C. Strifors, G. C. Gaunaud, and A. Sullivan, "Time-Frequency Signatures of Penetrable or Impenetrable Targets Buried in Lossy Half-Spaces," *Subsurface Sensing Technologies and Applications*, Vol. 6, July 2005, 271–289.

A Rung, C-G. Ribbing, M. Qiu "Gap Maps for Triangular Photonic Crystals with a Dispersive and Absorbing Component" *Phys. Rev. B* 72, 205120 (2005).

H. Högstöm, G. Forssell, C G. Ribbing "Realization of selective low emittance in both thermal atmospheric windows" *Opt. Eng.* **44**(2) 026001-1 – 7(2005).

C. G. Ribbing, H. Högstöm, A. Rung "Studies of Polaritonic Gaps in Photonic Crystals" *Appl. Opt.* September (2005).

H. Högstöm, C G. Ribbing "Polaritonic and Photonic gaps in SiO₂/Si and SiO₂/air periodic structures".
Photonics and Nanostructures – Fundamentals and Applications. Vol. 2/1, 23-32 (2004)

R T Olsson, G Salazar-Alvarez, M S Hedenqvist, U W Gedde, F Lindberg, S J Savage
Controlled Synthesis of Near-Stoichiometric Cobalt Ferrite Nanoparticles
Chem. Mater. **17**, 5109-5118 (2005)

Ribbing C-G, Högstöm H, Rung A
Studies of polaritonic gaps in photonic crystals
Applied optics, vol. 45, no 7, 2006, 1575-1582
FOI-S--2400--SE

Strifors Hans, Gaunaud G C
Bistatic scattering by bare and coated perfectly conducting targets of simple shape.
Journal of electromagnetic waves and applications, vol. 20, no 8, 2006, p. 1037-1050
FOI-S--2401--SE

Högstöm H, Ribbing C-G
Experimental observation of photonic and polaritonic gaps in a silica opal.
Applied Optics, vol 45, no 29, 2006, p. 7617-7621
FOI-S--2402--SE

7.3 Konferensbidrag

Forssell, G.
Comparison between polarization measurements and model calculations of cenosphere surfaces with different depolarization properties and surface coverage,
SPIE, Orlando, USA, 2004, *Polarization: Measurement, analysis, and remote sensing VI*,
Proc. of SPIE vol. 5432, p. 63-74,
FOI-S--1722--SE

Nilsson, C., Karlsson, E. H., Kariis, H.,
Test cell for IR transmission measurements on conjugated polymers,
Optik i Sverige, Svenska Optiksällskapet, Linköping, Sverige, 2004

Kariis Hans
Föredrag om "Nya material" vid SAT-symposium på SAAB 14-15 september 2004.
Linköping, FOI Memo 1003 (2004)

Strifors, H. C.,
Bistatic Radar Cross-Sections of Low-Signature Targets,
NATO SECRET Symposium on Sensors and Sensor Denial by Camouflage, Concealment and Deception, Brussels, Belgium, 2004

R.T. Olsson, G. Salazar-Álvarez, S.J. Savage, M.S. Hedenkvist, M. Muhammed, U. Gedde,
Synthesis and characterization of cubic cobalt ferrite nanoparticles,
9th International Conference on Ferrites (ICF-9), San Francisco, USA, 22-27 august 2004

Jinglan Deng, R.T. Olsson, S.J. Savage, M.S. Hedenkvist, U.W. Gedde,
Surface treatment of ferrite nanoparticles,
40th IUPAC Symposium on Macromolecules: MACRO 2004, Paris, France, 4-9 juli 2004

Högström, H., Rung, A., Ribbing, C-G.,
Foton- och polaritongap – vänner och fiender, Optik i Sverige,
Svenska Optiksällskapet, Linköping, Sverige, 2004

H. C. Strifors, T. Andersson, D. Axelsson, and G. C. Gaunard,
“A Method for Classifying Underground Targets and Simultaneously Estimating their
Burial Conditions,”
in *Automatic Target Recognition XV*, Sadjadi, F. A., Ed., Proc. SPIE Vol. 5807, 2005,
112–121.

Stefan Björkert, Cesar Lopes, Åsa Andersson, Torleif Martin
Sol derived BeO/air photonic structures
SPIE Optics and Photonics in Security and Defence, Brügge, Sept 2005

Kariis Hans
Conducting polymers, a key component in future soldier equipment.
Trilateral workshop on urban warfare, Proc. 21100:13478/05, Stockholm, May 18-19
(2005)
FOI-S--1878--SE

Nilsson Christina
IR-camouflage paint for face, i.e. soldier protection.
FMV Trilateral workshop Urban warfare, Stockholm, May 18-19, 2005
FOI-S--1882--SE

A. Rung, H. Högström, C-G. Ribbing
"Interaction between photonic and polaritonic gaps studied with photonic band structure
calculations".
SPIE Proc. 5184, (Ed. P. Lalanne, San Diego, Aug 2003), 126-133.

A. Rung, H. Högström, C-G. Ribbing
"Destruction of a polaritonic gap by a high index matrix"
Int. Symp. Phot. and EM Crystal Structures, PECS-V, Kyoto March 7-11 (2004).

A. Rung, H. Högström, C-G. Ribbing
"Polaritonic and Structural Gaps in 1-dimensional Photonic Crystals"
Int. Symp. Phot. and EM Crystal Structures, PECS-V, Kyoto March 7-11 (2004).

C-G. Ribbing, H. Högström, A. Rung
“Studies of Polaritonic Gaps in Photonic Crystals”
Optical Interference Coatings VIIIX, June 27-July 2, 2004, Tucson, Arizona,
Invited presentation, FB-1.

C-G. Ribbing, H. Högström, A. Rung

"Interaction between Photonic Gaps and Lattice Excitations in 1-3 Dimensions"
Deutsche Forschungsgemeinschaft, Annual Meeting, Berlin, March 7-8 (2005)
Invited presentation HL-42.5.

Herman Högström and Carl G. Ribbing

"A three-dimensional photonic crystal with a polaritonic gap"
Int. Symp. Phot. and EM Crystal Structures, PECS-VI, Crete June 19-245 (2005).

C-G Ribbing, Inbjuden talare, Inst of Physics, Kunming i Kina 28-30 okt (2004)

T Hallberg, Airframe and Plume Radiometric Modelling - workshop, 8-9 feb (2005)

H Kariis

Advanced materials for signature management

Proceedings of the Second International Conference on Military Technology, Stockholm (2005), ISBN 91-85401-27-7

H Kariis

Föredrag vid Sigma-Flyg, "Styrbara multispektrala signaturmaterial", 16 nov (2005)

Nilsson Christina, Karlsson E H, Kariis Hans

Polymer based devices with adaptable infrared reflection and transmission. (2006)
Organic optoelectronics and photonics II, SPIE vol. 6192. p. 1U-1--8
FOI-S--2306--SE

Ousbäck Jan-Olof, Kariis Hans

Microwave properties of thermochromic metal oxides surfaces. (2006)
Optical Materials and defence systems technology III, Proc. p. 115-119
FOI-S--2435--SE

Savage Steven, Kariis Hans, Björkert Stefan, Nilsson Christina Nanotechnology in defence: exaggerated hype or really useful, disruptive or evolutionary? (2006)
Tri-lateral workshop Nanotechnology in defence, (CD)
FOI-S--2421--SE

Kariis Hans, Hallberg Tomas, Jänis Anna, Nilsson Christina

Smart materials for improved multispectral protection.
International symp. for indirect protection systems, ISIS 2006, (CD)
FOI-S--2406--SE

Jänis Anna, Olsson R T, Savage Steven, Gedde U W, Klement U

Microwave absorbing properties of ferrite-based nanocomposites.
SPIE San Diego 2007, Proceedings 65261P
FOI-S--2588--SE

Hans Kariis, Tomas Hallberg, Anna Jänis, Christina Nilsson

Multispectral signature reduction using advanced materials
Third international conference on military technology, MilTech-3, 2007

C. Åkerlind, A. Jänis, H. Kariis, H. Arwin, K. Järrendahl
Combining Spectroscopic Ellipsometry and Vector Network Analysis to obtain
Electromagnetic Response in a Wide Wavelength Region
4th International Conference on Spectroscopic Ellipsometry, 2007

7.4 Avhandlingar

H. Högström
"Interaction of Photonic and SiO₂ Polaritonic Gaps in One-Dimensional Periodic Structures"
Licentiate thesis, Uppsala universitet, 2004.

A. Rung
"Numerical Studies of Energy gaps in Photonic Crystals"
Ph. D thesis, Acta Universitatis Upsaliensis 67 (2005).

R. T. Olsson
"Synthesis and characterization of ferrite based nanocomposites for microwave absorbing applications"
Licentiate Thesis, KTH, Stockholm (2005).

H. Högström
"Optical studies of periodic microstructures in polar materials"
Ph D thesis, Acta Universitatis Upsaliensis (2006)

Olsson, Richard T.
"Alternative Routes to Highly Dispersed Cobalt Ferrite Nanocomposites"
Ph D thesis, KTH, Fiber- och polymerteknologi, (2007)

7.5 Patent

C-G. Ribbing
Energibesparande skenmål
Sv. pat ans nr 0301609-4 (2003).
Publ nr 527741 (2005)

H. Kariis, E. H. Karlsson, C. Nilsson, T. Hallberg
Sätt att skapa en lågmissiv yta samt användning av en färg för att åstadkomma en lågmissiv yta
Sv pat ans nr 0502472-4 (2005)
Publ nr 529327 (2007)

7.6 Medverkan vid initiering av övrig verksamhet

Projektet har delfinansierat ansökan DARC till EU:s sjätte ramprogram, avslag

Projektet har delfinansierat ansökningsarbetet till ALOA, CEPA3, sedermera EDA

Projektet har bidragit till att initiera ett FMV-projekt "Ansiktsmaskeringsfärg med nya tillämpningar"

7.7 Kursmedverkan

Intern studiecirkel kring "SAT-handbok Mark" har fortlöpt under 2004.

Två projektmedarbetare deltog vid "Introduction to Military Thermal Imaging" på SIRA i Bromley, UK, 2004

En projektmedarbetare deltog i kursen "Stealth 2004" i London, 15-16 november, 2004.

Tre projektmedarbetare deltog vid workshop i materialoptik, LiTH, Linköping, 10 november, 2004.

Fyra projektmedarbetare deltog i Sensortekniks intraprenörskapsprogram våren 2005

En projektmedarbetare deltog i "Stealth 2005" i London, 28-29 november, 2005.

Tre projektmedarbetare deltog i FOI-kurs "Spridningsteori", Gerhard Kristensson, LTH, våren 2005

Två projektmedarbetare deltog vid FM-kursen "Telekrig i praktiken" 2007

7.8 Kunskapsförmedling till kund

Projektet har aktivt medverkat i grupperingarna SAM-SAT, Sigma-flyg, Epsilon-flyg samt medverkat vid två nationella SAT-symposier.

Resultat från FOI:s forskning har kommit till nytta inom Försvarmaktens nanoteknikprogram (MSCC), där forskningen även nyttiggörs av försvarsindustrin (Saab Barracuda).

Under projektet har följande enheter inom Försvarmakten besökts och informerats om FOI:s verksamhet på området:

Hkpflj, Ing2, Amf1, F7, MSS, 4.sjöstridsflottiljen, SWEDEC, Vaddö skjutfält

Besöken har upplevts positivt både från Försvarmakten, som fått ta del av aktuell forskning och från oss från FOI, som lärt oss mer om kundens behov.

7.9 Hårdvara

"Salisbury screen" baserad på ledande polymerer tillverkad för tester.

Högtemperaturmätutrustning inköpt för både IR- och radarområdet.

Fyrpunktsprob för ytrestistivitetsmätningar tillverkad.

Mätcell för transmissionsmätningar på polymerer i IR utvecklad.

Tunnsfilmsmätutrustning för mikrovågsområdet inköpt.

Diffus reflektans tillsats till UV-VIS-NIR-spektrometer inköpt och installerad, delfinansierat av projektet

Diffus reflektans tillsats till FTIR-spektrometer inköpt och installerad, delfinansierat av projektet

BRDF mätutrustning inköpt och installerad, delfinansierat av projektet

3D-tillsats till optiskt mikroskop inköpt och installerad, delfinansierat av projektet

7.10 Samverkan med civila och andra enheter

I olika former har projektet samverkat med FMV, Saab, Chelton Applied Composites, PvTT, UU, KTH, LiU

7.11 Internationell samverkan

Projektet har avtalsbunden samverkan inom ALOA (EDA) och SCI-179 (NATO-PfP). Inom ALOA samverkar FOI med huvudsakligen industrier från Tyskland, Sverige, Frankrike, Nederländerna och Italien.

I projektet arbetas med kravställning för signaturmaterial och en materiallista tas fram. Multispektrala material är av speciellt intresse liksom nanomaterial. Arbetet sker både genom experiment och modellering.

Sverige deltar genom FOI i Nato-gruppen SCI-179/RTG-044 rörande "Utilization/ Dynamic Control of Adaptive Camouflage Materials". Det svenska deltagandet finansieras dels av ett FMV-uppdrag dels genom Försvarmakten i FoT-projektet "Styrbara multispektrala signaturmaterial". Deltagande länder är Nederländerna, Sverige, Storbritannien, USA, Estland, Litauen, Polen, Italien, Canada, Rumänien, Tyskland och Tjeckien. Nederländerna är ordförande och Canada sekreterare i gruppen. Varje deltagande land finansierar sin egen medverkan. Sveriges huvudsakliga uppgift blir karakterisering och värdering av material tillverkade av andra länder. Vi har bäst utrustning för IR-mätningar och bara vi kan mäta mikrovågsegenskaper på materialnivå.

För båda projekten gäller att Sverige med en tämligen begränsad arbetsinsats har möjlighet att få tillgång till ambitiösa projekt vars resultat ligger i svenskt intresse, både vad gäller simulering och tillverkning av hårdvara.

8 Slutsatser

Under de fyra år projektet har pågått har bl a följande positiva effekter uppnåtts:

- Forskargrupper för radar och IR har integrerats
- Hög vetenskaplig nivå har hållits
- Samtal med FM om behov av förmågor, dagens brister och morgondagens hot
- Internationell bevakning av området på bred front
- ALOA, internationellt samarbete med industri och institut startat
- NATO-gruppen SCI-179 har startat med FOI:s medverkan
- Samverkan med UoH, en del har avslutats, nya har startat
- Analys av behov av styrbarhet, kanske kostar det mer än det smakar

Det kan konstateras att vi kan bli bättre på detta:

- Kommunicera med FM på förbandsnivå
- Medverka vid övningar, seminarier mm på förband
- Presentera resultat i annan form än rapporter
- Samverkan med försvarsindustrin, inte konkurrera
- Ömsesidig interaktion med modelleringsverksamhet på högre systemnivåer

I framtiden bör verksamheten vid FOI fokusera på:

- Kompetensstöd till FMV och FM här och nu
- Medverka vid internationella samarbeten, området prioriteras högre i utlandet än i Sverige.
- Upprätthålla vår ställning som kompetent och stark internationell aktör
- Finna synergieffekter med civil forskning

Enligt FoT-plan ska fokus ligga på bevakning av området, varför en bred snarare än djup kompetens behövs. För att upprätthålla vårt förtroende och fortsätta vara en attraktiv samarbetspartner är det dock viktigt att kunna visa på unik världsledande kompetens inom vissa nischer.

9 Referenser

- [1] Kariis H, Björkert S, Ousbäck J-O, Strifors H, Jänis A, Ribbing C-G, Forssell G, Nilsson C, Hallberg T, Karlsson E H, *Styrbara signaturmaterial forskning 2004-2005*. (FOI-R--1794--SE) (Användarrapport) 2005
- [2] Kariis H, Björkert S, Forssell G, Hallberg T, Jänis A, Karlsson Eva H, Nilsson C, Ousbäck J-O, Ribbing C-G, Rung A, Strifors H *Styrbara signaturmaterial - möjligheter och forskningsbehov*. (FOI-R--1412--SE) (Användarrapport) 2005
- [3] Hallberg T, Niinimäki-Heikkilä T, Hedborg-Karlsson Eva, Salonen P S, Nilsson C, Jänis A, *Framtagning av lågemissiv maskeringsfärg: Slutrapport*, (FOI-R--1592--SE) (Vetenskaplig rapport) 2005
- [4] Ousbäck J-O *Mikrovågsegenskaper hos vanadindioxid*. (FOI-R--2005--SE) (Teknisk rapport) 2006
- [5] Björkert S, Lopes C, Andersson Å, Martin T, *Sol derived BeO/air photonic structures* (FOI-S--1953--SE) 2005 (SPIE Optics and photonics for defence and security, SPIE no. 5989, p. 274-279) 2005
- [6] Hedborg Karlsson E, Nilsson C, Hallberg T, Kariis H, *Pigment med potential för styrbarhet av optiska egenskaper*. (FOI-R--1256--SE) (Teknisk rapport) 2004
- [7] Hedborg Karlsson E, Kariis H, Andresson Å, Åkerlind C, *Ny typ av lågemissiv kamouflagfärg-slutrapport* (FOI--2316--SE) 2007
- [8] Andreas Rung *Numerical Studies of Energy Gaps in Photonic Crystals* 2005 Avhandling Uppsala Universitet
- [9] Herman Högström *Optical Studies of Periodic Microstructures in Polar Materials* 2006 avhandling Uppsala Universitet
- [10] Ousbäck J-O *Principer för en styrbar Salisbury-screen*. (FOI-R--1598--SE) (Teknisk rapport) 2005
- [11] Kariis H, Hallberg T, Jänis A, Nilsson C, *Smart materials for improved multispectral protection*. (FOI-S--2406--SE) 2006, (International symp. for indirect protection systems, ISIS 2006, (CD)).
- [12] Nilsson C, Karlsson E H, Kariis H, *Polymer based devices with adaptable infrared reflection and transmission*. (FOI-S--2306--SE) 2006, (Organic optoelectronics and photonics II, SPIE vol. 6192. p. 1U-1--8)
- [13] Nilsson C, Hallberg T, Hedborg-Karlsson E, Ousbäck J-O Jänis A, Kariis H, *Reflektansstyrning med hjälp av dopning av konjugerade polymerer*. (FOI-R--1196--SE) (Teknisk rapport) 2004
- [14] Strifors H, Gaunaud G C *Bistatic scattering by bare and coated perfectly conducting targets of simple shape*. (FOI-S--2401--SE) 2006 (Journal of electromagnetic waves and applications, vol. 20, no 8, p. 1037-1050) 2006
- [15] Dionne G. F. "A review of ferrites for microwave applications" Proc. IEEE, 63 No 5 (1975) 777-789.