



## Blå lysdioder – en uppfinning som sprider nytt ljus över världen

*Isamu Akasaki, Hiroshi Amano och Shuji Nakamura* belönas för att ha uppfunnit en ny energisnål och miljövänlig ljuskälla – den blå lysdioden (LED). I Alfred Nobels anda går priset till en uppfinning av största nytta för mänskligheten: tack vare den blå lysdioden kan vitt ljus skapas på ett nytt sätt. Med de nya LED-lamporna har vi fått hållbarare och effektivare alternativ till äldre ljuskällor.

När Akasaki, Amano och Nakamura kommer till Nobelceremonierna i Stockholm i början av december lär de inte undgå att se sin uppfinning lysa i nästan vartenda fönster i staden. De vita LED-lamporna har låg energiförbrukning, lång livslängd och lyser med starkt vitt ljus. Dessutom innehåller LED-lamporna, till skillnad från lysrörslampor, inte kvicksilver.

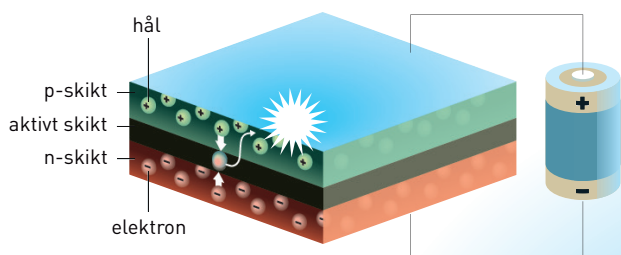
Visserligen är de röda och gröna lysdioderna nästan ett halvt sekel gamla. Men för att revolutionera belysningstekniken krävdes blått ljus. Det är först då som färgtrion av blått, rött och grönt ger det vita sken i vilket våra ögon uppfattar världen. Men trots stora ansträngningar både i forskarvärlden och industrin förblev det blå ljuset en utmaning under tre decennier.

Akasaki arbetade tillsammans med Amano vid Nagoyauniversitetet medan Nakamura var anställd vid Nichia Chemicals, ett litet företag i Tokushima på ön Shikoku. När alla tre i början av 1990-talet fick ut de klara blå strålarna från sina halvledare öppnades vägen till att med nytt vitt ljus förändra belysningstekniken från grunden. Den vanliga glödlampan lyste upp hela 1900-talet; LED-lampan kommer att lysa upp 2000-talet.

### Spar på energi och material

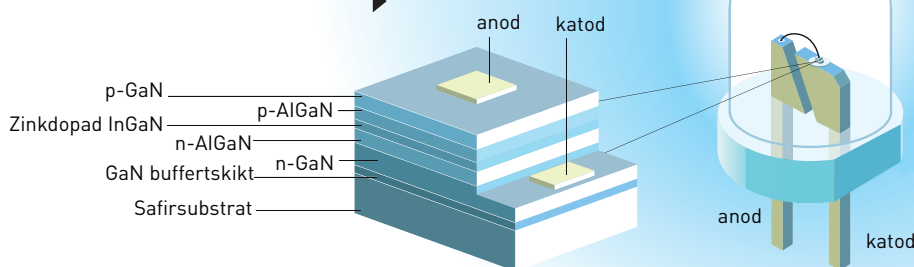
En lysdiod, LED, består av ett antal skikt av halvledarmaterial. I lysdioden omvandlas elektricitet direkt till ljuspartiklar, fotoner, vilket ger en vinst i effektivitet jämfört med andra ljuskällor där det mesta av elströmmen går åt till värme, och bara en liten del omvandlas till ljus. I en glödlampa, och även i halogenlampan, används elströmmen till att hetta upp en metalltråd och få den att glöda. I lysrörslampan (tidigare kallades den lågenergilampa, men i och med LED-lamporna har den benämningen förlorat sin mening) skapas en gasurladdning som ger både värme och ljus.

De nya LED-lamporna kräver alltså mindre energi för att ge ifrån sig ljus än de gamla ljuskällorna. Dessutom utvecklas de hela tiden – de blir allt effektivare med allt högre ljusflöde (mätt i lumen) per tillförd effekt (mätt i watt). Det senaste rekordet är drygt 300 lumen per watt, jämfört med 16 i vanliga glödlampor och uppåt 70 i lysrörslamporna. Eftersom ungefär en fjärdedel av världens elförbrukning går till belysning bidrar LED-lampornas höga energieffektivitet till att spara på jordens resurser.



◀ **Lysdiodens hjärta.** Lysdioden består av flera skikt halvledare. Elektrisk spänning driver elektroner från n-skiktet och hål från p-skiktet mot det aktiva skiktet där de förintar varandra och ut kommer ljus. Ljusets våglängd beror helt och hållet på halvledarmaterialet. Lysdioden är inte större än ett sandkorn.

**Blå LED-lampa.** Lysdioden inuti lampan består här av flera olika lager galliumnitrid (GaN). Genom att blanda in indium (In) och aluminium (Al) lyckades pristägnarna höja lampans effektivitet.



Principen för en lysdiod (längst upp till vänster) och ett exempel på en blå LED-lampa.

LED-lamporna är också mer långlivade än andra lampor. Värmen förstör metallen i glödlampan, som har en livslängd på i snitt 1 000 timmar, medan lysrörslamporna når upp till cirka 10 000 timmar. LED-lampan kan redan i dag räcka i 100 000 timmar, vilket minskar materialåtgången.

## Ljuset alstras i en halvledare

I grunden har lysdioden sitt ursprung i samma ingenjörskonst som gav oss mobiltelefoni, datorer och all annan modern elektronik där kvantfenomen är satta i arbete. En lysdiod består av flera skikt: ett n-skikt med ett överskott av negativt laddade elektroner, och ett p-skikt där elektronerna är för få, eller som man också säger, där de positivt laddade hålen är flest. Däremellan finns ett aktivt skikt, dit de negativt laddade elektronerna och de positivt laddade hålen drivs när en spänning läggs på halvledaren. I mötet förintas de och samtidigt sänder de ut ljus. Ljusets våglängd beror helt och hållet på halvledaren. Det blå ljuset ligger i den kortvågiga änden av regnbågen och kan bara alstras i vissa material.

En första kort notis om ljus från en halvledare författades 1907 av britten Henry J. Round, en medarbetare till Guglielmo Marconi, Nobelpristagare i fysik 1909. I Sovjetunionen studerade Oleg V. Losev ljusemissionen närmare på 1920- och 30-talet. Både Round och Losev saknade dock kunskaper för att förstå fenomenet på djupet. Förutsättningarna för att teoretiskt beskriva denna så kallade elektroluminescens skapades först ett par decennier senare.

De första röda lysdioderna uppfanns i slutet av 1950-talet. Dessa användes till exempel i digitala klockor och räknedosor, eller i indikatorer som visar på- och av-läge i olika apparater. Tidigt stod det klart att en lysdiod med kort våglängd som består av högenergetiska fotoner, en blå diod, var nödvändig för att få fram vitt ljus. Många laboratorier försökte, men utan framgång.

## Gick mot strömmen

Pristagarna utmanade konventionella sanningar och gick mot strömmen; de arbetade hårt och tog stora risker. De byggde själva sin utrustning, lärde sig tekniken, och genomförde tusentals försök. I de allra flesta fallen misslyckades de, men de misströstade inte. Det var labbkonst på högsta nivå.

Det material som alla tre pristagare valde att arbeta med – galliumnitrid – visade sig vinna i längden trots att många före dem hade gett upp. Tidigt ansågs galliumnitrid lämplig för att alstra det blå ljuset, men de praktiska svårigheterna var enorma. Ingen kunde tillverka galliumnitridkristaller av tillräckligt hög kvalitet, eftersom det verkade hopplöst att skapa en passande yta att bygga galliumnitriden på. Dessutom var det nästintill omöjligt att göra p-skikt i materialet.

Akasaki var dock övertygad från sina tidigare erfarenheter att materialvalet var rätt och fortsatte arbetet tillsammans med Amano, som var doktorand vid Nagoyauniversitetet. Även Nakamura vid Nichia valde galliumnitrid framför alternativet, zinkselenid, som nästan alla andra fann mer lovande.

## *Fiat lux* – varde ljus

Akasaki och Amano var först med att 1986 lyckas tillverka galliumnitrid av hög kvalitet genom att ovanpå ett safirsubstrat lägga ett extra skikt aluminiumnitrid och sedan växa galliumnitriden på det. Några år senare, i slutet av 1980-talet, kom genombrottet med att skapa ett effektivt p-skikt. Av en slump upptäckte Akasaki och Amano att deras material lyste starkare när det undersöktes med svepelektronmikroskop. Det tydde på att elektronstrålen från mikroskopet gjorde p-skiktet mer effektivt. År 1992 kunde de presentera sin första diod som lyste starkt i blått.

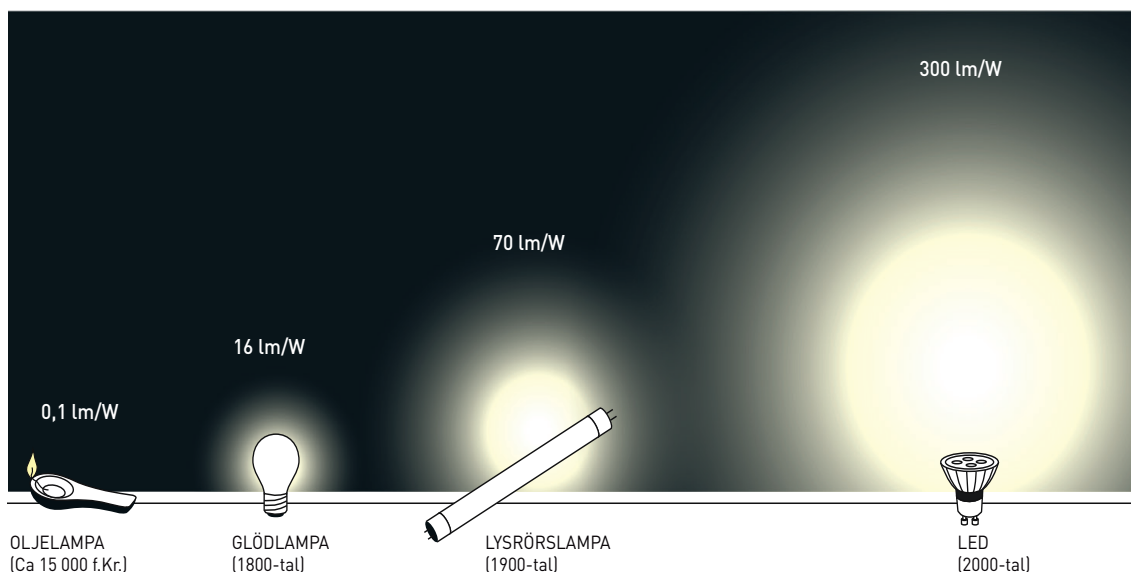
Nakamura började utveckla sin blå lysdiod 1988. Två år senare fick även han fram högklassig galliumnitrid. Hemligheten med hans metod var att hitta ett eget finurligt sätt att tillverka kristallen genom att först lägga ett tunt skikt galliumnitrid vid låg temperatur, och sedan fortsätta att arbeta vid högre temperatur.

Nakamura kunde även förklara varför Akasaki och Amano lyckades med sitt p-skikt: med elektronstrålen får man bort vätet, som hindrade p-skiktet från att bildas. Själv ersatte Nakamura elektronstrålen med en enklare och billigare metod: genom att värma upp materialet lyckades han få fram ett fungerande p-skikt 1992. Nakamuras lösningar skilde sig alltså från Akasakis och Amanos.

Båda grupperna lyckades under 1990-talet utveckla sina blå dioder vidare och få dem allt mer effektiva. De skapade olika legeringar av galliumnitrid med aluminium eller indium samtidigt som strukturen hos lysdioden blev alltmer komplex.

Både Akasaki med Amano och Nakamura uppfann även var sin blå laser. Dess hjärta utgörs av den blå lysdioden, inte större än ett sandkorn. Till skillnad från lysdiodens spridda sken sänder en blå laser en knivskarp stråle. Och eftersom blått ljus har kortast våglängd, kan det blå ljuset packas tätare – på samma yta ryms fyra gånger mer information lagrat i blått jämfört med infrarött ljus. Ökningen i lagringskapaciteten ledde snabbt till utvecklingen av Blu-rayskivor med långa inspelningstider, liksom bättre laserskrivare.

Annan hemelektronik har i dag också utrustats med LED-lampor. De belyser LCD-skärmar i tv:n, datorn och i mobiltelefoner, där de även fungerar både som lampa och som blix till kameran.



LED-lamporna kräver mindre energi för att ge ifrån sig ljus än de gamla ljuskällorna. Effektiviteten anges med ljusflöde (mätt i lumen) per tillförd effekt (mätt i watt). Eftersom ungefär en fjärdedel av världens elförbrukning går åt till belysning bidrar LED-lampornas höga energieffektivitet till att spara på jordens resurser.

## En ljus revolution

Pristagarnas uppfinningar blev startskottet för en revolution inom belysningstekniken. Nya, allt mer effektiva, allt billigare och allt smartare lampor utvecklas hela tiden. Det finns två sätt att bygga vita LED-lampor. Det ena använder en blå diod för att belysa ett material som de blå strålarna får att fosforisera i rött och grönt. Alla färgerna blandas, och ut kommer vitt ljus. Det andra sättet är att bygga lampan av tre lysdioder, en blå, en röd och en grön, och låta ögat lägga ihop dem till vitt.

På så sätt blir LED-lamporna en flexibel ljuskälla, något som redan vunnit tillämpningar i belysningskonsten – miljoner olika färger går att få fram och man kan växla färgerna och ljusstyrkan efter behov. Upp till flera hundra kvadratmeter stora färggranna ljuspaneler blinkar, ändrar färg och mönster. Och allt kan styras med datorn. Möjligheten att styra ljusets färg gör också att LED-lampan kan härma det naturliga ljusets växlingar och följa vår biologiska klocka. Odlingar i växthus kan idag kontrolleras med konstgjort ljus.

Stora förhoppningar knyts till LED-lampans möjligheter att höja livskvaliteten för de över 1,5 miljarder människor i världen som saknar elnät: de låga energikraven gör att lampan kan drivas med billig lokal solel. Dessutom kan förorenat vatten steriliseras med hjälp av ultraviolettera lysdioder, som är en vidareutveckling av de blå.

Uppfinningen av den blå lysdioden är inte mer än tjugo år gammal, men den har redan bidragit till att skapa vitt ljus på ett helt nytt sätt till gagn för oss alla.



Vita ljussignaler för cyklister i Stockholm.

---

## LÄNKAR OCH LÄSTIPS

Mer information om årets priser, bland annat en vetenskaplig bakgrundsartikel på engelska, finns på Kungl. Vetenskapsakademiens webbplats, <http://kva.se> och på <http://nobelprize.org>. Där kan man också se presskonferensen som webb-TV. Mer information om utställningar och aktiviteter kring Nobelprisen och Ekonomipriset finns på [www.nobelmuseet.se](http://www.nobelmuseet.se).

### Artiklar

**Zheludev, N.** (2007) The life and times of the LED – a 100-year history, *Nature photonics*, vol. 1, april

**Schubert, E. F.** och **Kyu Kim, J.** (2005) Solid-State Light Sources Getting Smart, *Science*, 308, 1274

**Savage, N.** (2000) LEDs light the future, *Technology Review*, vol. 103, nr 5, sid. 38–44, september–oktober

### Bok

**Khanna, V. K.** (2014) *Fundamentals of Solid State Lighting: LEDs, OLEDs, and Their Application in Illumination and Displays*, CRC Press

---

## PRISTAGARE

### ISAMU AKASAKI

Japansk medborgare. Född 1929 (85 år) i Chiran, Japan. Fil.dr 1964 vid Nagoya University, Japan. Professor vid Meijo University, Nagoya och Distinguished Professor vid Nagoya University, Japan.

[http://en.nagoya-u.ac.jp/people/distinguished\\_award\\_recipients/nagoya\\_university\\_distinguished\\_professor\\_isamu\\_akasaki.html](http://en.nagoya-u.ac.jp/people/distinguished_award_recipients/nagoya_university_distinguished_professor_isamu_akasaki.html)

### HIROSHI AMANO

Japansk medborgare. Född 1960 (54 år) i Hamamatsu, Japan. Fil.dr 1989 vid Nagoya University, Japan. Professor vid Nagoya University, Japan.

[http://profs.provost.nagoya-u.ac.jp/view/html/100001778\\_en.html](http://profs.provost.nagoya-u.ac.jp/view/html/100001778_en.html)

### SHUJI NAKAMURA

Amerikansk medborgare. Född 1954 (60 år) i Ikata, Japan. Fil.dr 1994 vid University of Tokushima, Japan. Professor vid University of California, Santa Barbara, CA, USA.

[www.sslc.ucsb.edu/nakamura/](http://www.sslc.ucsb.edu/nakamura/)