

Rapport till styrelsen i september 2007

av

**panelen: Materialutveckling inklusive
Biomaterial**

28 september 2007

SAMMANFATTNING

Knappast något forsknings- och utvecklingsområde kan i betydelse för landets ekonomi mäta sig med materialområdets. Svensk utrikeshandel utgörs till cirka 75 % av materialexport eller av varor där material är en viktig beståndsdel. Landets sammanlagda forskningsfinansiering till materialområdet är uppseendeväckande liten med hänsyn till områdets betydelse för landet.

Den svenska forskningen inom materialområdet är internationellt sett mycket stark. Detta styrks av samstämmiga internationella utvärderingar samt indikatorer som internationell publicering, citeringar, kronindikatorer, inbjudna föredrag och mycket annat. På grund av materialforskningens höga kvalitet och bredd är den en stark motor i utvecklingen av landets universitet och högskolor. Denna utveckling har skapat helt nya förutsättningar för forskning, utveckling och företagande inom många andra områden - bioteknik, medicinsk teknik, energi, miljö etc. I landet bildas ständigt nya forskningskonstellationer med materialforskare som en central part i dessa.

Denna utredning har gjorts av en panel bestående av tolv ledamöter och en sekreterare. Panelen har i sitt utredningsarbete utnyttjat nationella och internationella omvärldsanalyser (så kallade *Framsyner*), hearings med näringslivsföreträdare respektive universitets- och institutsforskare, utvärderingar, pågående materialforskningsprogram inom SSF samt gemensamma möten med SSF-strategipaneler med överlappande ämnesområden (IKT och Livsvetenskaper).

För att upprätthålla och stärka den industriella konkurrenskraften i Sverige blir material med högre kunskapsinnehåll, nya funktioner och bättre prestanda allt viktigare. I EU:s *sjunde ramprogram* betonas att för den tillverkande industrins utveckling kommer det att vara de nya materialen i sig som kommer att stå för mervärdet, inte produktionsstegen. För mervärdesmaterialen måste också forskning relaterad till processutveckling, uppskalning och industrialisering vara en naturlig och integrerad del.

Panelen föreslår att forskningsprogram inom fyra huvudområden initieras omgående samt att ytterligare två program samfinansieras och igångsätts senare efter diskussioner med STEM och MISTRA respektive det nu löpande SSF-programmet ProViking. I samtliga föreslagna program bör teori och experiment integreras; man skall dessutom beakta förutsättningarna för uppskalning och industrialisering. Nanoteknologin ingår som en naturlig komponent i alla områden och har inte identifierats som ett särskilt område.

Följande huvudområden föreslås:

- *Biomaterial/biomimetiska material* – biomaterial och biomimetiska material är sedan några år starkt expanderande forskningsområden. Sverige har här en stark industriell tradition med många framgångsrika industrier såsom NobelBiocare AB, AstraTech AB, Biacore AB, Q-Sense AB, Gambro AB och Pharmacia AB.

Nya potentiellt mycket lovande forskningsområden är nanomaterial som läkemedelsbärare, aktiva ytor som läker in snabbare än nuvarande passiva material, direkt styrning av celler och vävnader med hjälp av kemiska och elektriska signaler, läkemedel immobiliserade i nanometertunna filmer, nanosensorer, etc. Också tissue-engineering och den starkt expanderande stamcellsteknologin kan nog räknas in i detta intresse- och forskningsområde, fastän huvudsatsningen bör ske inom cellbiologi. Vidare rekommenderas ett starkt samarbete mellan områdena.

- *Funktionella ytor* - Funktionella ytor är ett synnerligen omfattande forskningsområde sedan många år. Området har stadigt utvecklats och är nu nere i att verkligen designa material på nivån monolager av atomer eller molekyler i både djup- och sidled av en yta. Ett flertal betydelsefulla delområden kan identifieras inom aktuellt huvudområde (slitage, korrosion, solceller, sensorer, elektronik och batterier). Sverige har inom detta område en styrkeposition i både forskning och industri.
- *Lätta material* - Detta område innefattar polymerer, kompositer och metaller, inklusive legeringar av dessa. De lätta materialen har en mängd tillämpningar ändå från dagliga förbrukningsvaror, över bilindustri till flyg- och rymdteknik. Också medicinska tillämpningar liksom sportredskap återfinns i denna kategori. Landet har en stark forskning inom väsentliga delar av detta område. Särskilt framträdande är polymerområdet men också kompositer och metaller är viktiga områden. Det finns många företag som är stora materialanvändare inom detta område. Slutligen är teknisk textil ett nytt och intressant område identifierat av utredningen.
- *Material för elektronik, fotonik och sensorik* - Den internationella utvecklingen inom detta område har varit imponerande och svensk industri har när det gäller materialutveckling lämnat viktiga sektorer för att specialisera sig mera på komponenter men framför allt system. Inom vissa sektorer är svensk forskning mycket stark och det är angeläget av flera skäl att vi behåller en hög nivå inom nyckelområden. Ett sådant område är sensorik, som spänner över stora tillämpningsområden och där det är naturligt att utveckla nischer mot andra nationellt starka områden. Medicin, miljö och säkerhet är exempel på breda områden, där landet mycket väl kan utveckla sin näring.

Följande områden föreslås för samfinansiering:

- *Energirelaterade material (eventuella samarbeten med STEM/Mistra)* – Ett ämne som verkligen gjort intryck på gemene man den senaste tiden är världens energikonsumtion och dess inverkan på miljön. Det finns ett antal insatser som kan hjälpa oss att nå en minskad energikonsumtion och en minskning av CO₂-utsläppen. Som exempel kan nämnas utvecklingen av elektro-, magnetiska-, termo- och fotokemiska material, vilka kan ha stor betydelse för att minska CO₂-utsläpp, minska kylbehov och finna mindre och mer integrerade komponenter. Inom dessa materialområden har vi i Sverige en stark bas som i vissa fall är världsledande. Ett annat exempel på materialforskningsområden är material med fotosyntetisk funktion, vilka kan härma naturens sätt att producera energi. Det

- pågår forskning som är finansierad av till exempel STEM och Mistra, men oftast är dessa projekt inriktade mot tillämpad forskning på systemnivå.
- *Produktion och process för materialutveckling (med ProViking/Institut/Industri)* - I Sverige har forskningsfinansiärerna prioriterat de nya områdena men sällan kopplat satsningar på forskning och utveckling av nya material till motsvarande utveckling inom process och produktionsteknik, vilket fått till följd att vi är starka vetenskapligt men i stor utsträckning tappar initiativet till andra länder när flera nya material ska industrialiseras. Vi föreslår därför att en strategisk satsning på forskning och utveckling av nya material också kopplas till kompletterande satsningar på process- och produktionsteknik och att satsningarna på process och produktionsteknik görs tillsammans med ProViking. Satsningar på process- och produktionsteknik är särskilt viktiga för utveckling av nano- och biomaterial (till exempel processer vid fysiologiska temperaturer) eftersom dessa inte nödvändigtvis kan tillverkas med redan existerande teknik. Med detta tillägg ges också SSF:s satsningar på materialforskning en strategisk skillnad jämfört med satsningar hos andra svenska forskningsfinansiärer.

Denna utredning har genomförts av en panel med representation från akademi, institut och näringsliv. Panelen har bestått av följande personer:

Helena Berg, AB Volvo
Lars Börjesson, Chalmers och VR
Olle Eriksson, Uppsala universitet
Hans Hentzell, Acreo
Eva Malmström, KTH
Mirka Mikes-Lindbäck, ABB
Lars Montelius, Lunds universitet
Jochen Schneider, RWTH Aachen University, Tyskland
Pentti Tengvall, Linköpings universitet
Thomas Thorvaldsson, Swerea
Fredrik Höök, Lunds universitet

Ordförande i panelen har Jan-Otto Carlsson, Uppsala universitet varit. Anders Johansson, Uppsala universitet, har varit utredningens sekreterare och Joakim Amorim har varit kontaktperson på SSF.

INLEDNING

Material har sedan historiens början påverkat varje aspekt av vår civilisation i någon bemärkelse. Många epoker i historien har präglats så starkt av någon förhärskande materialteknologi, att materialen har fått ge namn åt hela tidsåldrar: sten, brons, järn etc. Materialen kan jämföras med energi och information som grundläggande redskap för civilisationens utveckling.

Inom de flesta teknikområden – verkstadsteknik, elektronik, byggnadsteknik, energiteknik, transport- och kommunikationsteknik etc – är det idag allmänt accepterat att det i praktiken är tillgången till material och dess egenskaper som sätter gränserna för utvecklingen. Stora delar av materialtekniken är tvärvetenskaplig; i själva verket är den en naturlig, integrerad del av varje teknisk disciplin oavsett inriktning. Den fortsatta teknikutvecklingen i stort ställer ständigt nya krav på mer högpresterande material, material med speciella eller extrema egenskapsprofiler, material för sammansatta funktionskrav och så vidare. Dessa krav driver på utvecklingen av nya framställningsmetoder och alltmer specialiserade material med förbättrade och ibland helt nya egenskaper, till exempel kompositer, avancerade flerfasmaterial, superlegeringar, supraledare, sofistikerade ytbehandlingar, minneslegeringar, endimensionella ledare och mycket annat.

Omfattande framtidsstudier har gjorts både nationellt och internationellt och så kallade framsynsrapporter har lagts fram. Bärande gemensamma teman är följande:

- Trygghet och säkerhet
- Miljö och energi
- Hälsa och livskvalitet

Inom samtliga dessa områden är materialutveckling en integrerad och nödvändig del för utvecklingen. Trygghet och säkerhet inkluderar allt ifrån personlig säkerhet i hemmet till säkerhet i trafik och transport. Avancerade material utvecklas för att ingå i detektorsystem tillsammans med kommunikations- och larmsystem. Användningen av fossila bränslen och miljökonsekvenserna av detta diskuteras ständigt och sökandet efter alternativa och mera miljövänliga energikällor står högt på dagordningen. Här spelar materialutvecklingen en nyckelroll. Det kan gälla att utveckla solceller, våg- och vindkraft, batterier, bränsleceller med mera. Vidare har kommunikations- och transportsektorn mycket viktiga materialkomponenter till exempel inom optiska fibrer, satelliter, bilar, bussar, lastbilar, fartyg, flyg och mycket annat. Hälsa och livskvalitet har också väsentliga materialingredienser som kontinuerlig uppföljning av medicinsk behandling med olika diagnostiska chip, hemsjukvård med provtagning hemma och överföring av analysdata via internet till sjukhus, utveckling av material för implantat och

frisättning av läkande substanser, utveckling av tung medicinsk apparatur för till exempel MR-teknik, strålbehandling etc.

Den internationella utvecklingen inom det materialvetenskapliga området har idag många komponenter. Väsentliga sådana återfinns inom bland annat:

- transportsektorn med utvecklingen av lätta och hållfasta material för att minska bränsleförbrukningen. Även lågfriktionsmaterial och material som tål höga temperaturer är av yttersta vikt för att minska energiförbrukningen
- material för förnyelsebara energikällor
- sensorer för en mängd tillämpningar, inom allt från förbränning till medicinska tillämpningar
- bearbetning av material liksom minskad materialförstörelse på grund av till exempel korrosion
- energiområdet, där en mängd lovande material tas fram i strid ström för skilda tillämpningar

All högkvalitativ materialforskning sker idag på atomär nivå. Vi kan med god precision placera atom för atom i en struktur för att uppnå önskade egenskaper. Under det senaste årtiondet har utvecklingen av teorin för materials egenskaper tillsammans med en snabb utveckling av beräkningskapacitet skapat unika förutsättningar för design av material. De syntetiska och teoretiska verksamheterna är i de framgångsrika forskningsmiljöerna väl integrerade och den avancerade materialforskningen kräver numera just en sådan integration. Materialframställningen följs sedan upp med precisionsanalyser med avseende på struktur och sammansättning och det är nästan rutin att kunna identifiera såväl atomer som defekter inte bara inom korn (eller bulk) utan också i de betydelsefulla gränssytorna.

Miniatyrisering av system är en annan tydlig utvecklingstrend. Till exempel så har mikroelektroniken stadigt miniatyriserats med konsekvenser för utvecklingen inte bara inom mikroelektroniken utan också inom flera andra områden, som till exempel inom sensorik. I takt med att dimensionerna krymper så har nanoteknologin vuxit fram som ett stort och viktigt område vilket bland annat för med sig utmanande materialtekniska frågeställningar. Materialens egenskaper förändras dramatiskt då materialens byggstenar blir mindre än ca 100 nm. Sålunda har en utveckling skett mot allt mindre system för att kunna utnyttja extrema och inte sällan nya egenskaper hos strukturer med mycket små dimensioner. I takt med att dimensionerna blir mindre möter nanoteknologin den makromolekylära världen med sina koncept och betraktelsesätt. På sikt torde intressanta nya vetenskapliga och tekniska synergier kunna uppstå i gränssytan mellan nanoteknologi och makromolekylär vetenskap. Inte minst tillskrivs en fundamental förståelse för interaktioner på dessa längdskalor en stor roll, och de implikationer detta kommer att ha för att uppnå olika nivåer av självorganisation av avancerade material.

Svensk forskning inom materialområdet är internationellt mycket stark. Detta styrks av flera utvärderingar och många indikatorer såsom internationell publicering och citering, inbjudna föredrag samt mycket annat. På grund av materialforskningens höga kvalitet och bredd så är den en stark motor i utvecklingen av landets större universitet och högskolor.

Denna utveckling inom området har också skapat nya förutsättningar för forskning och utveckling inom många andra områden: bioteknik, medicinsk teknik, energi, miljö etc. I landet bildas ständigt nya forskningskonstellationer med materialforskare som en central part i dessa.

För Sverige betyder materialområdet exceptionellt mycket och de årliga exportintäkterna uppgår till hundratals miljarder. För företag som Sandvik, ABB, Volvo, SKF, SSAB, och skogsindustrierna etc. är utveckling och användning av material avgörande. Svenska företag har också varit synnerligen framgångsrika på världsmarknaden, ibland världsledande, inom sina segment. Svensk industri är också beroende av personal utbildad inom materialvetenskap. Universitet, högskolor och forskningsinstitut fyller en viktig funktion i leveransen av civilingenjörer och doktorer med, för industrin, adekvat materialvetenskaplig utbildning. Genom tätare kontakter mellan högskolorna och näringslivet kan man från lärosätenas sida bättre tillgodose näringslivets behov.

OMVÄRLDSANALYS

Sverige

*Teknisk Framsyn*¹ sammanfattade de för materialutvecklingen viktigaste utmaningarna i framtiden under tre rubriker:

Gränsöverskridande, långsiktiga FoU-satsningar

Materialforskning är ofta långsiktig i jämförelse med andra forskningsområden. Den är också extremt tvärvetenskaplig; till exempel inom nanoteknologi suddas gränserna mellan de traditionella naturvetenskapliga/tekniska disciplinerna ut. Med tanke på materials användning i ett produktcykelperspektiv – från produktion, tillverkning, användning till återvinning – borde all materialforskning ha tvärvetenskapliga inslag. En ökad satsning på gränsöverskridande forskning är därför nödvändig – även för forskning på grundläggande nivå där kunskaper i områden som kemi, fysik, biologi och teknik ofta är förutsättningen för avancerad materialforskning.

Hållbar utveckling i ett systemperspektiv

För att verkligen gå mot ett samhälle med materialflöden som kan fungera även för kommande generationer, krävs bättre kunskap kring dagens materialflöden. Om kunskap saknas kommer subjektiva argument – eller argument som grundar sig på en av många aspekter – att fortsatt prägla debatt och politiska beslut. Men kunskapen kring materialflöden är komplex och svår att systematisera. För att samhällets materialflöden ska utvecklas positivt krävs att kunskap ökar med avseende på:

- materialegenskaper och materialflöden

- systemperspektiv, till exempel möjlighet till industrikluster där företag nyttjar varandras processer eller biprodukter.
- materialutveckling som baseras på kommande krav på materialfunktioner och materialegenskaper, samt även för materialhantering, kopplad till en realistisk och framsynt utveckling av näringslivet.

Från FoU till näring

Forskningsinitiativ avseende material med väsentligt förbättrade egenskaper är inte av något större värde om materialen inte kan framställas industriellt och utnyttjas i produkter till ett pris som möter marknadens betalvillighet. För detta krävs kunskap inom områden som stimulerar affärsmässig tillämpning av material: bearbetningsteknik, processteknik, modellering och simulering, miljö- och hälsoeffekter av material, systemteknik, nanoteknologi, tillverkningsteknik, materialhushållning, livslängdsteknik, återvinningsprocesser och funktionell design. Risken finns annars att Sverige, med fokus på kunskapsintensiv industri, tappar kompetens i tillverkningsprocesser med följden att tillverkningen förläggs till annat land.

I rapporten betitlad *Inspiration till innovation – Teknik och kunskapsområden mot 2020²* presenteras 100 för Sverige viktiga områden/nyckelord inför framtiden. Av dessa är ca 30 på det ena eller andra sättet kopplade till materialforskning. Bland de områden som bedöms viktiga återfinns:

- Högrepresterande stål, ytskikt och ytbehandling, ytors nanoteknik samt funktionella ytor
- Biomaterial, biomimetik, nanoteknik inom medicin
- Kompositer, cellulosa-fiberbaserade material, förnyelsebara och återvinningsbara material och superstarka polymera material
- Elektroniskt papper, intelligenta sensorer och seende, bildsensorer, bioelektronik, hybridteknik, energilagring och alternativa energikällor till olja/kol.
- Flexibla produktionssystem, snabb produktframtagning och utveckling i nätverk.

Europa

EU:s finansiering av materialforskning presenteras i det sjunde ramprogrammet (FP7)^{3,4} där ett antal övergripande tankar kring materialforskningen presenteras:

- Målet med det sjunde ramprogrammet och i synnerhet delområde *Nano-sciences, nano-technologies, materials and new production technologies* (NMP, Theme 4) är att styra Europas forskning och industri från att ha fokus på råvaror och tillgångar till att istället inrikta sig på kunskapsbaserad industri.
- EU vill se en materialforskning där nya idéer snabbt kan fångas upp och integreras med existerande produktion.
- Stimulering av forskning inriktad på uppskalning av processer. Man vill till exempel se pilotlinor för ”nanosyntes”.

- Systemtänkande inom produktionen. Istället för att producera enskilda delar för vidare förädling så skall industri och forskning styras mot en helhetssyn på materialområdet och se hela vägen från idé till produkt.

Tre underområden inom materialforskningen, som bedöms viktiga i det sjunde ramprogrammet, är nanoteknologi, biomimetik/biomaterial och nya energimaterial. Inom nanoteknologin hoppas man kunna stimulera forskning inom områden som i framtiden skall kunna leda till nya produkter. Detta hoppas man kunna uppnå genom att finansiera tvärvetenskapliga projekt där man kombinerar nanovetenskap med andra mer traditionella materialforskningsområden som till exempel biovetenskap. Inom området för biomimetik eftersträvas också ett mer tvärvetenskapligt synsätt och EU ämnar finansiera en rad program som tar till vara ny kunskap inom detta område. Det övergripande syftet med energitemat i FP7 är att Europa skall kunna producera energi på ett sätt som minskar utsläpp av växthusgaser. Samtidigt skall energiproduktionen vara säker, ren och tillgänglig. Man är medveten om att varje enskilt ämne inte kan bidra till förbättringar i sig utan det är kombinationer av nya energikällor och energiomvandlare som kommer att göra skillnad på sikt. EU vill genom forskningsfinansiering uppnå en ökad effektivitet genom hela systemen, minska utsläppen av kolväten och koldioxid, uppmuntra en ökad användning av alternativa energikällor (gärna fler stycken i kombination) samt öka Europas konkurrenskraft inom området.

USA

I USA har man beslutat fördubbla stödet till grundforskning inom naturvetenskap och teknik under den närmaste tioårsperioden. National Science Foundation (NSF)^{5,6} förvaltar ca 35000 anslag vilka stödjer mer än 190000 personer. Man får in 40000 ansökningar per år och dessa resulterar i 10000 nya kontrakt. NSF:s strategiplan⁸ för 2006-2011 ger ganska övergripande mål för verksamheten:

- Områden som skall vara visionära, excellenta, breda och inbegripa redovisningsbara arbetssätt.
- Forskningsinsatserna skall sträva efter framsteg inom vetenskap; för att öka allmän hälsa och välfärd och för att säkra det nationella försvaret.
- Man har en vision om att kunna leda landet bortom kunskapsfronten och sträva mot *upptäckande, innovation och utbildning*.

Inom nanoområdet startade president Clinton i januari år 2000 ett nanoiniativ⁷ omfattande \$600M, som också följdes upp av delstatliga och privata initiativ med ungefär samma omfattning. Stora faciliteter för nanotillverkning och nanokarakterisering vid 13 universitet finns tillgängliga inom National Nanofabrication Infrastructure Network (NNIN)⁸, lett av Cornell University.

Japan

Den japanska industrin tycks ha förlorat sin tidigare framträdande ställning och konkurrenskraft inom materialområdet de senaste åren. För att komma till rätta med detta så har ett stort antal nya program initierats⁹. Ett programkoncept som fått stort genomslag är Industrial Science and Technology Frontier Program¹⁰, finansierat av industriministeriet, MITI. Inom detta program väljer man ut områden inom vilka stora satsningar görs under högst tio år. Följande tema pågick vid årsskiftet 2005-2006:

- Supraledande material och komponenter
- Icke-linjära fotonikmaterial
- Kiselbaserade polymerer med överlägsna elektroniska, optiska och mekaniska egenskaper, jämfört med kolbaserade polymerer
- Synergikeramer i vilka olika egenskaper kan förenas och olika funktioner integreras i samma material
- Framställning av nya högfunktionella material
- Nya biomimetiska material
- Kontroll av molekyllär och supramolekyllär struktur samt syntetisk processteknik för högpresterande polymera material
- Supermetaller med hjälp av strukturkontroll ned mot nanonivå.

Det organ i Japan som mest liknar SSF är Japan Science and Technology Corporation (JST)¹¹. JST finansierar strategisk grundforskning med ungefär 4 miljarder SEK per år inom följande programområden:

- Exploratory Research for Advanced Technology, ERATO
- Core Research for Evolutional Science and Technology, CREST
- Precursory Research for Embryonic Science and Technology, PRESTO
- International Cooperative Research Project, ICORP

Det program som varit mest synligt är ERATO; i vilket enskilda projekt finansieras med totalt ca 20-27 miljoner SEK under en period på fem år. Alla fyra programmen är till stor del personrelaterade till en programdirektör för ett kluster av forskarledda program – man väljer ut innovativa och framgångsrika nyckelpersoner. PRESTO riktar sig mer mot yngre forskare på ett sätt som liknar det av SSF stödda programmet *Framtidens forskningsledare*.

INDUSTRINS BEHOV

Svensk industri inom områden som relaterar till materialforskning domineras av skogs- och pappersindustri samt stålindustri och hårdmetallindustrin, men även fordonsindustrin ägnar sig i hög grad åt materialrelaterad forskning. För att vara en god beställare och mottagare krävs en hög kompetens också inom materialområdet. Vid materialpanelens hearing med näringslivet var följande företag representerade: GE Healthcare, Pharmacia,

Volvo Powertrain, Volvo Cars, PM Technology, Casco, Höganäs, ABB, SECO, Perstorp, Obducat, Biacore, Alfa Laval, SKF och Ericsson. Nedan beskrivna områden är det som framkom vid hearingen med näringslivet.

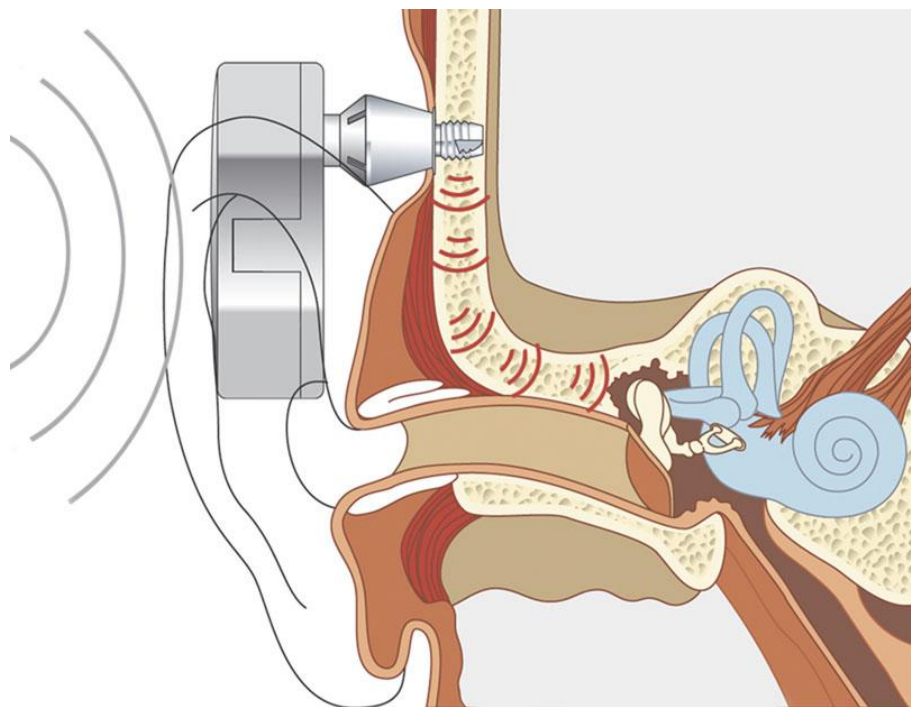
Flera företag bygger sin verksamhet kring *metalliska material*; man intresserar sig för metallurgiska synteser, teoretiska beräkningar samt ytmodifieringar av diverse slag. Man har från företag uttryckt en önskan om finansiering av forskning på bulksyntes och ytbeläggning av metalliska och keramiska material. Historiskt sett har det också funnits ett stort intresse för samarbeten mellan dessa företag och akademisk forskning. Samarbetena har givit god avkastning för alla inblandade parter och det finns ingen anledning att tro att sådana samarbeten inte kommer att fortsätta.



Figur 1. Titannitridytan på borrar och andra verktyg ger inte bara en fin finish utan ökar också borrharnas slitstyrka avsevärt trots att lagret bara är ett par mikrometer tjockt.

Ett område som kommit fram den senaste tiden är *höghygieniska ytor*. Genom ytmodifieringar kan man ta fram sterila ytor som dessutom är självrengörande. För industri som levererar material för sjukhus och farmakologisk industri är detta av stort intresse. På ytområdet är företag som SKF och Volvo intresserade av lågfriktionsytor. Genom att minska friktionen i mekaniska delar så kan stora energivinster göras.

Utvecklingen av nya *biomaterial* och *biomimetiska material* har ökat explosionsartat de senaste åren. Multinationella företag lägger ner stora resurser på dessa områden och man förväntar sig att marknaden skall växa. Ett konkret exempel är implantaten – dessa skall utstå en speciell och krävande miljö under väldigt lång tid, inte ge upphov till inflammatorisk respons och dessutom kan de inte servas i lika hög grad som till exempel material i maskiner. På sikt hoppas man kunna ta fram implantat som kan sitta i människan i upp till 50 år (jämför dagens höftproteser som fungerar bra i ca 15-20 år). Detta kräver utveckling av nya material som inte bara är bioinerta utan också bioaktiva, och således aktivt kan bidra till en del av läkningsprocessen – t ex i form av utsöndring av läkefrämjande ämnen.



Figur 2. Cochleart implant. Hörapparat där anslutningen till skullbenet är via en ytmodifierad titanskruv.

Fordonsindustrin har under de senaste årtiondena utmanats av lagstiftarna mot emissionsnivåer för kväveoxider, kolväten och svavelinnehållande föreningar som snart når nollnivå. I en smutsig stadsmiljö kan avgaserna från de nyare motorerna vara renare än luften som går in i motorn. Vad som däremot kommer att kontrolleras hårdare och hårdare via lagstiftning är utsläppen av koldioxid. För att minska koldioxidutsläppen från fordon krävs det att man strävar efter sänkt bränsleförbrukning generellt och/eller använder alternativa bränslen från förnybara energikällor. Bränsleförbrukningen kan minskas genom en ökad verkningsgrad i motorerna och detta kan till exempel ske genom minskad friktion hos mekaniska delar i motorerna eller till exempel friktion mot vägbanan. Ett annat sätt att minska bränsleförbrukningen är att reducera den totala fordonflottans vikt. Detta gör man idag genom att i så hög grad som möjligt konstruera med *lättviktsmaterial* såsom lätta metaller, polymerer och kompositer. Andra sätt är att optimera till exempel en lastbils längd i förhållande till lastutrymme. Inom fordonsindustrin anser man att forskningen på lättviktsmaterial är av stort intresse för framtiden och man är också beredd att gå in och medfinansiera i någon form av samarbeten. Bränsleförbrukningen kan drastiskt reduceras genom att utveckla hybridfordon, vilket ställer nya tekniska problem för till exempel *material för energilagring och -omvandling*.

Ett växande område inom vilket materialvetenskap har stor betydelse är textilier, främst *tekniska textilier* och smarta textilier. Till smarta textilier räknas intelligenta textila material som är designade för att ändra egenskaper efter en förändrande omgivning.

Textilier med ett ökat tekniskt mervärde benämns som tekniska textilier. Ett exempel är Gore-Tex, ett material som endast släpper igenom vatten i gasfas (ånga) och inte vatten i vätskefas. Sverige har tidigare haft en betydelsefull traditionell textilproduktion. Idag är dock denna industri huvudsakligen lokaliserad i Asien. Däremot så finns det en möjlighet att etablera sig inom områden som omfattar nya tekniska och smarta textilier.

Utvecklingen inom materialvetenskap är nödvändig för att kunna bemöta industrin med nya textila material som visar eftertraktade egenskaper, till exempel; smutsavvisande, konduktiva, temperaturreglerande, ljudabsorberande, filtrerande, miljövänliga, och i övrigt optimala komfortegenskaper. De producerande industrierna, som till exempel fordonsindustrin, har stora intressen i dessa nya typer av textilmaterial. Deras intressen ligger i att integrera funktioner i dessa samt att minska vikten hos textilmaterial. Material för elektronik har länge varit av stort intresse för svenskt näringsliv. De existerande stora företagen på området bedriver visserligen inte ren materialforskning men har ett stort intresse av att utnyttja kompetens inom området. *Organiska material för elektronik-, fotonik- och sensorik tillämpningar* öppnar för helt nya tillämpningsområden där man bland annat kan tänka sig elektroniskt papper och tunna, energisnåla belysningsystem.

Slutligen är givetvis svensk industri beroende av personal med en utbildning inom materialvetenskap som håller högsta tänkbara internationella standard. Universitet och högskolor fyller här en viktig funktion som leverantörer av civilingenjörer och doktorer med, för industrin, adekvat materialvetenskaplig utbildning. Genom tätare kontakter mellan högskolor och näringsliv kan man från utbildningssidan bättre tillgodose näringslivets behov samtidigt som man på ett naturligt sätt skapar kontaktytor mellan studenter och näringsliv vilket torde stärka Sveriges konkurrenskraft. Dessutom kan man tänka sig att detta ökar innovationskraften vilket också kan bidra positivt till Sveriges attraktivitet och konkurrenskraft.

EKONOMISK NYTTA AV MATERIAL

Material med ökat värde på grund av högre kunskapsinnehåll, nya funktioner och bättre prestanda är ytterst viktiga för att upprätthålla och också stärka den industriella konkurrenskraften i Sverige. I EU's *sjunde ramprogram*³ betonas att för den tillverkande industrins utveckling så kommer det att vara de nya materialen i sig som kommer att stå för mervärdet, inte produktionsstegen. Också frågor relaterade till processutveckling, uppskalning och industrialisering av mervärdesmaterial är av stort värde för den svenska industrin.

Råvaror och råvaruförädling

Nyttan av materialområdet för den svenska ekonomin har varit och är fortfarande mycket stor. För området *Metallurgi- och bergnäring* har regeringen, näringslivet, de fackliga organisationerna och myndigheterna en gemensam vision inför framtiden¹²:

”De svenska metallurgi- och bergnäringarna leder den internationella utvecklingen inom strategiskt utvalda områden. Spjutspetsteknologi, högt förädlade produkter och hållbar resursanvändning karaktäriserar hela värdekedjan från naturresurser till kund. Detta ger god internationell konkurrenskraft och bidrar till välstånd och tillväxt i vårt land.”

De branscher som omfattas är järn- och stålindustrin, gruvor och smältverk, utrustningsindustrin och industrimineral-, ballast- och stenindustrierna. Dessa branscher hör ihop och är en del av den svenska basindustrin och bidrar till framtagning av förädlade och högteknologiska produkter som exporteras över hela världen eller används i Sverige. Under den senaste tioårsperioden har den genomsnittliga tillväxten uppgått till 3,3 procent per år. Malm- och mineralutvinning står för ett produktionsvärde motsvarande cirka 14 miljarder kronor per år. Med angränsande näringar och åtföljande förädlingssteg genereras som helhet årliga produktionsvärden för cirka 350 miljarder kronor. Det kan också nämnas att Sverige står för den största andelen av gruvproduktionen av järn och guld i Europa, med 88 respektive 29 %.

Stora delar av skogs- och träindustrin kan också sorteras in under materialområdet. Även här har regeringen, näringslivet, de fackliga organisationerna och myndigheterna en gemensam vision inför framtiden¹³:

”Den svenska skogs- och träindustrin ska vara världsledande med produkter av ökande förädlingsvärde inom valda marknadssegment och ha en nyckelroll för tillväxten i ett hållbart samhälle.”

Skogsråvaran förädlas i värdekedjor av högteknologiska processer till produkter med stort kunskapsinnehåll som exporteras och används över hela världen. Värdekedjorna sträcker sig långt in i olika sektorer som bygg-, interiör-, förpacknings-, hygienprodukts- och grafisk industri. Skogs- och träindustrin sysselsätter direkt ca 90 000 personer och har mycket stor betydelse för regional sysselsättning och arbetsmarknad genom att den ofta finns på orter med få andra näringar. Varje anställd inom skogs- och träindustrin genererar sysselsättning för ytterligare två i branscher som levererar varor och tjänster till den skogsbaserade industrin. För trä- och möbelindustrin resulterar varje arbetstillfälle i skogsbruket i 15 andra arbetstillfällen längre fram i värdekedjan i samband med den industriella förädlingen. Det totala produktionsvärdet uppgår till 210 miljarder SEK. Skogs- och träindustrins export om 123 miljarder SEK motsvarar Sveriges import av oljeprodukter, mat och läkemedel. Med en liten import av insatsvaror ger skogs- och träindustrin ett stort bidrag till bytesbalansen. Nettoexportvärdet uppgår till cirka 90 miljarder SEK.

Exempel på branscher med stort materialinnehåll

Bransch	Exempel på innehåll	Personer anställda ^{14,15}	Omsättning (miljarder SEK) ^{16,17}	Export (miljarder SEK) ^{16,17}
<i>Maskinindustrin</i>	pumpar, kompressorer, kranar, ventiler, kullager, axlar, truckar, hissar, värmeväxlare, ventilationsutrustning, skogsmaskiner, jordbruksmaskiner, maskindrivna handverktyg, verktygsmaskiner, livsmedelsmaskiner samt vitvaror	93000	179	131,8
<i>Instrumentindustrin</i>	utveckling, tillverkning och försäljning av medicinska instrument och instrument för mätning, provning och styrning.	22000	42	27,7
<i>Metallvaruindustrin</i>	utveckling, tillverkning och försäljning av bland annat byggmetaller, tankar, cisterner, spikar, skruvar, bultar och verktyg	74000	104	28,2
<i>Fordonsindustrin</i>	allt ifrån lågfriktionsmaterial på motordelsytor till lättviktsmaterial vid konstruktionen.	80000	238	144,3
<i>Tele- och elektronikindustrin</i>	utveckling, tillverkning och försäljning av teleutrustning,	25000	116	97,4

	elektroniska och optiska komponenter och system.			
Skogsindustrin	Massa-, pappers- samt den trämekaniska industrin	89000	210	90

Sammanfattningsvis kan nämnas att den svenska utrikeshandeln utgörs till största delen av varor (77 %, år 2003) även om andelen tjänster har ökat kraftigt de senaste tio åren. En stor del av exporten gäller material eller varor där material utgör en viktig beståndsdel, till exempel skogsvaror 13,6 %, järn och stål 5,1 %, plaster 2,1 % och verkstadsvaror (med viktigt materialinnehåll) 50,4 %^{16,17}.

FORSKNINGSFRONTEN

Sverige har sedan länge varit framgångsrikt på det materialvetenskapliga forskningsområdet. Förstklassig materialforskning bedrivs vid forskningsinstitut, högskolor, universitet och inom industrin. Nedan följer en sammanställning av vad som framkom vid panelens hearing med representanter från akademi och forskningsinstitut samt kopplingar till tidigare utvärderingar utförda av bland andra *Vetenskapsrådet*.

Inom trä- och pappersforskningen ser man i framtiden stora utvecklingsmöjligheter med så kallad *nanocellulosa*, nanomaterial vars ursprung finns i skogen och således är förnybart. Man hoppas, genom ökad kunskap, kunna styra sekundära egenskaper i trä, som till exempel visuella, taktila och akustiska egenskaper. En av de stora möjligheterna med trä i framtiden är det fortsatt stora råvaruflödet.

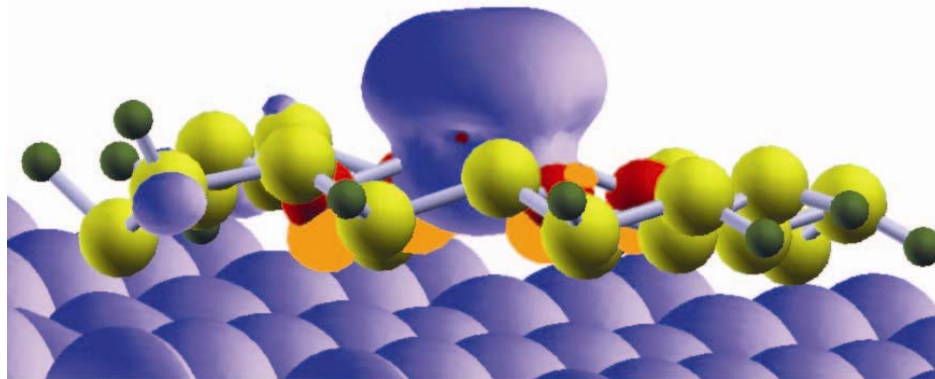
På solcellsområdet har Sverige i flera år legat i världstoppen, med ett flertal internationellt erkända forskargrupper. Med en ständigt eskalerande debatt kring global uppvärmning och en fortsatt användning av fossila bränslen för energiframställning blir material för produktion av miljövänlig energi viktigare och viktigare. Man ser i framtiden möjligheter att finna nya bstrykningsmetoder och på så vis få ner kostnaderna för tillverkning av solpaneler. Det finns också miljövinster att göra vad gäller tillverkning av solceller om man med ”ny” kemi kan tillverka solcellerna med hjälp av vattenbaserade utgångsmaterial, istället för dagens miljöbelastande lösningsmedel.



Figur 3. Genom att bebygga stora fält med solpaneler hoppas man i framtiden kunna ersätta energi från fossila bränslen med solenergi.

Ett annat område kopplat till energi är material som klarar höga temperaturer. Genom att utveckla konstruktionsmaterial som tål högre temperatur än dagens material kan man öka verkningsgraden i till exempel förbränningsmotorer. Då man i stora delar av världen fortfarande ser en utbyggnad av de koleldade kraftverken förstår man att även små ökningar i verkningsgrad kan ge enormt stora positiva effekter för miljön. Även på högtemperaturmaterial bedriver svenska högskolor och forskningsinstitut världsledande forskning.

Ytbeläggningstekniker och ytmodifieringar är områden som representeras av ett stort antal forskargrupper i Sverige. Ett par stora svenska företag är världsledande på området och det är även några av de svenska forskargrupperna. Framtiden kommer kräva nya och billigare beläggningstekniker. Dagens teknik kräver i regel höga temperaturer eller på annat sätt väldigt stor energitillförsel under produktionen. Genom att finna nya sätt för ytbeläggning inom områden som våtkemi och sol-gelprocesser hoppas man kunna belägga stora ytor med komplicerad geometri till mycket lägre kostnader. Att ersätta keramiska och metalliska ytfilmerna med till exempel polymera eller komposita material kan också tänkas ge billigare och miljövänligare produktion av högteknologiska produkter. För djupare förståelse av alla typer av ytbeläggningstekniker krävs det större förståelse av vad som sker i dessa processer på atomär nivå.



Figur 4. Beräknad magnetiseringstäthet runt en biorelevant molekyl, porfyrin, som ligger på ett koboltsubstrat. Magnetiseringen är centrerad på järnatomen i bildens mitt (den blå strukturen) som är omgiven av kväveatomer (röda) och kolatomer (gula)

Det tvärvetenskapliga och relativt nya området nanovetenskap har också fått starkt fotfäste och internationell uppmärksamhet i Sverige. Flera forskningskonstellationer bedriver världsledande forskning på nanovetenskap och nanomaterial. Nanovetenskapen öppnar för en rad nya tillämpningar som till exempel solid-state-lightning, sensorik och tribologi. Faktum är att nanoteknik idag, knappt tio år efter det att Clinton annonserade ett nanoinitiativ, spelar en avgörande roll inom de flesta av materialvetenskapens grenar. Sverige har byggt en stark infrastrukturell och kompetentmässig bas för forskning inom nanoteknologi; flera tvärvetenskapliga initiativ har lett till brett utnyttjande av dessa faciliteter utanför de klassiska elektroniska och fysikaliska disciplinerna.

Ett annat i Sverige omfattande tvärvetenskapligt område med stark koppling till nanoteknologi, är biomaterial och biomimetiska material. Bland annat är möjligheterna stora för dessa discipliner att bidra till medicin, farmakologi och sensorik men också till mer traditionell materialvetenskap/nanoteknologi, där man till exempel kan utnyttja biomaterial för att ordna oorganiska material på ytor och på så sätt få fram helt nya ytegenskaper. Genom att härma naturen hoppas man kunna ta fram nya protesmaterial, nya transportmöjligheter för läkemedel och nya ämnesspecifika sensorer.

En väsentlig uppgift för materialforskningen vid universitet är att utbilda personal för näringslivets behov. Genom att bedriva forskning i forskningsfronten utbildar också universitet, högskolor och forskningsinstitut forskare med spetskompetens. Inom ramen för tekniska och naturvetenskapliga utbildningar drivs ofta projekt i nära samarbete med

både större och mindre företag. Inom materialområdet har sådana samarbeten varit av utomordentligt stor vikt för forskningen både på företagen och på universiteten.

FORSKNINGSFINANSIERING

VR och VINNOVA är stora forskningsfinansiärer inom materialområdet. Tillsammans med SSF täcker de in stora delar av innovationskedjan - från vetenskaplig idé till färdig produkt, redo att kommersialiseras och produceras. De tre finansiärerna inriktar sig alla på högkvalitativ materialforskning, men riktar sina finansieringsprogram mot olika stadier av innovationskedjan. SSF:s målsättning är att finansiera materialforskning av högsta vetenskapliga kvalitet och strategisk relevans för svenskt näringsliv. Man riktar in sig på något större program med en viss långsiktighet. VR har inte någon uttalad strategi i sitt urval av anslagsansökanden. Deras fokus ligger till stor del på grundforskning av högsta vetenskapliga kvalitet. VINNOVA riktar in sig mot företagsnära forskning där sökanden aktivt uppmanas att söka industriella samarbeten.

Kompletta data på anslag inom olika materialområden har inte varit möjligt att samla in från de olika forskningsfinansiärerna men trender går att utläsa. I jämförelse med en sammanställning gjord år 2000 kan följande slutsatser dras:

- Forskningsstöder på området *metaller* har minskat under senare år. Detta kan dock vara lite missvisande då till exempel VINNOVA's anslag riktade mot produktion och process nästan uteslutande gäller metallområdet.
- Även polymer- och kompositforskningen får sig mindre tilldelade anslag i dagsläget. Detta kan förklaras med att polymerforskningen mer och mer har styrts in på biomaterialtillämpningar och således får sin del av anslagen den vägen. Detta kan också vara anledningen till att kolumnen med *Biomaterial* blivit högre den senare tiden.
- Andra markanta skillnader är att *Nano*, *Ytor* och *Teori* de senare åren blivit tilldelade större anslag. Detta överrensstämmer med den internationella trenden.

MATERIALFORSKNINGENS KVALITET I SVERIGE

Vetenskapsrådet publicerade 2006 en bibliometrisk översikt över svenska vetenskapliga publikationer mellan åren 1982 och 2004¹⁸. Från VR's rapport framgår det t.ex. att svenska biomedicinska publikationer ligger 10 - 20 % under världsgenomsnittet i antalet citeringar från 1990 och framåt. Däremot har svenska materialvetenskapliga publikationer under samma tidsperiod legat 30 - 40 % över världsgenomsnittet i antalet

citeringar, vilket torde vittna om att mycket högkvalitativ forskning bedrivs inom materialområdet i Sverige.

I en stor utvärdering (*Evaluation of the Swedish condensed matter physics*), genomförd i Vetenskapsrådets regi år 2005¹⁹, konstaterades det i inledningen:

”Overall, condensed matter physics research in Sweden is in a very healthy state. Both the quality and quantity of research are far higher than one might expect for a country with the small population of Sweden, and the only other countries in a broadly similar situation, which might compare favourably with Sweden, are the Netherlands and Switzerland. The Expert Panel found many excellent and world-leading activities within the groups they reviewed, and no research, which was not worthy of support. While in a country with the size of Sweden it is inevitable that the depth of coverage of all areas of condensed matter physics varies, the breadth of coverage is large and the community has responded to new and emerging fields of interest. In general, the infrastructure of national research resources is very good, with the provision of synchrotron radiation at MAX-lab being an outstanding aspect of this infrastructure, which does much to underpin the very high quality of research in surface and interface science, and related electronic spectroscopies. There is a very substantial and successful effort in the relatively new subject of nanoscience, and the traditional strength of theoretical condensed matter physics in Sweden continues to underpin experimental work across the whole field. There is also a very significant level of applied research interfacing fundamental studies to industrial development and commercial exploitation.”

SSF har också utvärderat materialområdet och kommit fram till att på områdena *Nano*, *biomimetik* och *teori* bedrivs synnerligen excellent forskning i Sverige:

*”An impressive amount of work from different and multidisciplinary areas has been shown. The scientific quality as a whole is very high, with obvious world class elements as shown in the biomimetics programme, the theory programme and the complex oxide programme.”*²⁰

PÅGÅENDE SSF-PROGRAM

SSF finansierar i dagsläget ett 20-tal stora materialprogram samt fem program inom Nano-X. Materialprogrammen presenteras i nedanstående tabell. I tabellen framgår också var programmen huvudsakligen är lokaliserade. Slutligen ges några exempel på mervärden från dessa program.

<i>Program</i>	<i>Huvudmottagare</i>
Biomedical functional polymers	KTH
Mechanisms of creep and oxidation of high performance alloys	CTH

Polymeric materials designed for chromatographic separation of proteins in their native state	UmU
Fundamentals of structural intermetallics for modern materials design, INALLOY	KTH
Multifunctional photoactive nanoparticles, nanoparticle arrays and nanoarchitectures	CTH
Nanostructures from self-assembly – in solution, at the surface and as a synthesis tool	LU
Tools for integrated optimisation of materials	KTH
Materials sciences, graduate school	CTH
Complex Oxide Materials for Advanced Devices	CTH
Carbon Allotropes for Microelectronics	GU
Fundamental Research and Applications of Magnetism	UU
Nano Optoelectronics	LiU
Functional Ceramics for Sensors and IT	KTH
Biomimetic Materials Science	LiU
Biomimetic Enzyme Systems	SU
Centre for Advanced Molecular Materials	LU
Atomistic Materials in Computer Simulations	CTH
Centre for Computational Thermodynamics	KTH
Strategic Research Centre for Materials Science for Nanoscale Surface Engineering	LiU
Strategic Research Centre for Nanowires in Emerging Nanoelectronics	LU

Samtliga program, som hittills utvärderats, uppvisar hög kvalitet och bedriver forskning i den absoluta forskningsfronten inom sina respektive områden. Dessutom har en rad mervärden identifierats. Några exempel på viktiga mervärden, som framkom vid hearing med programmen, är:

- Nanometerkonsortiet/ Strategic Research Centre for Nanowires in Emerging Nanoelectronics (nmC) verksamhet har givit upphov till nio nya företag där det största (QuNano) har 17 personer anställda.
- Biomimetic Materials Science (BIOMICS) har möjliggjort bildandet av fem nya företag och en rad nära samarbeten med existerande industri.
- Centre for Advanced functional Molecular Materials (CAMM), har genom industrisamarbeten lyckats få in ett antal företag som kunder på MAX-lab.

PRIORITERADE OMRÅDEN

Panelen har med utgångspunkt från bakgrundsmaterial och hearings identifierat sex områden av stor industriell betydelse och där forskning av högsta kvalitet kan bedrivas i landet. Inom samtliga områden integreras experimentell och teoretisk verksamhet. Vidare är nanoteknologin en naturlig del inom varje område.

Biomimetik och Material i medicin

Biologiska material, som till exempel muskler, pärlmor, emalj, ben, silke och trä, är tillverkade enligt en så kallad ”bottom up”-princip, där molekyler efter molekyl arrangeras till hierarkiska strukturer som integrerar ett flertal olika funktioner. För att effektivt kunna efterlikna naturens uppbyggnad av material måste man förstå underliggande biologiska, kemiska och fysikaliska processer, och med intelligenta modifieringar applicera dessa ändamålsenligt. Till detta kommer möjligheten att efterlikna funktioner i naturen, allt från det klassiska exemplet med fåglars flygförmåga via nyligen realiserade exempel som lågfriktionsytor (hajskinn), antifrysytter (antifrysprotein i insekter, fiskar, grodor) och självrengörande ytor (lotusblomman) till mer visionära möjligheter, såsom konstgjord fotosyntes, biokemiska neurala nätverk för informationsbehandling, regenerativ medicin/tissue engineering (vävnadsteknik). Till detta kommer visionen om att framtidens bioanalytiska sensorer kan komma att designas utifrån en mimik av organisation, lokalisering och exponering av naturliga sensorelement (receptorer) på cellmembran, inklusive intracellulär amplifiering.

För att kunna realisera de möjligheter som biomimetik erbjuder krävs en djup förståelse av biologiska principer, molekylär självorganisation och enzymkatalyserad syntes – eller

nedbrytning. Tillverkningsprocesser där alla, eller viktiga, steg kan ersättas av självorganisation med lämplig bindningskemi kan leda till en väsentligt rationaliserad tillverkning. Mångas bedömning är dessutom att kontroll över molekylär självorganisation/kemi är en förutsättning för att realisera många av nanoteknikens förväntade möjligheter. Det senare avser allt från ren materialframställning till system som integrerar avancerade funktioner, med applikationer inom bland annat biomaterial, medicinsk teknik, biosensorer, robotik, rymdteknik, energi, miljö etc.

Biomimetik är följaktligen ett mycket brett område, där tvärvetenskaplig forskning är en förutsättning för framgång. Sverige har, inte minst tack vara tidigare initiativ från SSF, på ett osedvanligt framgångsrikt sätt byggt upp tvärvetenskapliga nätverk, såväl inom som mellan olika lärosäten samt industrin. Det förhållandevis stora utrymme för innovationer som fältet erbjuder har redan lagt och förväntas i allt större utsträckning lägga grunden för nya företag. Detta tillsammans med pågående satsningar inom framför allt nanoteknik, samt det allt större intresset hos medelstora och stora företag att integrera detta i storskaliga tillverkningsprocesser samt i avancerade (bio)analytiska system, gör fortsatt stöd till området starkt motiverat ur ett strategiskt perspektiv.

Det samma gäller området Material i Medicin^{*}, som dock inte bör underställas biomimetik; snarare är det så att biomimetisk design av material har stor potential som utgångspunkt för centrala tillämpningar inom området biomaterial, inte minst i kombination med klassisk materialvetenskap, nanoteknik, immunologi och farmakologi. Till exempel, nanostrukturerade biologiskt aktiva ytor skulle kunna erbjuda kontrollerad leverans av kända läkemedel för styrning av biologiska processer utanför implantat, med ett flertal potentiella applikationer inom t ex sårsläkning, dentala implantat, benförankring i ortopedi, immunotolerans, blodapplikationer, optimal celldifferentiering, biologisk analysteknik, biosensorer, etc. Centralt är också en ökad förståelse för hur mottagaren, kroppen, reagerar på och anpassar sig till främmande material, vilket är en kritisk biologisk fråga som är intimt kopplad till randvillkoren för biomaterialutveckling, men i dagsläget dåligt förstådd.

* Trots att biomaterialområdets främsta tidskrift *Biomaterials* har en hel sektion dedikerad för *Tissue Engineering*, bör man ur ett rent materialperspektiv med försiktighet satsa på området med föreställningen att detta är framtidens biomaterial. Detta inte sagt för att Tissue Engineering, som i princip också ryms inom Biomimetik, inte har en enormt stor potential – även om de flesta applikationer anses ligga långt framme i tiden. I branschen anses detta mest bero på att det grundläggande cellbiologiska kunnandet är för litet. Från ett materialperspektiv ligger det närmare till hands att utveckla funktionella biomaterial, baserade på till exempel biomimetisk design, för stamcellsbiologerna att utföra det cellbiologiska arbetet med. Utvecklingen av till exempel odlade vävnader och organ bör således främst drivas av cellbiologer för att i ett senare skede tas upp också inom biomaterialvetenskap, med betoning på material.

Exempel på aktuella och mycket utmanande forskningsområden med Biomimetik och Material i Medicin som utgångspunkter skulle kunna vara:

- *Konstgjorda celler, för storskaliga sensor- och HTS tillämpningar:*
- *Biomaterial med immobiliserade läkemedel/aktiva substanser för snabbare och förbättrad integration i vävnader och blod:*
- *Cellmimetisk amplifiering och informationstransduktion/processning för snabba och ultrakänsliga biosensorer:*
- *Kopplade cellmimetiska nätverk för logiska tillämpningar/biocomputing:*
- *Nanostrukturerade biomimetiska material för optisk funktion (t ex insekters assembly och materialstrukturer):*
- *Design av mekaniskt anpassade hållbara biomaterial:*
- *Biomimetisk katalys för energi- och miljöapplikationer, samt (bio)organisk syntes.*
- *Material med fotosyntetisk funktion:*
- *Biomimetiska ytor för differentiering och proliferering av stamceller:*
- *Tvårvetenskaplig forskning kring frågeställningar rörande implantat-material: till exempel immunreaktioner och sårhäkning.*
- *Biofunktionella, antibakteriella och biologiska aktiva skikt: Materialdesign för kontrollerbarhet och således selektiv interaktion mellan till exempel yta, ben och vävnad.*

Funktionella ytor

Ytteknik som bygger på nanostrukturerad tunnfilmsteknologi är av stort industriellt intresse. Svensk forskning inom tunnfilmsteknologi har lång tradition och är idag av högsta internationella klass. Det har omvittnats av flera internationella utvärderare och experter i samband med nyligen genomförda utvärderingar av svenska kompetenscentra. Det finns ett flertal forskningsgrupper vid svenska universitet som arbetar inom området och den samlade kompetensen är stor.

Att skapa och vidmakthålla landets kompetens inom detta område, stödja grupperingar där man arbetar tvärvetenskapligt med generiska tekniker och integrerar teori, modellering, simulering, syntes, karakterisering, processteknologi med teknologisk utveckling för valda tillämpningar är viktigt.

Den vetenskapliga utmaningen ligger i att syntetisera filmer vid relativt låga temperaturer för att undvika oönskade reaktioner med underliggande material men samtidigt tillföra egenskaper och funktioner som är unika, allt detta till en rimlig produktionskostnad.

Framtiden kommer att kräva både avancerade teknologier och billigare beläggningstekniker baserade på till exempel våtkemiska (inklusive solgel) processer men också välkontrollerade gasfasdeponeringstekniker som *Atomic Layer Deposition* (ALD) och processer baserade på kraftigt joniserade plasma. Att ersätta keramiska och

metalliska ytfilmer med polymera eller komposita material kan vara fördelaktigt för vissa tillämpningar.

Att välja, syntetisera och producera olika typer av ytskikt som passar till valda tillämpningar är ett strategiskt område av stor betydelse för svensk verkstads-, process- och produktindustri. Att finna innovativa tunnfilmsbeläggningar ger svensk industri en konkurrensfördel. Detta kan uppnås genom att man utnyttjar kunskapsbaserad syntes som har sin grund i teori och simulering av förhållandet mellan syntes, struktur och egenskaper. Kombinatoriska syntesvägar kan vara ett väldigt effektivt sätt att nå dessa mål ur det experimentella perspektivet, vilket kräver en djupare förståelse av kemin, både i plasmat och på substratytan.

De branscher som berörs av denna forskningsprofil är främst verkstadsindustri representerade av företag som Sandvik Tooling, SECO Tools, Kanthal, SKF, ABB, Volvo och Saab. Kraven och behoven av nanostrukturerade tunnfilmsbeläggningar är tillämpningsspecifika.

Sandvik Tooling och Seco Tools behöver till exempel extremt hårda slitstarka ytor. ABB behöver nya kontaktmaterial med bättre kombination av prestanda, produktionskostnad och produktivitet; låg kontaktresistans, låg friktion, hög korrosionsresistans samt högre mekanisk och termisk stabilitet. SKF behöver kullager belagda med filmer med låg friktion. Volvo behöver öka verkningsgraden hos motorer och minska fordonets vikt. Man eftersöker ytor med minskad friktion hos mekaniska delar, ytor som tål högre temperatur och är stabila i kemiskt aggressiva miljöer etc. Den önskade funktionen styr valet av tunnfilmssammansättning och processteknologi.

Nanostrukturerade ytor finner tillämpningar även inom andra teknikområden utanför den traditionella verkstadsindustrin. Innovationer kan ge upphov till nya företag och branscher av stor betydelse på längre sikt (kemiska, biologiska, medicinska, optiska sensorer och komponenter, nya högteknologiska processföretag mm).

Grundläggande generisk förståelse av nanostrukturerade tunnfilmsteknologier kombinerad med tillämpningsstyrda konceptstudier är strategiskt viktigt för Sverige. Ett flertal delområden kan identifieras inom aktuellt huvudområde. Exempel på sådana delområden ges nedan:

- *Energirelaterade skikt:* Inom energiområdet pågår en snabb utveckling inom en mängd sektorer. Flera utvecklingstrender bygger på funktionella ytor. Det kan gälla till exempel solceller, batterier och bränsleceller.
- *Tribologiska ytskikt:* Sverige har en framgångsrik forskning med världsledande företag som Sandvik, SECO Tools and SKF på den internationella arenan. Skikt av olika material varvas på borrar, skär och kullager som designats för sina ändamål.
- *Tunnfilmsmaterial med traditionellt motsägelsefulla egenskaper,* egenskaper som till exempel elastiskt stela material som ändå är slagtåliga. Ledande keramiska ytskikt är ett annat exempel: Nya elektriskt kontaktmaterial som

kombinerar på ett bättre sätt stabil kontaktresistans med hög resistans mot korrosion och termisk stabilitet än traditionella metalliska kontaktmaterial är viktiga för elkraftindustrin. Familjen av MAX-keramer är starka kandidater att uppfylla dessa krav.

- *Magnetiska skikt*: Extremt tunna varvade skikt med magnetiska egenskaper kan nu framställas med hjälp av diverse tekniker. Mycket avseende den fundamentala förståelsen av växelverkan över gränssytor mellan olika skikt återstår. Ett flertal tillämpningar inom informationslagring, informationsöverföring, säkerhet med mera kan ses.
- *Porösa ytskikt*: Ytskikt med väldefinierade porer finner många tillämpningar (katalys, medicin, sensorer, etc.). Många nya tillverkningsmetoder utvecklas nu för att styra både porstorlek och porarrangemang.
- *Legeringsdesign via tunnfilmkombinatorik*: Materialdesign med hjälp av tunna filmer som dels passar alla ovanstående tillämpningar, dels också andra tillämpningar, inklusive bulkmaterial för energiomvandling.

Lätta material

Produkter som sparar in på vikt och utrymme är centrala idag. Hushållning med naturresurser är ett naturligt inslag i utvecklingsprocessen liksom åtgärder som leder till mindre miljöbelastning. Lätta material möjliggör produktlösningar med förbättrade slutegenskaper än vad traditionella material idag har men med reducerad vikt. Det innebär att både helt nya material och existerande material men i nya tillämpningar är viktiga. Lättviktsmaterial och lätta konstruktioner bidrar till ett resurssnålare samhälle genom minskad vikt och reducerad material- och energiåtgång samtidigt som miljöbelastning kopplat till lägre emissioner minskas.

Inom fordonsindustrin pågår ett kontinuerligt materialutbyte för att optimera ekonomi och materialanvändning för att få lättare fordon och därmed minskad bränsleförbrukning och miljöbelastning. Kvoten prestanda/ekonomi är avgörande om ett nytt material kan få praktisk användning i verkliga produkter. Det finns därför ett stort behov både av nya material men också av konkurrenskraftiga produktionsmetoder för att framställa dem. Materialutvecklingen går ständigt framåt. Utrymme finns för utveckling av höghållfasta stålsorter i bärande konstruktioner, gjutgods i nya och förbättrade material i motorkomponenter, kompositer och polymerer för strukturella komponenter och funktionella textilier i inredningsdetaljer. Materialutveckling, processteknik, produktion och konstruktionsteknik måste utvecklas hand i hand.

Hälsa och sjukvård blir allt viktigare för samhället, inte minst med tanke på den ökande åldersprofilen för befolkningen. Intressant är också hjälpmedel av olika slag, från personliga som rullstolar, rullatorer, sängar, proteser och så vidare till mer allmänna som ambulanser och olika sjuktransporter. Vikt är här en central parameter i kombination med

de mer traditionella funktionerna som hållfasthet, estetik osv. Kombinationer av olika material blir mer framträdande när olika egenskaper skall framhävas. En rollator måste till exempel vara stabil, kännas trygg att använda, vara estetiskt tilltalande och inte minst lätt. Den behöver kunna lyftas över trösklar, trottoarkanter och andra hinder av en ofta äldre, lite svagare person. Detta kräver ofta en produkt som innehåller en blandning av material som metaller, polymerer, kompositer och textilier.



Figur 5. ToeOFF® - en kompositortos som hjälper människor med droppfot

Utmärkande för modern produktutveckling är att olika material ofta används i kombination med varandra. I komplicerade konstruktioner som fordon kan olika strukturdetaljer göras i olika material men till sist måste de fogas ihop till en helhet. De måste då fungera med avseende på direkt funktion men också långtidsegenskaper för att säkerställa funktionaliteten under produktens hela livslängd. Samtidigt är det viktigt att kunna inkorporera kretsloppstänkandet i produkten för minskad miljöbelastning. Allt detta kräver forskning och utveckling med ett helhetstänkande i fokus.

Vid utveckling av helt nya material och materialkoncept används ofta lösningar som ligger långt från jämviktstillstånd i termodynamiskt hänseende. Det är då helt avgörande ur praktisk synvinkel att också se över produktionsprocessen för materialet så att slutprodukten kan tillgodogöra sig de nya egenskaper materialet har. Alternativt kan nya materialegenskaper skapas i själva tillverkningsprocessen som därför måste vara sammankopplad med konstruktionsfasen för produkten. Modellering, simulering och prediktering är viktiga hjälpmedel i all material-, produkt-, process- och produktionsutveckling.

Nanoteknik är en naturlig del av materialutveckling idag. Den används inom stålutveckling, för att förbättra och skräddarsy egenskaper hos polymerer och kompositer

och för att förbättra materialegenskaper genom olika ytbeläggningar. Detta är en del i ett helhetskoncept också för att åstadkomma lättare material där substitution i vissa fall kan ske om de avgörande materialegenskaperna kan framställas på andra sätt än de konventionella.

Material är av naturliga skäl centrala i alla produkter. Sverige har en stark internationell ställning inom verkstadsindustri, fordonsindustri, telekom, skogsindustri och medicin/hälsa. Produkterna byggs upp av konkurrenskraftiga och ofta innovativa material. I Sverige finns en lång tradition av utveckling av metalliska material, främst inom stålsidan. Här finns kunnande och världsledande ställning inom industrin vilket borgar för att forskningsinsatser och –resultat får en mottagare som kan vidareutveckla detta till praktiska tillämpningar. För polymerer har vi inga stora materialproducenter men användningen av dessa material ökar och finner hela tiden nya tillämpningar. I komplexa konstruktioner är polymerer ofta av stor betydelse. Kompositmaterial växer i betydelse, inom fordonsindustrin, flygsektorn, marina tillämpningar, olika konstruktioner inom hälsa/sjukvård osv. En stor utmaning skulle vara att framställa nanostrukturerade kompositmaterial vilket är en nyckel till att expandera egenskapfönstret väsentligt och därigenom också öka kompositmaterialens användbarhet. Tekniska textilier upplever en renässans i Sverige. Efter en kraftig omställning av branschen där konfektionstextilier praktiskt taget inte längre tillverkas i Sverige finns nu en expanderade industri för tekniska textilier och så kallade smarta textilier som finner användning inom olika områden inom fordonsindustri, hälsa/sjukvård, sportsektorn etc. Allt som allt finns alltså mottagarkapacitet för forskningsinsatser inom dessa områden. Inom forskarvärlden, inom forskningsinstitut och U&H finns också utförarkapacitet inom dessa områden.

Exempel på viktiga forskningsområden:

- *Process- och produktionsutveckling:* Nya material måste kunna framställas i kommersiell skala med optimerade pris/prestanda-egenskaper. Det gäller såväl höghållfasta stål, polymerer, kompositer, smarta textilier som nanomaterial.
- *Fogning:* nya material, enskilda eller i kombination med andra material, måste kunna fogas ihop i produkter och verkliga konstruktioner. Detta gäller inte minst olika kompositer och nya stålsorter.
- *Kompositmaterial:* förbättrade egenskaper kan uppnås med nanostrukturer. Produktionsteknik och återvinningsaspekter, inklusive hälsoaspekter vid framställning, är centrala områden.
- *Modellering:* för att optimera materialegenskaper i kombination med kommersiell produktion behövs verktyg för modellering, simulering och prediktering av framställningsprocessen utvecklas.
- *Textila material:* nya funktioner kan utvecklas med smarta textilier som inkluderar komfort, estetik, hygien, säkerhetsaspekter osv.
- *Höghållfasta stål:* Sverige är ledande inom utveckling av avancerade stålsorter. Designkriterier, fogning och egenskapsoptimering är prioriterade utvecklingsaktiviteter
- *Polymera material:* designkriterier, ytfinish och materialkaraktärisering, inte minst långtidsegenskaper, behöver utvecklas

Material för elektronik, fotonik och sensorik

De sektoriella områdena inom elektronik, fotonik och sensorik är stora och breda och går ofta in i varandra utan klara gränsdragningar. Till exempel så spänner området sensorik över stora tillämpningsområden och innefattar såväl elektronik, fotonik, informationsteknik som själva sensorteknologierna. Tillämpningar inom sensorik tangerar i sin tur andra nationellt starka områden vilka därigenom, på grund av utvecklingen inom materialtekniken, förstärks och blir internationellt synnerligen konkurrenskraftiga med en stor värdeskapande potential. Ett bärande element i dessa translationella aktiviteter är att nyttiggörandet av materialtekniken står i centrum. Många dylika aktiviteter återfinns inom t ex biomedicinska området avseende biosensorer eller biomedicinska system. Andra exempel på translationella områden är inom miljö och säkerhet, områden inom vilka vi mycket väl kan utveckla vår näringsverksamhet och bli stora internationella aktörer inom såväl forskning som inom industriella tillämpningar.

Ett annat stort område med ett alltmer ökande behov av informationsförmedling och informationsbehandling återfinns inom optoelektroniken, främst i tillämpningen optisk kommunikation. Historiskt utvecklades först halvledarlaserar och lysdioder baserade på III-V-material. På senare tid har det skett en drastisk ökning av grundforskning kring III-V nitrid och relaterade material. Nitrider bedöms ha ett brett användningsspektrum i industrin inom optoelektronik, lysdioder, displayfunktioner, detektorer, sensorer med mera. För närvarande ökar utvecklingsinsatserna för att åstadkomma en förbättrad materialkvalitet och processteknologi för komponentframställning men vissa komponenter såsom laserdioder och lysdioder har dock redan framgångsrikt kunnat utvecklas. Vidare är forskning och utveckling mot material och system som möjliggör generering av vitt ljus för allmän belysning av allra största intresse. Sådana ljuskällor skulle vid en lyckad marknadsintroduktion kunna ha stor positiv påverkan på vårt energiförsörjningsbehov. Också utveckling och forskning för att skapa nya och extremt effektiva ljusfångande material och system är synnerligen angeläget även detta skulle vara ett kraftigt bidrag för en bättre utveckling inom energiområdet.

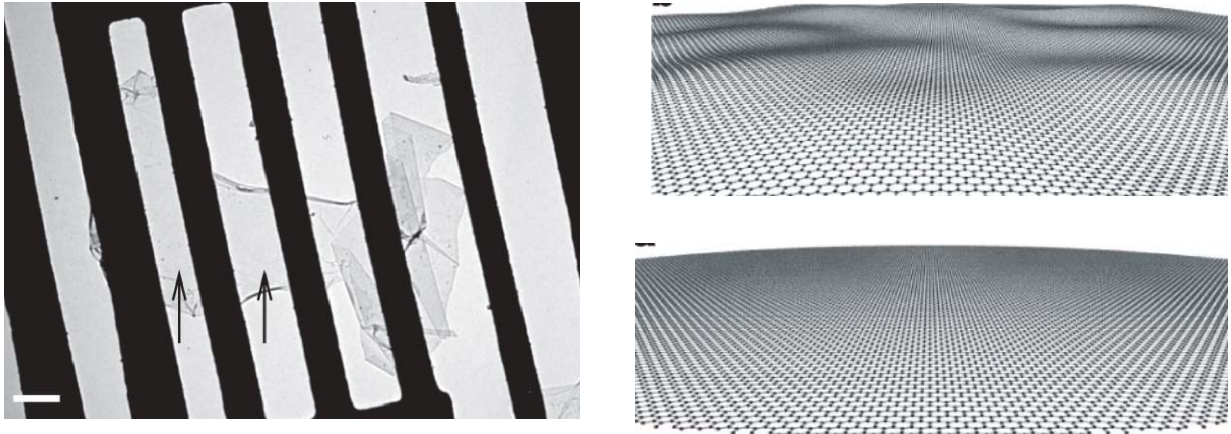
Hela vårt datoriserade samhälle beror av framgångsrik utveckling av halvledarmaterial. Halvledarmaterialet kisel är i dag det klart dominerande för produktion av integrerade kretsar. Fortsatta utvecklingsmöjligheter inom området existerar med utmaningar för såväl bipolär som CMOS-teknologi. Moores lag, som förutsäger att mikroelektronikens prestanda fördubblas var 18:e månad men betingar ett konstant pris, har gällt under de senaste fyrtio åren och man tillverkar nu kretsar med linjebredder av några tiotals nanometer. Sverige har redan idag, i vid mening, en stark industriell ställning inom mikroelektroniken och dess tillämpningar. Tekniskt drivs mikroelektronikutvecklingen mot en alltmer ökad integrationsgrad och en allt högre snabbhet. Krympande dimensioner har hittills varit den föredragna utvecklingsvägen. Man kan sålunda se en "linjär" utveckling från mikro- till nanoområdet inom elektronik. Vid dessa dimensioner kommer nya effekter, t ex sådana som bygger på kvantelektronik att spela roll. Kvantinformation och kvantdatorer är heta forskningsområden och kan förväntas ge upphov till

nya komponenter och kretsar, som idag är svåra att förutse. Området nanoelektronik bedöms som strategiskt viktigt och är av långsiktig karaktär. Här har Sverige en framskjuten position och svensk materialforskning ligger rätt till om man ser till post-CMOS teknologier. Inom sjunde ramprogrammet har just nanostrukturer och nanovetenskap i stort en framträdande roll inom bland annat det så kallade NMP-området.

Det finns internationellt ett växande intresse inom elektronikområdet att övergå från en dominerande tillverkning baserad på tvådimensionell strukturering av material till en klart tredimensionell strukturering av material. Ett sådant tekniskifte medger dessutom en strukturering i såväl lateral- som vertikalplanen och därmed möjliggörs skapandet av hierarkiska strukturer, det vill säga strukturer med lateralt och/eller vertikalt väldefinierade och anordnade funktionaliteter. Sådan hierarkisk integrering kan komma att få omfattande betydelse inom ett flertal viktiga tillämpningsområden inom bland annat sensorik-området. Med hjälp av sådan teknologi skulle material och sensorer kunna tillverkas som uppvisar en stor selektivitet för analytisk användning inom bland annat medicin, livsvetenskaperna och inom "home-land" security sektorn. I detta perspektiv skulle det också kunna finnas möjligheter för Sverige att etablera en internationellt betydande tillverkningsindustri eftersom vi har en stor samlad kompetens inom landet inom flera av dessa områden och en väl utvecklad tvärvetenskaplig dialog.

I Sverige är det ekonomiska stödet till nanoområdet relativt stort och starkt forskningsorienterat där SSF är den dominerande forskningsfinansiären. Nanostrukturer kan användas för tillämpningar inom många olika teknikområden, till exempel inom halvledarelektronik (en-elektron komponenter), supraledare (högT_c och konventionella), fullerener (till exempel nanorör och nanotrådar), nanopartiklar (till exempel för ytbeläggning med solgel-teknik), kluster (till exempel i katalysmaterial), artificiellt lagrade strukturer (nanoskala i endast en dimension). På senare tid har materialvetare visat ett stort intresse för det tvådimensionella materialet grafén. Orsaken till detta är att materialet uppvisar en mängd intressanta elektroniska egenskaper, såsom ambipolär laddningstransport, relativt hög mobilitet, ballistisk transport i submikronstrukturer samt kvanthall effekt vid rumstemperatur. Dessa egenskaper skulle kunna utnyttjas tekniskt i många tillämpningar såsom sensorer. Mycket intressanta moderna material ur tillämpningssynpunkt är nanorör och/eller nanotrådar som kan uppträda som ledare, isolator och halvledare med kvantiserade elektrontillstånd. Platta bildskärmar med nanorör som elektronkällor kommer snart ut på marknaden. Nanorör kan också användas som bärare av katalysatorer, till exempel för att driva bärbara datorer med metanol, eller för att förbinda chips. Nanotrådar baserade på epitaxiell teknik bedöms ha en stor framtidspotential som lysdioder och solceller och för användning inom medicinska tillämpningar som sensorer eller som aktiva material. Intressanta tillämpningar kommer säkerligen baserade på dessa material. Vidare har området molekylär elektronik på senare tid mognat betydligt med många intressanta tillämpningar såsom organiska högpresterande bildskärmar och böjbar elektronik i olika former. Alldeles speciellt intressant är att det existerar tillverkningstekniker för dessa molekylära material som gör dem synnerligen kompetitiva. Dessa typer av material kan också enkelt inkorporeras i tekniska textilier (se även tidigare avsnitt om tekniska textilier).

Karakteristiskt för många av dessa områden är att ett tvärvetenskapligt angreppssätt är nödvändigt, där ingenjörsvetenskap kombineras med grundläggande forskning inom t ex kemi, fysik, bioteknik, etc. och med en kombination av experimentell och teoretisk inriktning. Materialanalys och alldeles speciellt utveckling av metoder för lokal materialanalys är betydelsefull för optimering av material och bör därför ingå som ett naturligt element inom de föreslagna områdena.



Figur.6 Bilder föreställande grafén. I bilden till vänster syns grafénbladen som diffusa grå fält, dessa är markerade med pilar. De högra bilderna visar schematiskt hur grafén är uppbyggt.

Exempel på viktiga delområden av strategisk betydelse:

- *Utveckling av materialteknik för sensorteknik:* Nyttiggörandet av materialtekniken står i centrum, det vill säga tillämpningar av stort intresse skall realiserats eller adresseras av programmet.
- *Nya material och kombinationer därav för tillämpningar inom optoelektronik:* Exempelvis lysdioder för allmän belysning samt optimala ljusfångande komponenter.
- *Kvantinformatik, kvantdatorer, kvantoptik:* Nya komponentstrukturer vars egenskaper domineras av kvantfysikaliska effekter.
- *Nya byggsätt för nanoelektroniska komponenter:* En övergång från tvådimensionell strukturering till ett tredimensionellt byggsätt, Dyliga byggsätt möjliggör skapandet av hierarkiska funktionella strukturer och nya arkitekturer.
- *Utbildning på nanoområdet:* Kompetensen att framställa nya nanostrukturer, karakterisera dessa, studera deras elektroniska egenskaper, simulera, optimera och verifiera strukturernas funktion och optimera dessa med avseende på deras användning som komponenter inom elektronik, fotonik och sensorik måste bevaras och utvecklas för att säkerställa att Sverige kommer att vara en fortsatt betydande aktör inom såväl dessa sektoriella områden som inom ett flertal tillämpningsområden.

- *Materialanalys*: Speciellt utveckling av metoder för lokal materialanalys är betydelsefull för optimering av material och bör därför ingå som ett naturligt element inom de föreslagna områdena.

De två följande programmen föreslås att de sätts igång senare efter diskussioner med STEM och MISTRA och ProViking om eventuell samfinansiering.

Energirelaterade material

Ett ämne som verkligen gjort intryck på gemene man den senaste tiden är världens energikonsumtion och dess inverkan på miljön. Jordens utarmning, global uppvärmning och dess konsekvenser för kommande generationer berör alla i både ett kort och längre perspektiv. Nya EU-direktiv om sänkning av CO₂-utsläpp med 30 % fram till 2012 är ett nödvändigt steg i rätt riktning, men innebär avsevärda utmaningar. Utmaningarna gäller alla områden och berör industriell, offentlig såväl som privat energianvändning.

Det finns ett antal insatser som kan hjälpa oss att nå en minskad energikonsumtion och en minskning av CO₂-utsläppen. Effektivitetshöjning i redan befintliga processer (det vill säga minskning av energiförluster) och att ta tillvara ”spillenergi”, till exempel bromsenergi från fordon och överskottsvärme inom processindustrin är två uppenbara åtgärder för att sänka vår energikonsumtion. Optimering av befintliga processer är ett nödvändigt men otillräckligt steg med avseende på befintlig energianvändning. Nya angreppssätt, som innefattar både politiska såväl som tekniska förändringar krävs för en hållbar miljömässig utveckling. Nya material förväntas ha en avgörande betydelse för den nödvändiga tekniska utvecklingen. Vägen mot minskade CO₂-utsläpp kan även innebära ett ökat utnyttjande av underutnyttjade energiformer (till exempel våg, vind och solenergi) och att använda nya sätt för effektivare energiomvandling (till exempel bränsleceller och spänningsovandlare).

Materialoptimering för dessa tillämpningar ställs nu i helt nytt fokus, och baseras på en mer global optimering för utnyttjandet av befintliga resurser. Materialen måste ha egenskaper som tillåter hög verkningsgrad, storskalig framställning och utgöras av vanliga grundämnen. Mestadels är energiomvandling kopplad till en värmeavgivningsprocess och kylning är ett krav för att kunna garantera en hållbar produkt. Utvecklingen går dock mot att driva allt fler komponenter i ett brett temperaturintervall för att minska kylbehovet. Användning vid höga temperaturer ställer stora krav på materialegenskaper som återspeglas direkt i livslängd och funktionalitet.

Materialutveckling är av största betydelse för såväl produktion som transmission och konsumtion av energi. Utveckling av både polymerer och oorganiska material för elektronik har bäring inom områdena ny energiproduktion (solceller, bränsleceller, katalysatorer), energismarta material för optimerad drift (solceller, smarta fönster med mera) och underhåll av byggnader (sensorer som signalerar underhållsbehov) samt för

material med bättre elektriska, termiska och isolerande egenskaper och för batterimaterial.

Ett materialforskningsområde som fått mer och mer uppmärksamhet i debatten kring den globala uppvärmningen är material med fotosyntetisk funktion och som kan härma naturens sätt att producera energi. Inom detta område finns många potentiella lösningar för CO₂-reduktion i både luften och haven; vi har nog bara sett början av ett hett forskningsområde som bör stödjas av forskningsfinansiärerna.

Forskning kring dessa frågor bedrivs i stort sett på alla universitet och högskolor i landet, och finansieras av olika källor. STEM är en stor finansiär och driver ett antal tillämpade forsknings- och utvecklingsprojekt. De flesta av dessa projekt är starkt inriktade mot tillämpad forskning kring energisystem, även om viss grundläggande materialforskning också stöds av myndigheten. Grundläggande materialforskning med relevans för energiområdet behöver därför förstärkas för att motsvara de behov som föreligger.

De grundläggande behoven för ny kunskap (grundforskning) finns inom områdena energilagring och energiomvandling. Exempel på relevanta underliggande processer är:

- Mekaniskt/kemiskt lagrad energi \Leftrightarrow elektricitet (till exempel batterier)
- Värme \Leftrightarrow elektricitet (till exempel termoelektriska material)
- Elektromagnetisk strålning \Leftrightarrow elektricitet (till exempel solceller)

Som exempel kan nämnas utvecklingen av elektro-, magnetiska-, termo- och fotokemiska material, vilka kan ha stor betydelse för att minska CO₂-utsläpp, minska kylbehov och finna mindre och mer integrerade komponenter. Inom dessa materialområden har vi i Sverige en stark bas som i vissa fall är världsledande.

Likt många materialområden finns ett antal egenskaper som har stor relevans för endera energilagring eller energiomvandling. Det är materials termiska, magnetiska, magnetokaloriska och jonledande egenskaper. Vidare gäller det att hitta material som har en ekonomiskt hållbar livslängd; vilket innebär studier av till exempel ytenskaper, korrosion och mekaniska och kemiska egenskaper under extrema förhållanden (temperatur, tryck och kemisk omgivning).

Industriella aspekter är inte ett mått på grundforskningens kvalitet. Däremot är de viktiga för industriell implementering av ny kunskap och därför av stor betydelse i ett nationalekonomiskt perspektiv. I detta perspektiv är även framställning och processer, uppskalingsparametrar och livscykelanalys viktiga parametrar.

Nya material med nya egenskaper förväntas ha större betydelse än förbättringar av redan existerande material. Nya syntesvägar med avseende på ordning (till exempel amorfa) förväntas vara av stor betydelse såväl som systematiskt utnyttjande av gränssytelektronstillstånd (nanokompositer, multilager och supergitter). Insatser av mer explorativ karaktär behöver därför stödjas även om utvärdering av insatserna görs med ett

nationalekonomiskt perspektiv. Det långsiktiga utfallet torde vara bättre med fokusering på nya vägar och processer.

Behovet av insatser inom den grundläggande materialforskningen är av stor betydelse för hållbar utveckling. Insatser från SSF kan därför spela en avgörande roll för utvecklingen av framtidens energimaterial.

Exempel på forskningsområden för energirelaterade material är till exempel:

- *Batterier/Superkondensatorer:* I framtidens fordon och elektroniska apparater kommer kraven på väl fungerande batterier och superkondensatorer vara höga.
- *Bränsleceller och vätgaslagring:* För alternativa och effektivare energiomvandlingar.
- *Solceller och material för artificiell fotosyntes:* Öka effektiviteten i förhållande till kostnaden
- *Termoelektriska material:* Med hjälp av dylika material kan värme alstrad ur diverse elektroniska och mekaniska processer utnyttjas.
- *Katalysatorer* – Genom utnyttjande av alternativa reaktionsvägar kan utsläpp minska och energieffektiviteten öka.

Process och Produktion

I Sverige är vi traditionellt mycket bra inom forskning och utveckling av nya material. Historiskt har denna forskning varit starkt kopplad till svensk metall-, verkstads och skogsindustri. Detta har gjort att strategiskt viktiga forskningsresultat snabbt kunnat omsättas i industriella processer där vi haft ett likaledes världsledande produktionskunnande. Sedan 50-talet har utvecklingen av nya material för helt nya applikationer ökat kraftigt internationellt, ofta inom områden där vi saknar tradition och kunnande inom process- och produktionsteknik. Samtidigt har det varit mycket tydligt att det är de länder som bäst kan omsätta forskningsresultaten till den lägsta produktionskostnaden som långsiktig överlever industriellt. I Sverige har forskningsfinansiärerna prioriterat de nya områdena men sällan kopplat satsningar på forskning och utveckling av nya material till motsvarande utveckling inom process och produktionsteknik, vilket fått till följd att vi är starka vetenskapligt men i stor utsträckning tappar initiativet till andra länder när flera nya material ska industrialiseras.

Vi föreslår därför att en strategisk satsning på forskning och utveckling av nya material också kopplas till kompletterande satsningar på process- och produktionsteknik och att satsningarna på process och produktionsteknik görs tillsammans med ProViking.

Satsningar på process- och produktionsteknik är särskilt viktiga för utveckling av nano- och biomaterial (till exempel processer vid fysiologiska temperaturer) eftersom dessa inte nödvändigtvis kan tillverkas med redan existerande teknik. Med detta tillägg ges också SSF:s satsningar på materialforskning en strategisk skillnad jämfört med satsningar hos andra svenska forskningsfinansiärer.

-
- ¹ Vägval för Sverige – Syntesrapport från Teknisk Framsyn (Teknisk Framsyn, 2004)
- ² Inspiration till innovation - Teknik och kunskapsområden mot 2020 (Teknisk Framsyn, 2004)
- ³ Nanosciences, nanotechnologies, materials and new production technologies – NMP, European Commission C(2007)560
- ⁴ Energy, European Commission C(2006) 6839
- ⁵ <http://www.nsf.gov> , 2007-09-19
- ⁶ Investing in America's future – Strategic plan, NSF (2006) FY 2006-2011
- ⁷ <http://www.nano.gov/> , 2007-09-19
- ⁸ <http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/info/centers.jsp> , 2007-09-19
- ⁹ <http://www.mext.go.jp/english/news/2006/09/06090515.htm> , 2007-09-19
- ¹⁰ <http://www.meti.go.jp/english/aboutmeti/data/a234001e.html> , 2007-09-19
- ¹¹ <http://www.jst.go.jp/EN/menu1/index.html> , 2007-09-19
- ¹² http://www.sweden.gov.se/sb/d/5677/a/45830;jsessionid=aISs7W_pB0v9 , 2007-06-06
- ¹³ <http://www.sweden.gov.se/sb/d/5677/a/45832> , 2007-06-06
- ¹⁴ http://www.teknikforetagen.se/templates/page_24.aspx , 2007-06-06
- ¹⁵ <http://www.skogsindustrierna.org> , 2007-06-06
- ¹⁶ <http://tradeprofiles.swedishtrade.se/default.asp?id=2> , 2007-06-06
- ¹⁷ <http://www.scb.se/> , 2007-06-06
- ¹⁸ Hur mycket citeras svenska publikationer? – Bibliometrisk översikt över sveriges vetenskapliga publicering mellan 1982 och 2004, Vetenskapsrådet (2006) 13:2006
- ¹⁹ Evaluation of the swedish condensed matter physics, Vetenskapsrådet (2005) 12:2005
- ²⁰ Mid-term report for materials programmes, 20th - 21st of January 2003, SSF, 2003