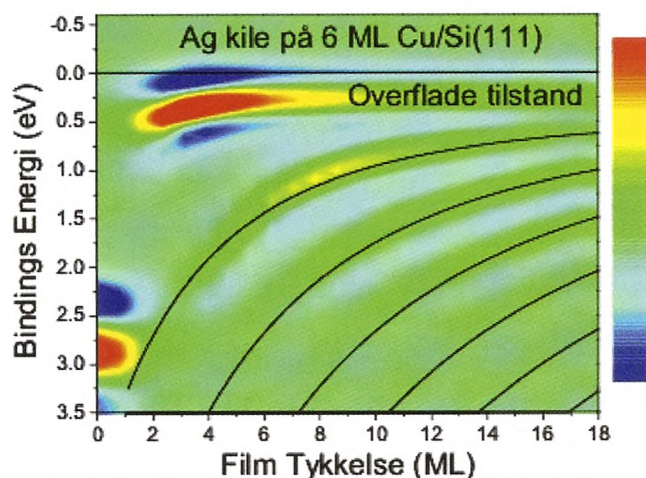


# Nano-Optik

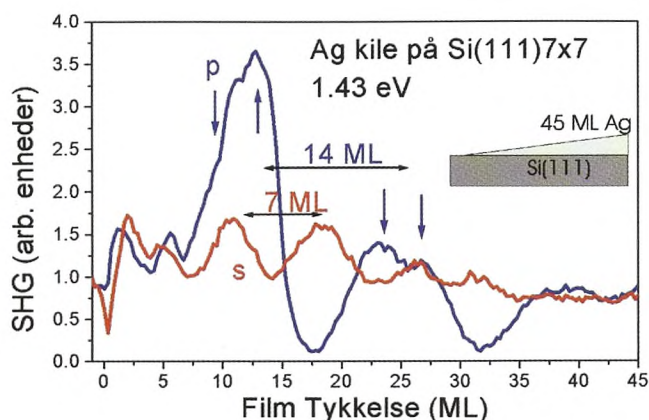
Kjeld Pedersen, Sergey I. Bozhevolnyi og Thomas Garm Pedersen,  
Institut for Fysik og Nanoteknologi, Aalborg Universitet.

Selv om bølgelængden for synligt lys ligger ved den øvre ende af den størrelsesskala, som normalt regnes for nano-området, giver nanoskala-geometriske strukturer anledning til en række interessante nye optiske effekter. Elektroniske overgange ligger typisk i det optiske område og forskellige former for optisk spektroskopi kan derfor bidrage til undersøgelser af størrelseeffekter i nanostrukturers elektroniske egenskaber. Som et eksempel behandles her ulineære optiske egenskaber af metalliske kvantebrønde. Endvidere giver lysspredning fra nanostrukturer anledning til nanoskala-varianter i optiske felter. Det fører til fascinerende fænomener så som feltlokalisering og meget kraftig feltforstærkning med en række nye teknologiske anvendelsesmuligheder til følge. Vi behandler her plasmoner i nanostrukturer, som kan danne grundlaget for ultrakompakte multifunktionelle fotoniske integrerede kredse med et bredt felt af anvendelser fra bio- til informationsteknologi.

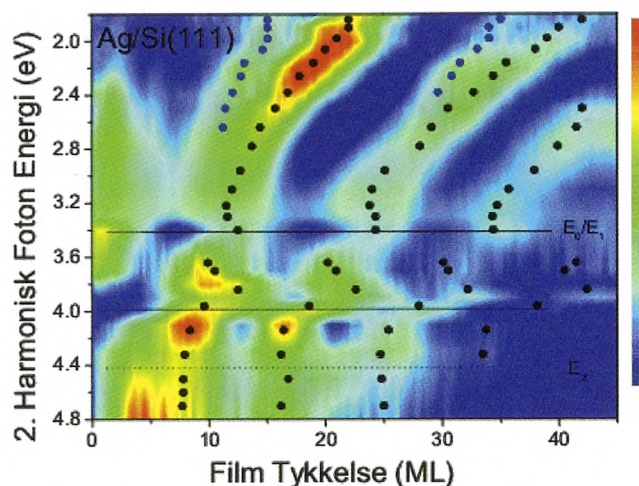


**Figur 1.** Konturplot af valensbåndsspektre optaget som funktion af tykkelsen af en kileformet Ag film deponeret på 6 lag Cu, som igen er deponeret på en ren Si(111) 7×7 overflade. Kurverne repræsenterer kvanteniveaurnes placering beregnet med en resonator model (se teksten).

I undersøgelserne indgår to optiske teknikker, som sætter os i stand til at karakterisere strukturer med bedre opløsning end det, der opnås med traditionel optisk spektroskopi. Den første teknik er anden harmonisk generation (SHG), en anden-ordens ulineær optisk proces, som ikke kan foregå i systemer med centrosymmetri. Kubiske materialer som Si, Ge og metaller giver derfor ikke anledning til bulk bidrag til SHG. For strukturer byggende på sådanne materialer er SHG derfor en yderst følsom teknik til karakterisering af



**Figur 2.** SHG som funktion af tykkelsen af en sølv film på Si(111) 7×7 optaget med to forskellige polarisationsretninger.



**Figur 3.** Konturplot af SHG som funktion af tykkelsen af en sølv film optaget ved forskellige fotonenergier. Symbolerne viser positionen af maksima i de direkte måledata (se figur 2).

overflader, grænseflader og inhomogene systemer, ofte med en følsomhed ned til enkelte atomare lag [1]. Da lys samtidig har en stor vekselvirkningsdybde (sammenlignet med lavenergetiske elektroner typisk anvendt i overfladespektroskopi) er det muligt at probe begravede grænseflader. SHG er derfor en interessant teknik i forbindelse med nanostrukturer, hvor overflader og grænseflader dominerer egenskaberne. Den anden teknik er scanning nærfelts-optisk mikroskopi (SNOM), hvor et billede opbygges ved at skanne en skarp fiberspids langs overfladen [2]. Ved anvendelse af denne teknik kan optiske felter dannet af og bundet til nanostrukturer aftastes med en opløsning, som ikke

er begrænset af lysets bølgelængde. Faktisk er SNOM den eneste teknik, som gør det muligt at kortlægge lysudbredelse i plasmon-baserede nanokredsløb.

### Ulineær optik på metalliske kvantebrønde

Metalfilm med tykkelser fra et enkelt lag atomer og op til 100 lag udviser elektroniske egenskaber, som gradvis nærmer sig velkendte bulk egenskaber. Hvis filmen har en veldefineret tykkelse inden for det område, som probes, vil den virke som en kvantebrønd med diskrete værdier for elektronernes energier. En første tilnærmelse, som gengiver hovedtrækkene i disse energiniveaurs afhængighed af filmens tykkelse, fås ved en simpel potentialbrønd, som den kendes fra standard kvantemekanikbøger. Eksperimentelt er disse kvantefænomener observeret i en række egenskaber (ledningsevne, elektron-tunnelering, mm.), men de mest overbevisende resultater er opnået ved hjælp af vinkelopløst fotoemission, hvor toppe i valensbåndspektre direkte viser kvantiseringen [3]. Derfor er valensbåndsspektroskopi i dette arbejde anvendt til at udvikle teknikken til deponering af tynde film med henblik på at opnå bedst mulig kvantisering. Figur 1 viser konturplot af valensbåndspektre optaget som funktion af tykkelsen af en kileformet Ag film deponeret på 6 lag Cu, som igen er deponeret på en ren Si(111) 7×7 overflade [4]. Det tynde Cu lag danner en reageret fase, som mindsker strain i lagene og dermed giver en bedre krystalstruktur af Ag laget. Det fører til den velkendte Shockley overflade tilstand ca. 0,3 eV under Fermi-niveauet. Uden det tynde Cu mellemlag er overfladetilstanden skiftet over Fermi-niveauet og kan dermed ikke observeres i fotoemission. Under overfladetilstanden ses kvanteniveauerne, som konvergerer mod Ag(111) båndkanten for voksende film tykkelse. Kurverne er opnået via Bohr-Sommerfelt kvantiseringsbetingelsen:

$$2k(E)d + \Phi(E) = 2n\pi, \quad (1)$$

hvor  $E$  er energien,  $k$  er størrelsen af bølgevektoren vinkelret på overfladen,  $d$  er filmens tykkelse,  $\Phi$  er fase-skiftet ved refleksion ved filmens to grænseflader og  $n$  er et helt tal. Det høje signal omkring 3 eV for substratet skyldes Cu's d-bånd.

Tynde film er interessante objekter for SHG, idet de to forskellige grænseflader forventes at dominere den ulineære optiske proces. En af udfordringerne er derfor at adskille de to grænsefladebidrag og uddrage information om den begravede grænseflade. Samtidig er det interessant at undersøge kvantiserede tilstande med optiske metoder, da energiforskellene mellem tilstandene (se figur 1) netop passer til optiske excitationer. For metalfilm er der ingen observationer af kvanteeffekter med lineær optik på grund af det store Drude-bidrag til de lineære egenskaber. SHG derimod viser klare kvanteeffekter i form af oscillationer i signalet som funktion af filmens tykkelse som vist på figur 2. De to kurver på

figur 2 repræsenterer den ulineære polarisation vinkelret (p-polariseret) og parallel (s-polariseret) med overfladen. Oscillationerne kan kvalitativt forstås på baggrund af en simpel kvantebrønd, hvor energiniveauerne bevæger sig nedad, og afstanden mellem dem mindskes, når brøndens tykkelse vokser [5,6]. For fastholdt fotonenergi går systemet derfor ind og ud af resonans, når filmens tykkelse varieres. På baggrund af den samme simple overvejelse forventes det, at perioden i oscillationerne vil være længere for lav fotonenergi end for høj energi, hvilket også klart observeres (figur 3). Det er dog vigtigt at gøre sig klart, at den simple symmetriske kvantebrønd har centrosymmetri og derfor ikke giver anledning til SHG. Metalfilmene er imidlertid ikke symmetriske, og den simpleste version af en kvantebrønd kan kun benyttes til kvalitative overvejelser.

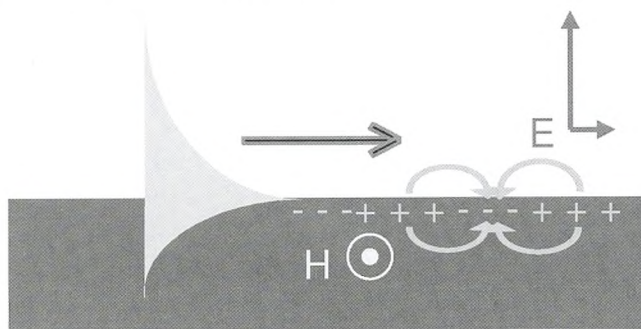
Oscillationerne i SHG som funktion af filmens tykkelse indeholder imidlertid detaljer, som afspejler de to grænsefladers bidrag til signalet. Periodelængden ved 1,4 eV for s-polariseret SHG er 7 ML mens den er det dobbelte for p-polariseret lys, dog med en tendens til to toppe i hver periode. Periodedoblingen kan kvalitativt forstås på følgende måde [7]: Antag at det ulineære felt genereret ved hver af de to grænseflader oscillerer med den grundlæggende periode (7 ML ved 1,4 eV) på grund af kvanteniveaurnes skift med tykkelsen. Bølgfunktionerne hørende til niveauerne er imidlertid skiftevis symmetriske og antisymmetriske, i det mindste for en symmetrisk kvantebrønd. Da SHG, i modsætning til lineær optik, er stærkt afhængig af bølgfunktionernes symmetri er det klart, at en periode i SHG må indeholde både en lige og en ulige funktion. Interferensen mellem bidragene fra de to grænseflader vil være destruktiv for den ene symmetri og konstruktiv for den anden. Dermed bliver perioden den dobbelte af perioden for feltvariationen ved den enkelte grænseflade. Generelt vil interferensen mellem de to grænsefladebidrag afspejle deres relative størrelser og faser. Når det s-polariserede signal i figur 2 ikke udviser interferenseffekter skyldes det, at signalet fra Si/metal grænsefladen er væsentlig større end overfladesignalet.

Figur 3 viser resultaterne af en række scan af p-polariseret SHG som funktion af tykkelsen af en kileformet Ag film på en Si overflade. Resultaterne er vist som konturplot, hvor data mellem målepunkter er interpoleret med henblik på at opnå en billede-lignende fremstilling. Symbolerne på figuren viser positionen af maksima i de direkte måledata. Repræsentationen med fotonenergien for resonancer (maksima i SHG) som funktion af tykkelsen er valgt fordi den svarer til den normale repræsentation af fotoemissionsdata. Det skal dog nævnes, at mens figur 1 direkte viser positionen af besatte kvantetilstande som funktion af tykkelsen afhænger energien for resonans i SHG både af den besatte begyndelsestilstand og den ubesatte sluttilstand. En direkte sammenligning af dispersionen af tilstande mellem de to teknikker er derfor kun mulig hvis posi-

tionen af et af niveauerne er uafhængig af tykkelsen.

For lave fotonenergier bliver perioden i SHG oscillationerne mindre med voksende fotonenergi som forventet for excitationer i en simpel kvantebrønd. Når energien nærmer sig 3,4 eV sker der en markant ændring i dispersionen af resonanserne. Denne energi falder sammen med det direkte båndgab i Si ( $E_0/E_1$  kritisk punkt), hvor der opstår en resonans på Si/metal grænsefladen (husk at bulk Si ikke giver anledning til SHG). Resonanser ved denne energi kendes også fra den frie Si overflade og fra Si/oxid grænseflader. Et skift i resonanser observeres igen omkring 4,0 eV. I dette tilfælde falder energien ikke sammen med et kritisk punkt i bulk Si båndstrukturen, idet den næste overgang ( $E_2$  kritisk punkt) her ligger ved 4,2 eV. SHG målingerne viser altså, at der ligger en resonans på Si/metal grænsefladen ved energier mellem resonanser forventet ud fra bulk strukturen.

Der er visse lighedspunkter mellem fotoemission og SHG med hensyn til den måde, begravede grænseflader kan undersøges på. Selv om de detekterede elektroner i fotoemission kommer fra de yderste par atomlag ved den frie overflade, afspejler dispersionen af kvantetilstandene elektronernes refleksion ved den begravede grænseflade. Fasen af grænsefladens refleksion af elektroner ændres f.eks. skarpt ved en båndkant for det underliggende materiale [3]. Den begravede grænseflade kan altså probes gennem de stående bølger i filmen. Ved SHG afspejler det tilsvarende energi-tykkelses-diagram de faseskift, som resonanser på den begravede grænseflade giver anledning til. Det sker gennem interferens mellem felterne fra grænsefladen og den frie overflade. SHG giver dermed oplysninger om optiske overgange lokaliseret til den begravede grænseflade.

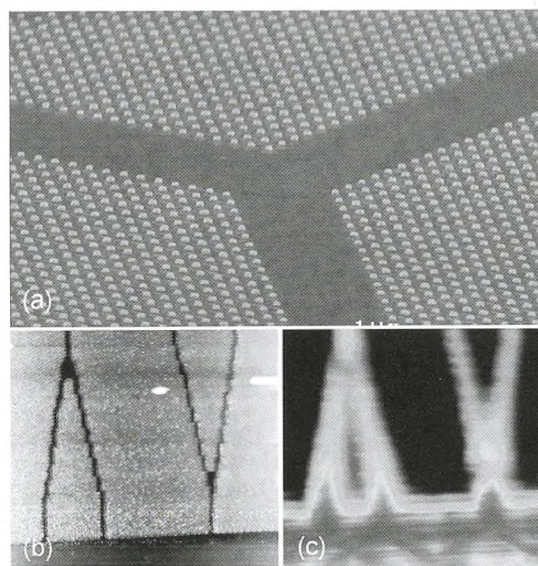


**Figur 4.** Skematisk repræsentation af plasmonfeltets fordeling nær en metal-dielektrikum grænseflade med orienteringen af det tilhørende elektriske og magnetiske felt samt elektronernes bevægelse nær overfladen.

## Plasmoner

Overflade plasmon polaritoner (i det følgende blot plasmoner) er lysbølger koblet til oscillationer af frie elektroner i en leder, normalt et metal, hvor lyset udbreder sig langs en grænseflade mellem et metal og et dielektrisk materiale [8]. Plasmonerne er tæt bundet til metaloverfladen, hvor de har deres maksimale

styrke, og aftager eksponentielt ind i begge nabomedier (se figur 4). Typiske indtrængningsdybder er  $\sim 30$  nm i metallet og 500 nm i luft, hvilket gør plasmonudbredelsen yderst følsom over for overfladeegenskaber og f.eks. tilstedeværelsen af nanopartikler på overfladen. Disse, ofte også metalliske, partikler spredte effektivt den indsendte plasmon over i divergerende plasmoner, hvorved det er muligt at manipulere plasmonfelter i overfladens plan [9]. Eksempelvis kan nanopartikler arrangeret i en ret linje virke som et effektivt mikrospejl for plasmonbølger, mens partikler placeret i en krum facon kan fokusere, reflektere dem og skabe et kraftigt lokaliseret elektromagnetisk felt på en givet valgt position på overfladen. Fra et faststoffysisk synspunkt er nanopartiklernes indflydelse på plasmonfeltets udbredelse analog til ioners perturbierende indflydelse på elektroner (todimensionale) bevægelse. Et periodisk gitter af nanopartikler vil altså sprede plasmoner på samme måde som det periodiske gitterpotentiale i krystaller spreder elektroner og danner energibånd adskilt af forbudte båndgab. Vi har foreslået at anvende disse forbudte udbredelsesområder (for bestemte bølglængdeintervaller) i periodisk strukturerede metaloverflader til at lokalisere og guide plasmoner i kanaler uden struktur inde i dette periodiske mønster [10]. Idéen har været at realisere nano-plasmon kredsløb analoge til mere velkendte fotoniske kredse baseret på fotoniske båndgabseffekter i dielektriske materialer med periodisk modulation af brydningsindekset [11].



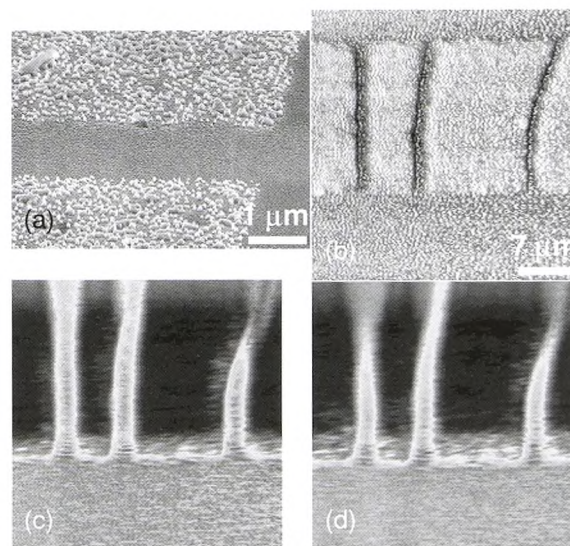
**Figur 5.** Demonstration af to plasmon båndgabsbaserede mikropotiske komponenter: en "combiner" og en "Y-splitter". (a) Scanning electron mikroskop billede af en typisk "Y-splitter" udført i et 410 nm periodisk triangulært gitter bestående af 200 nm brede og 45 nm høje guld partikler på en 45 nm tyk guld film. Pseudofarveskala (b) topografisk og (c) optisk nærfelts billeder ( $30 \times 30 \mu\text{m}^2$ ) optaget med en bølglængde på 737 nm for en  $20^\circ$  "combiner" og "Y-splitteren" vist i (a).

I de første demonstrationer af nano-plasmon kredse baseret på båndgabseffekten anvendtes nærinfrarødt lys (700–800 nm) på guldfilm dækket med et 400 nm periodisk hexagonalt gitter af 200 nm brede og 50 nm høje guldpartikler fremstillet med elektronstrålelithografi. Ved hjælp af SNOM blev intensiteten af plasmoner langs overfladen og deres udbredelse i kanaler i dette gitter af defekter undersøgt. Vi har direkte observeret stærk refleksion af den indsendte plasmon med en bølgelængde på 780 nm i periodiske strukturer samtidig med dæmpning (til under 10 % af middelniveauet) inde i de periodiske strukturer for de to hovedorienteringer af gitteret. Den stærke bølgelængdeafhængighed af både refleksionen og dæmpningen i strukturen er et utvetydigt bevis på båndgabseffekter i disse strukturer. Uhindret udbredelse af plasmon linje-defekt modes i båndgabsstrukturer er også observeret for relativt store ( $> 2 \mu\text{m}$ ) defekter. I efterfølgende eksperimenter har vi undersøgt tabene for plasmonmodes med en bølgelængde på 740 nm ved bøjninger af  $2 \mu\text{m}$  brede kanaler i en struktur med 410 nm periode. Tabene ved en dobbelt bøjning på  $15^\circ$  er under 2 dB og stiger tilnærmelsesvis kvadratisk med bøjningsvinklen. Endelig har vi demonstreret mulighederne for at dele eller samle to modes over en afstand på  $20 \mu\text{m}$  (figur 5), hvilket åbner muligheder for at opnå høj integration i plasmon baserede fotoniske båndgabskredse. Der er helt klart vide muligheder for, at fremtidige undersøgelser og optimeringer af strukturelle parametre kan føre til betydelige forbedringer i forhold til de effekter, der er observeret her, og dermed anvendelsesmuligheder af plasmon baserede båndgabsstrukturer på linje med de, der er foreslået for konventionelle båndgabsstrukturer [11].

Anderson lokalisering af elektroner i et tilfældigt potentiale kan også emuleres med plasmoner i en tilfældig fordeling af nanopartikler på overfladen af en metalfilm. De fælles træk ved Anderson lokalisering og båndgabsrelaterede fænomener, så som begrænsning af bølgeudbredelse, ledte os til at undersøge mulighederne for at anvende kanaler og kaviteter i strukturer af tilfældigt fordelte nanopartikler til samme formål som plasmon båndgabsstrukturerne beskrevet ovenfor [12]. Ideen med at benytte plasmoner (kvasi-todimensionale bølger) er især tiltrækkende da stærk lokalisering i to dimensioner optræder for alle grader af uorden. Da plasmon lokaliseringen ikke er direkte styret af strukturens geometriske karakteristik kunne man foreslå, at den kan opnås i et bredere bølgelængdeområde end for båndgabseffekten. Endvidere fremmer manglen på symmetri i tilfældige strukturer tilpasning af modes i kanaler med forskellige orienteringer og mindsker dermed også tab ved bøjninger.

De første demonstrationer af guiding og bøjning af bølger baseret på lokaliseringseffekter for plasmoner blev udført i bølgelængdeområdet 700–800 nm ved hjælp af en prøve med 70 nm høje guld bump (men en tæthed på  $75 \mu\text{m}^{-2}$ ) placeret tilfældigt på

en 55 nm tyk guld film. I denne struktur var der lavet  $2 \mu\text{m}$  brede retlinjede og bøjede ( $10^\circ$  og  $20^\circ$  bøjninger med en radius på  $15 \mu\text{m}$ ) kanaler uden spredere [13]. I bølgelængdeområdet 713–795 nm observeredes stærk plasmon-dæmpning med lokaliseringslængde varierende fra 2,2 til  $6 \mu\text{m}$  samt veldefineret guiding langs kanalerne med en intensitetsprofil med FWHM på  $1,7 \mu\text{m}$  (se figur 6). Det udgør en



**Figur 6.** Demonstration af plasmon guiding langs retlinjede og bøjede kanaler i strukturer med tilfældigt fordelte spredere baseret på stærk plasmon lokalisering. (a) Scanning electron mikroskop billede af en typisk kanal i et medium med tilfældigt fordelte spredere bestående af 100 nm brede og 70 nm høje guld partikler på en 55 nm tyk guld film. Pseudofarveskala (b) topografisk og (c,d) optisk nærfeltsbilleder ( $30 \times 30 \mu\text{m}^2$ ) optaget med en bølgelængde på (c) 713 nm og (d) 750 nm for  $2 \mu\text{m}$  brede kanaler som vist i (b).

signifikant forbedring af karakteristikkene for plasmon-guiding sammenlignet med det, der er opnået med båndgabsbaserede strukturer [10]. Endelig fandt vi, ved at sammenligne retlinjede og bøjede kanaler, et relativt lavt bøjningstab ( $< 1 \text{ dB}$ ) i bølgelængdeområdet 735–795 nm, hvilket bekræfter at guiding af plasmoner er relateret til multipel spredning i overfladens plan og dermed lokalisering af plasmonerne. Vi forventer at lokaliseringslængden kan reduceres yderligere ved at øge spredningstværsnittet af de individuelle spredere og/eller deres tæthed. Derved opnås en markant forbedring af de observerede effekter i komponenter som bøjninger, splittere, kaviteter mm.. Det skal bemærkes, at refleksion af lys fra tilfældigt fordelte spredere er et kompliceret fænomen, som indeholder diffus refleksion og kohærent tilbagespredning. Derfor kan bølgeledning i kanaler i disse medier udvise ikke trivielle dispersions-karakteristikker. Det kan føre til en række nye interessante effekter forbundet med guiding af elektromagnetiske bølger, som også kan lede til grundlæggende nye anvendelser.

Arbejdet med tynde film foregår i tæt samarbejde

med Per Morgen fra SDU, Odense. Arbejdet med nanoplasmon kredse udføres i tæt samarbejde med et antal Europæiske universiteter under et Network of Excellence i 6. rammeprogram med titlen "PLASMO-NANO-DEVICES"

#### Referencer:

- [1] K. H. Bennemann (red.) (1998) "Nonlinear Optics in Metals", Clarendon Press, Oxford.
- [2] D. Courjon (2003) "Near-Field Microscopy and Near-Field Optics", Imperial College Press, London.
- [3] T.-C. Chiang (2000) *Surface Science Reports*, bind 39, side 181.
- [4] K. Pedersen, T. B. Kristensen, T. G. Pedersen, T. Jensen, P. Morgen, Z. Li og S. V. Hoffman (2002) *Phys. Rev. B*, bind 66, side 153406.
- [5] T. G. Pedersen, K. Pedersen og T. B. Kristensen (2000) *Phys. Rev. B*, bind 61, side 10255.
- [6] K. Pedersen, T. B. Kristensen, T. G. Pedersen, T. Jensen, P. Morgen, Z. Li og S. V. Hoffman (2003) *Surf. Sci.*, bind 523, side 21.
- [7] A. Kirilyuk, Th. Rasing, R. Megy og P. Beauvillain (1996) *Phys. Rev. Lett.*, bind 77, side 4602.
- [8] H. Raether (1988) "Surface Plasmons", Springer-Verlag, Berlin.
- [9] S. I. Bozhevolnyi og F. A. Pudonin (1997) *Phys. Rev. Lett.*, bind 78, side 2823.
- [10] S. I. Bozhevolnyi, J. Erland, K. Leosson, P. M. W. Skovgaard og J. M. Hvam (2001) *Phys. Rev. Lett.*, bind 86, side 3008.
- [11] C. M. Soukoulis (red.) (2001) "Photonic Crystal and Light Localization in the 21<sup>st</sup> Century", Kluwer, Dordrecht.
- [12] S. I. Bozhevolnyi, V. S. Volkov og K. Leosson (2002) *Phys. Rev. Lett.*, bind 89, side 186801.

- [13] S. I. Bozhevolnyi, J. Beermann og V. Coello (2003) *Phys. Rev. Lett.*, bind 90, side 197403.



Kjeld Pedersen er institutleder ved Institut for Fysik og Nanoteknologi på Aalborg Universitet. Hans forskning har hovedvægt på lineære og ulineære optiske egenskaber af materialer og nanostrukturer, herunder specielt tynde metalliske og isolerende film på halvleder overflader. Han er endvidere en del af iNANO's ledelse.



Sergey I. Bozhevolnyi er professor ved Institut for Fysik og Nanoteknologi på Aalborg Universitet. Hans forskning har hovedvægt på nærfeltsoptik samt lineære og ulineære optiske egenskaber af nanostrukturer, herunder strukturer til fotonik, bl.a. baseret på overflade plasmoner. Han er medstifter af Micro Managed Photons (MMP) A/S, som har plasmon-baserede kredse som teknologisk platform.



Thomas Garm Pedersen er lektor ved Institut for Fysik og Nanoteknologi på Aalborg Universitet. Hans forskning fokuserer på modellering af lineære og ulineære optiske egenskaber af materialer og nanostrukturer. I samarbejde med Forskningscenter Risø arbejder han desuden på udvikling og beskrivelse af lyskilder baseret på organiske halvledere.

## Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse

### SNU og UNF fejrer 240 års fødselsdag

Selskabet for Naturlærens Udbredelse (SNU) har i år 180 års jubilæum og Ungdommens Naturvidenskabelige Foreninger (UNF) har 60 års jubilæum – så i alt er det en 240 års fødselsdag.

Dette har vi valgt at fejre med et fælles jubilæumsarrangement *lørdag den 14. august 2004*, på Experimentarium, Tuborg Havnevej 7, 2900 Hellerup, hvor vi gerne vil invitere gamle bestyrelsesmedlemmer, nuværende og tidligere medlemmer, sponsorer, samarbejdspartnere og venner af foreningen m.fl.

Før selve jubilæumsarrangementet afholdes der Ungdomsmesterskab i NaturvidenskabsFormidling. I konkurrencen deltager flere af de showhold, der findes rundt om i landet med tilknytning til universiteterne. Holdene har med deres stand-up-kemi/fysik-shows i flere år turneret på skoler og gymnasier og her på en alternativ måde reklameret for naturvidenskaben. Arrangementet er åbent for alle, så hvis man ønsker at deltage, er man velkommen til møde op på Lille Scene.

Se mere på [www.unf.dk/jubilaum](http://www.unf.dk/jubilaum).

Det egentlige jubilæumsarrangement med jubilæumstaler, overrækkelse af H. C. Ørsted medaljen i bronze og uddeling af en førstepræmie i Ungdomsmesterskabet i NaturvidenskabsFormidling starter kl. 15.00 på Store Scene og efterfølges af en reception kl. ca. 16.30 til 17.30 i Selskabslokale 2.

UNF og SNU håber det bliver en festlig dag med et stort fremmøde. Såfremt det er muligt, vil vi af hensyn til det praktiske arrangement gerne have tilmelding på [jubilaum@unf.dk](mailto:jubilaum@unf.dk).

### Efterårets program

Efterårets program har temaet "Hvor danskere er brudt igennem" og forventes at indeholde en række foredrag om store gennembrud lavet af danske forskere – Brahe, Steno, Rømer og Bohr.

Det detaljerede program vil være tilgængeligt på SNU's nye flotte hjemmeside, [naturvidenskab.net](http://naturvidenskab.net), som vil blive lanceret lige før jubilæet.