

Modellering af plasmoniske nanostrukturer: Samspil mellem individuelle elementer og metamaterialer

Af Anders Lambertus Pors

Populærvideenskabeligt resumé

Nanooptik er studiet af lysets opførsel på nanometerskala, hvori et af emnerne handler om interaktionen mellem lys og metalliske overflader samt nanostrukturer. Dette forskningsfelt er også kendt som plasmonik (engelsk: plasmonics), og det er et emne, som er blevet fulgt med stigende interesse de sidste 20 år, hvilket skyldes nye og uanede muligheder for kontrol af lyset på sub-bølgelængdeskala, der udmunder sig i en bred vifte af nye anvendelsesmuligheder. Denne sub-bølgelængde kontrol af lyset skyldes koblingen af lyset til svingninger af metallets frie elektroner (overflade plasmon), hvilket resulterer i elektromagnetiske tilstande, der er bundet til metaloverfladen. Sådanne tilstande er kendt som overflade plasmon polaritoner [engelsk: surface plasmon polaritons (SPPs)], og de eksisterer som propagerende SPPs på metaloverflader og som lokaliserede SPPs på metalnanostrukturer. Propagerende SPPs har den unikke egenskab, at de kan guides langs metaloverfladen, hvorved plasmoniske kredsløb har mulighed for at kombinere hastigheden fra optisk kommunikation med nanometerskalaen fra elektronik. Lokaliserede SPPs har derimod den egenskab, at de ved resonans interagerer kraftigt med det indkommende lys, hvilket bl.a. fører til øget lysspredning på metalpartiklen samt koncentration (og derved forstærkning) af lyset ned i volumener af nanometerstørrelse. Sådanne egenskaber kan udnyttes indenfor mikroskopi, spektroskopi, (bio)sensorer samt solceller.

I dette ph.d.-projekt er de optiske egenskaber af forskellige metalliske nanostrukturer blevet teoretisk undersøgt, karakteriseret samt designet med henblik på mulig anvendelse indenfor sensorer, detektorer og solceller. Endvidere er der udviklet et nyt koncept bestående af to nanopartikler med lidt forskellige lokaliserede SPP resonansfrekvenser, som kan udnyttes til design af følsomme sensorer, kunstige materialer der reducerer lysets hastighed og kompakte optiske komponenter.

Kunstige plasmoniske materialer, som består af en sub-bølgelængde periodisk arrangement af nanopartikler, kendes også som metamaterialer (engelsk: metamaterials), der efterligner almindelige materialer, idet metalnanopartiklerne fungerer som atomer. Metamaterialer kan dog have egenskaber som ikke findes i naturen, hvilket potentielt kan udnyttes til design af linser med perfekt optisk afbildning eller gøre objekter usynlige. Selvom disse forskelligheder mellem kunstige og naturlige materialer, så kan de optiske egenskaber af begge typer materialer approksimativt beskrives ved simple effektive parametre. Det er dog langt fra trivielt at beregne de effektive parametre for metamaterialer, hvilket er et af emnerne i dette ph.d.-projekt. I projektet er en ny metode til beregning af de effektive parametre blevet udviklet, og en anden allerede eksisterende metode er blevet implementeret, så den er praktisk anvendelig på et vilkårligt metamateriale.

Det er vigtigt at pointere, at de tiltalende egenskaber ved plasmonik kun eksisterer ved synlige og nærinfrarøde frekvenser, hvilket skyldes metalleres egenskaber ved lavere frekvenser, så som terahertz eller mikrobølgefrequenser. I dette ph.d.-projekt er det dog demonstreret, at korrugerede metalstrukturer kan ved lave frekvenser have geometri-inducerede elektromagnetiske tilstande, der opfører sig som konventionelle lokaliserede SPPs. Det er hermed muligt at udnytte de plasmoniske egenskaber i det lavfrekvente område.