

Ultra-effektiv belysning baserad på nanotrådsteknik

Patrik Olausson

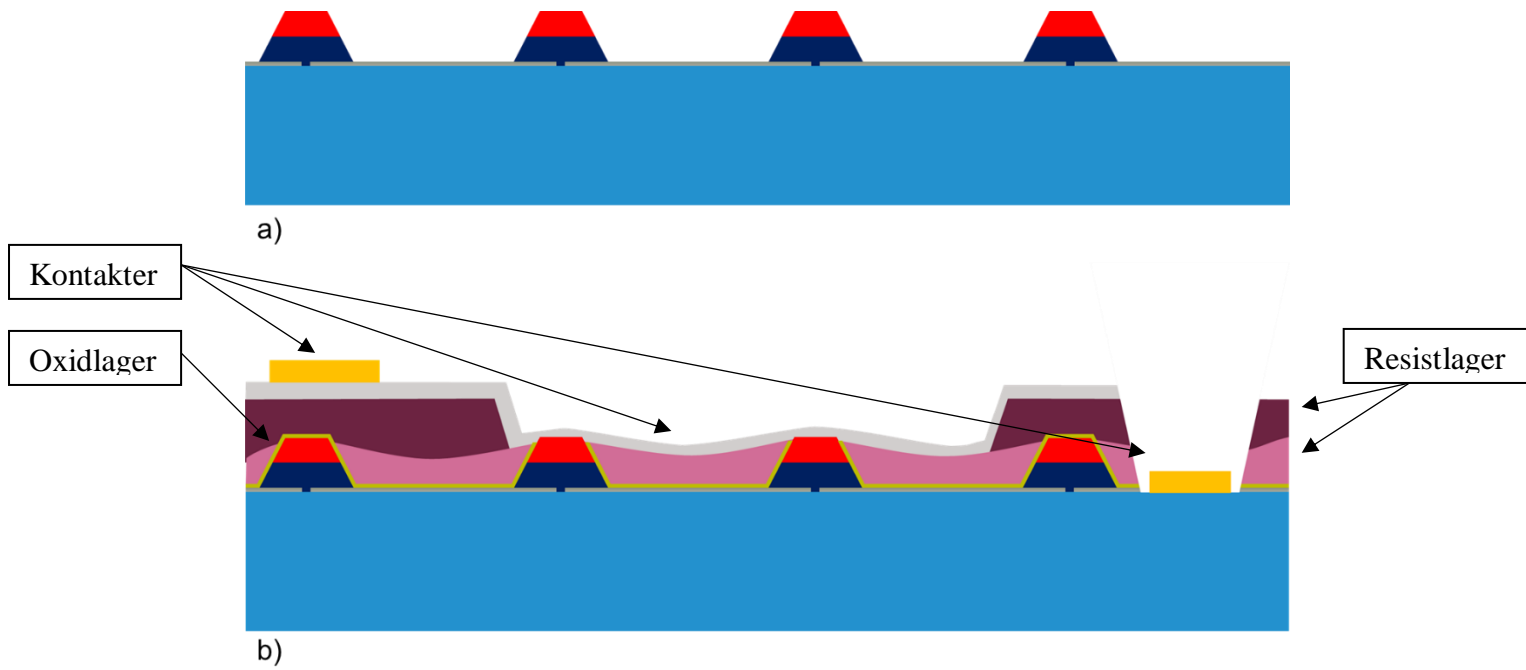
Den ökade växthuseffekten som följd av användandet av fossila bränslen kombinerat med jordens stadigt ökande befolkning, gör att användandet av jordens resurser måste effektiviseras. En stor del av dagens energiförbrukning går åt till belysning, vilket gör effektiviseringen av dagens ljuskällor till en mycket viktig fråga. Majoriteten av dagens vita belysning baseras på att lägga en spänning över ett halvledarmaterial (InGaN), vilket leder till att blått ljus sänds ut (emitteras). Det blåa ljuset absorberas av ett lysämne (fosfor) som sedan återemitterar ljus av längre våglängder. Kombinationen av det blåa ljuset och ljuset av längre våglängder uppfattas som vitt ljus, men i omvandlingen från blått ljus till ljus av längre våglängder går 25-45 % av strålningseffekten förlorad i form av värme. Denna process för att skapa vitt ljus är därför ineffektiv och ett effektivare sätt att skapa vitt ljus är att använda sig av separata röda, gröna och blåa dioder. Denna typ av ljuskälla kallas för RGB lysdiod (LED).

Ett sätt att tillverka dioder som emitterar olika färger är att använda halvledaren InGaN (indium-gallium-nitrid) och variera andelen indium (In). Ju mer indium legeringen innehåller, desto längre blir våglängden, vilket därför kan justeras för att ge emission av rött, grönt och blått ljus. Högeffektiva blåa dioder baseras på ett aktivt område bestående av ett tunt lager InGaN, omslutet av tjocka GaN (gallium-nitrid) barriärer. Avståndet mellan atomerna i det aktiva området (InGaN) skiljer sig från avståndet mellan atomerna i barriärerna (GaN), och ju mer indium det aktiva området innehåller desto större blir skillnaden. På grund av skillnaden i avstånd mellan atomerna uppstår mekaniska spänningar mellan det aktiva området och barriärerna, vilket leder till minskad effektivitet hos dioderna. I blåa dioder innehåller det aktiva området en låg andel indium och spänningen är därför liten mellan det aktiva området och barriärerna, men för gröna och röda dioder ökar spänningen på grund av ökad andel In i det aktiva området. Effektiviteten är därför lägre för gröna och röda dioder jämfört med blåa.

För att minska spänningen mellan det aktiva området och barriärerna i gröna och röda dioder skulle man kunna använda InGaN som barriärmaterial istället för GaN. Indium innehållet i barriärerna är lägre än indium innehållet i det aktiva området, så det kommer fortfarande vara spänning mellan barriärerna och det aktiva området, men mindre spänning jämfört med om GaN barriärer används. Problemet med att använda InGaN barriärer är att det är väldigt svårt att framställa tjocka lager av InGaN med hög material kvalitet, vilket leder till lägre effektivitet hos dioden. Lösningen på problemet är att använda nanoteknik. Genom att framställa extremt små (i storleksordningen miljarddelmeter) kristaller av InGaN med formen av trunkerade pyramider (platelets) och sedan använda dessa kristaller som substrat, möjliggörs framställandet av tjocka lager av InGaN med hög material kvalitet. Denna metod har därför potential att användas för tillverkning gröna och röda dioder av hög effektivitet, vilket kan användas i tillverkning av hög effektiva RGB LEDs.

Att tillverka komponenter av nanokristaller medför en rad utmaningar som skiljer sig från traditionell LED-tillverkning. Till exempel ställer det extremt höga krav på homogenitet och kontroll av lagertjocklek över stora ytor.

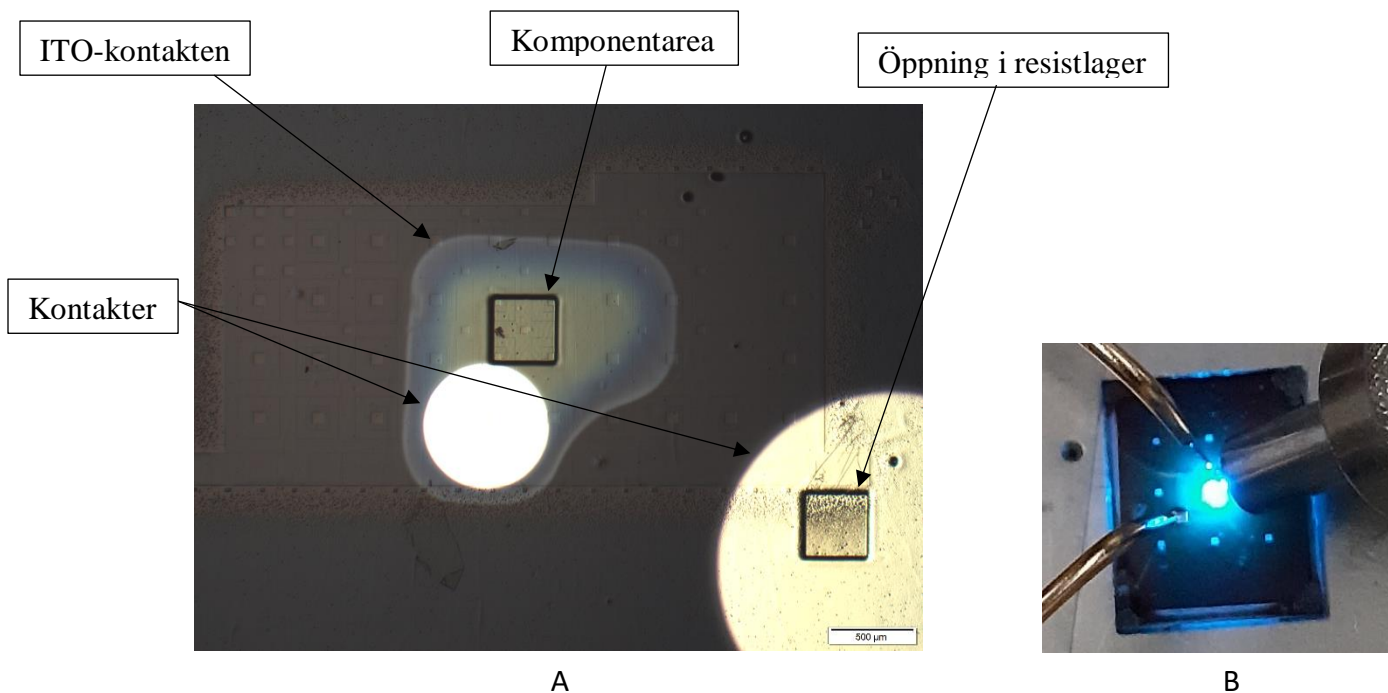
I detta projekt har LED designen för LEDs baserade på dessa nanokrystaller (platelets) utvecklats och karakteriserats genom att använda avancerade tillverkningsmetoder på nanoskalan (till exempel: atomlagerdeposition, spin-coating, sputtring, rapid thermal processing, UV-litografi, elektronstråle-litografi och olika typer av etsning). I Figur 1 visas en sketch av LED designen och Figur 2 visar ett färdigt prov.



Figur 1

Schematiska skisser över LED designen.

- Skissen visar fyra nanokrystaller. Den röda delen motsvarar den ena InGaN barriären och den blåa delen motsvarar den andra barriären. Mellan barriärerna finns det aktiva området, som är väldigt tunt. Det är från detta område ljuset sänds ut (emitteras).*
- Skissen visar ett färdigt prov. Ett tunt isolerande oxidlager (gult lager i bilden) har deponerats på provet och etsats bort från topparna av de två nanokrystallerna i mitten (komponentarean) och även i området där den högra kontakten är placerad. Det första resistlagret (rosa lager i bilden) möjliggör oxidetsning från enbart topparna av nanokrystallerna och det andra resistlagret (lila lager i bilden) lyfter upp kontakterna utanför komponentarean för att undvika läckström till kristaller utanför komponentarean. Den gråa kontakten är transparent och består av ITO (indium-tennoxid) och de gula kontakterna består av titan och guld. Genom att lägga olika elektriska potentialer på de gula kontakterna uppstår en spänning mellan barriärerna (rött och blått lager i bilden) vilket inducerar ljusemission från det aktiva området.*



Figur 2

Bilder som visar ett färdigt prov.

A) Provets olika delar är indikerade med pilar (jämför med Figur 1 B).

B) Bild av provet när en konstant spänning är pålagd och emissionsspektrumet mäts. Till vänster i bilden syns två probar och till höger syns en optiskfiber som är ansluten till en spektrometer.

Från de elektro-optiska mätningarna uppskattades effektiviteten av dioderna genom att jämföra strålningseffekten från ett prov med strålningseffekten från en diod av känd effektivitet. Effektiviteten visade sig vara väldigt låg och en möjlig anledning till den låga effektiviteten är att det i komponentarean finns kristaller som är betydligt högre än nanokristallerna och dessa kristaller blir därför kortslutna (båda barriärerna blir kontakterade till toppkontakten). Det blir alltså ingen spänning över det aktiva området hos dessa kristaller, vilket drar ner effektiviteten hos dioden.

Komponenter bestående av enskilda nanokristaller visar utmärkt likriktning (dioden leder bara ström i ena riktningen, vilket är karaktäristiskt för dioder), men likriktningen minskar med ökad storlek av komponentarean. Sannolikheten för att nanokristaller blir kortslutna ökar när antalet nanokristaller i komponentarean ökar vilket förmodligen är orsaken till den minskade likriktningen med ökad komponentarean.

Tekniken behöver utvecklas ytterligare men har potential att användas i tillverkning av RGB LEDs eftersom den kan möjliggöra tillverkandet av högeffektiva röda och gröna nitrid-LEDs. Tekniken är unik i att möjliggöra hög materialkvalité med väldigt hög indiumkoncentration, och en extremt liten ljusemissionsarean. Den lilla ljusemissionsarean gör strukturerna intressanta för andra applikationer utöver RGB LEDs, till exempel som mikrometerstora LEDs i högupplösta displayer.