



Information

Ytterligare information kan erhållas från Vetenskapsakademiens informationsavdelning, Box 50005, 104 05 Stockholm
Tel: 08-673 95 25, fax: 08-15 56 70, e-post: rsas@kva.se
Internet: www.kva.se

(populärvetenskaplig information)

Nobelpriset i fysik 2000

Kungl. Vetenskapsakademien har utdelat Nobelpriset i fysik år 2000
"för arbeten som lagt grunden till den moderna informationstekniken."

Priset utdelas med ena hälften gemensamt till

Zhores I. Alferov

A.F. Ioffe Physico-Technical Institute, S:t Petersburg, Ryssland, och

Herbert Kroemer

University of California at Santa Barbara, Kalifornien, USA,

"för utvecklingen av halvledarheterostrukturer för höghastighets- och optoelektronik"

och med den andra hälften till

Jack S. Kilby

Texas Instruments, Dallas, Texas, USA,

"för hans del i uppfinningen av den integrerade kretsen"

Fysiken och informationstekniken

Informationstekniken, IT, som innefattar elektronisk datateknik och telekommunikationsteknik, har under några få årtionden förändrat vårt samhälle på ett mycket påtagligt sätt. Bakom denna utveckling finns en mycket avancerad vetenskaplig och teknisk utveckling som till stora delar har sitt ursprung i grundvetenskapliga uppfinningar inom fysiken.

Den snabba utvecklingen av den *elektroniska datatekniken* tog ordentlig fart i och med uppfinningen av den integrerade kretsen omkring 1960 och uppfinningen av mikroprocessorn på 70-talet, då antalet komponenter på ett chips blev tillräckligt stort för att kunna skapa en fullständig mikrodator. Den snabba ökningen av antalet komponenter formulerades som en förutsägelse i "Moore's lag": Antalet komponenter på ett chips kommer att fördubblas var artonde månad. Detta har skett sedan 1960-talet och idag finns chips med miljontals enskilda komponenter och till i stort sett oförändrat pris!

Utvecklingen av chipsen har motsvarats av en lika dynamisk och kraftfull utveckling inom *telekommunikationstekniken*. På samma sätt som den integrerade kretsen varit och är primus motor för den elektroniska datatekniken så spelar ultrasnabba transistorer och halvledarlarar, byggda på heterostrukturer av halvledare, en avgörande roll för modern telekommunikation.

Heterostrukturer i bl.a. mobiltelefoner, cd-spelare, streckkodsläsare, bromsljus

Elektroniska komponenter tillverkas vanligen av halvledare, det vill säga material som är ett mellanting mellan ledare och isolatorer. Ett mått på om en halvledare mest liknar en ledare eller en isolator ges av det så kallade *bandgapet* - den mängd energi som behövs för att producera rörliga laddningsbärare i form av elektroner och "hål".



KUNGL.
VETENSKAPSAKADEMIEN
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

Mer information:

www.nobel.se/announcement/2000

10 oktober 2000

1(6)

De flesta halvledarkomponenter tillverkas av kisel, men sammansatta halvledare av typ galliumarsenid har stor betydelse för vissa tillämpningar. En halvledare som består av flera tunna skikt med olika bandgap, kallas *heterostruktur av halvledarmaterial*. Skikten kan ha en tjocklek allt från några enstaka atomlager till mikrometer och kan t.ex. bestå av galliumarsenid (GaAs) och aluminiumgalliumarsenid (AlGaAs). Skikten väljs i normala fall så att bl.a. deras kristallstruktur passar ihop så att laddningsbärare kan röra sig nästan fritt i gränsskikten. Det är just denna egenskap hos heterostrukturer som kan utnyttjas på en mängd olika sätt.

Heterostrukturer har en mycket stor betydelse inom *tekniken*. Lågbrusiga högfrekvensförstärkare, baserade på heterotransistorer, används bl.a. vid kommunikation via satellit och för att förbättra signal-brusförhållandet vid mobiltelefoni. Halvledarlasrar, som bygger på heterostrukturer, används vid optisk kommunikation via fibrer, vid optisk lagring av data, som avläsningshuvuden i CD-spelare, som streckkodsläsare och laserpekare, m.m. Heterostruktur-baserade lysdioder används i bilbromsljus och andra varningstecken och kan komma att helt ersätta glödlampor.

Heterostrukturer har även haft en mycket stor betydelse för *vetenskaplig forskning*. Egenskaper hos den s.k. tvådimensionella elektrongas som bildas i gränsskiktet mellan halvledarna var utgångspunkterna när man studerade de kvantiserade Halleffekterna (Nobelpris i fysik 1985 till Klaus von Klitzing och 1998 till Robert B. Laughlin, Horst L. Störmer och Daniel C. Tsui). Man har även studerat kvantiserad konduktans i endimensionella kanaler och punktkontakter, artificiella atomer och molekyler baserade på s.k. kvantprickar med ett begränsat antal fria ledningselektroner instängda i mycket små utrymmen, en-elektron-komponenter, o.s.v.

Heterotransistorn

Det första genomarbetade förslaget till en transistor med heterostruktur publicerades 1957 av **Herbert Kroemer**, då verksam vid RCA (Radio Corporation of America) i Princeton, USA. Hans teoretiska arbete visade att en heterotransistor kan bli överlägsen en konventionell transistor, speciellt för strömförstärkning och högfrekvenstillämpningar. En så hög frekvens som 600 GHz har uppmätts i en heterotransistor, d.v.s. cirka 100 gånger högre frekvens än i de bästa vanliga transistorerna. Vidare är bruset lågt i förstärkare baserade på dessa komponenter.

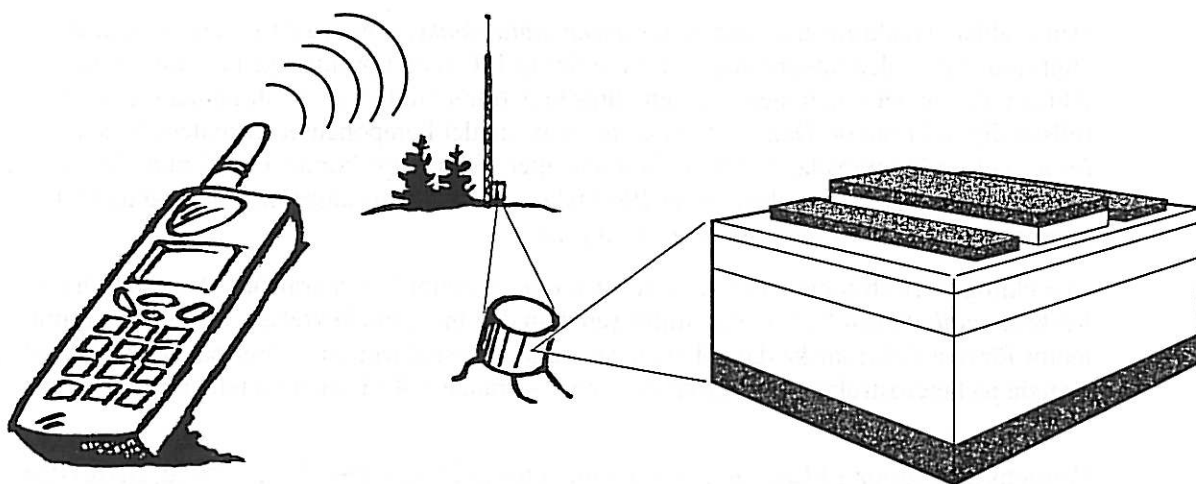


Fig.1: I snabba transistorer, som bl.a. används i mobiltelefonernas basstationer, återfinns halvledarheterostrukturer.

Heterostrukturlasern

Heterostrukturer har haft en helt avgörande betydelse för utveckling av halvledarlaserar. **Zhores I. Alferov** vid Ryska Vetenskapsakademiens Ioffe-institut i dåvarande Leningrad och **Herbert Kroemer**, då vid Varian i Palo Alto, föreslog 1963, oberoende av varandra, principen för heterostrukturlasern, en uppfinning som är väl så betydelsefull som heterotransistorn.

Alferov var den förste som lyckades framställa en gitteranpassad heterostruktur (AlGaAs/GaAs, 1969) med klara gränser mellan skikten. Alferovs forskargrupp lyckades snabbt utveckla flera typer av komponenter uppbyggda av heterostrukturer, bl.a. den injektionslaser som Alferov fick patent på 1963. Det var ett tekniskt genombrott när heterostrukturlaserar runt 1970 kunde arbeta kontinuerligt vid rumstemperatur. Dessa egenskaper har t.ex. gjort kommunikation med fiberoptik praktiskt möjlig.

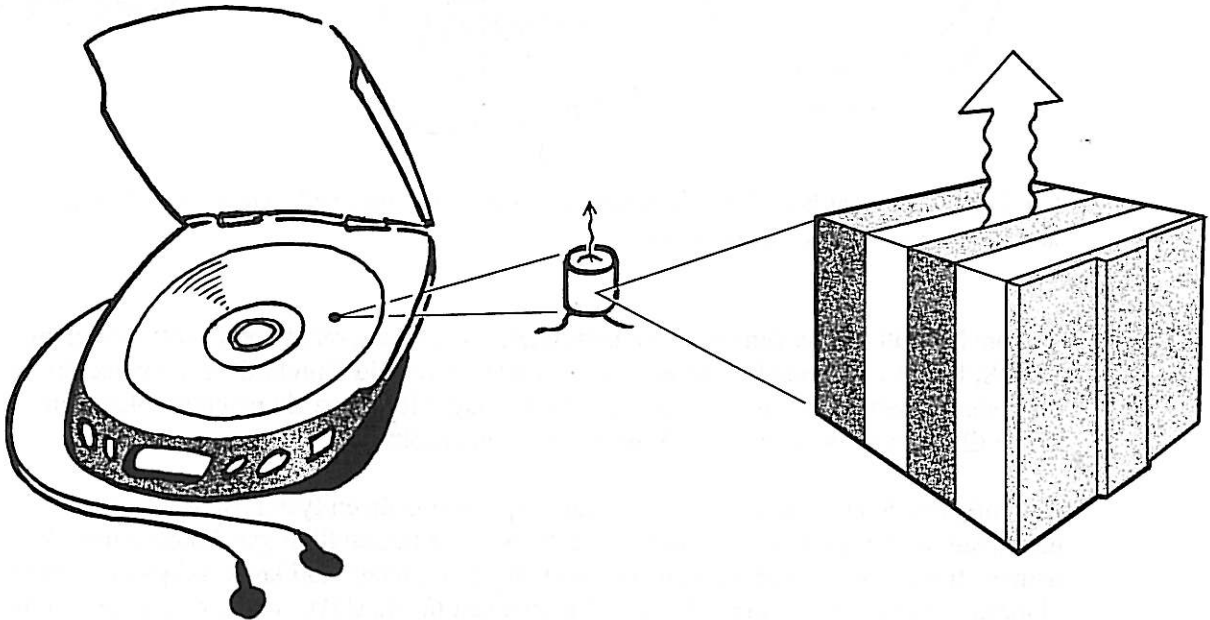


Fig.2: I CD-spelarens laserdiod återfinns en halvledarheterostruktur

Integrerade kretsar – chipset

Uppfinningen av transistorn strax före jul år 1947 brukar betecknas som begynnelsen till den moderna halvledarteknikens utveckling (Nobelpris i fysik 1956 till William B. Shockley, John Bardeen och Walter H. Brattain). Med transistorn kom en komponent som storleksmässigt var betydligt mindre, mer tillförlitlig och mindre energikrävande än vakuümörret, som därmed förlorade sin betydelse. Den ökande komplexiteten hos ett system med allt fler vakuümör gjorde att man hade nått en praktisk gräns vid något tusental rör. Genom att löda ihop enskilda transistorer på kretskort kunde systemet ökas till mer än tiotusen transistorer.

Även om transistorn tillät en ökning av komplexitet hos ett system bestående av hoplödda individuella komponenter så visade det sig snart att antalet transistorer var den begränsande faktorn för att kunna möta behovet hos den framväxande datorindustrin. Redan i början av 1950-talet fanns idéer och tankar om att tillverka transistorer, motstånd och kondensatorer i ett sammansatt halvledarblock, en s.k. integrerad krets.

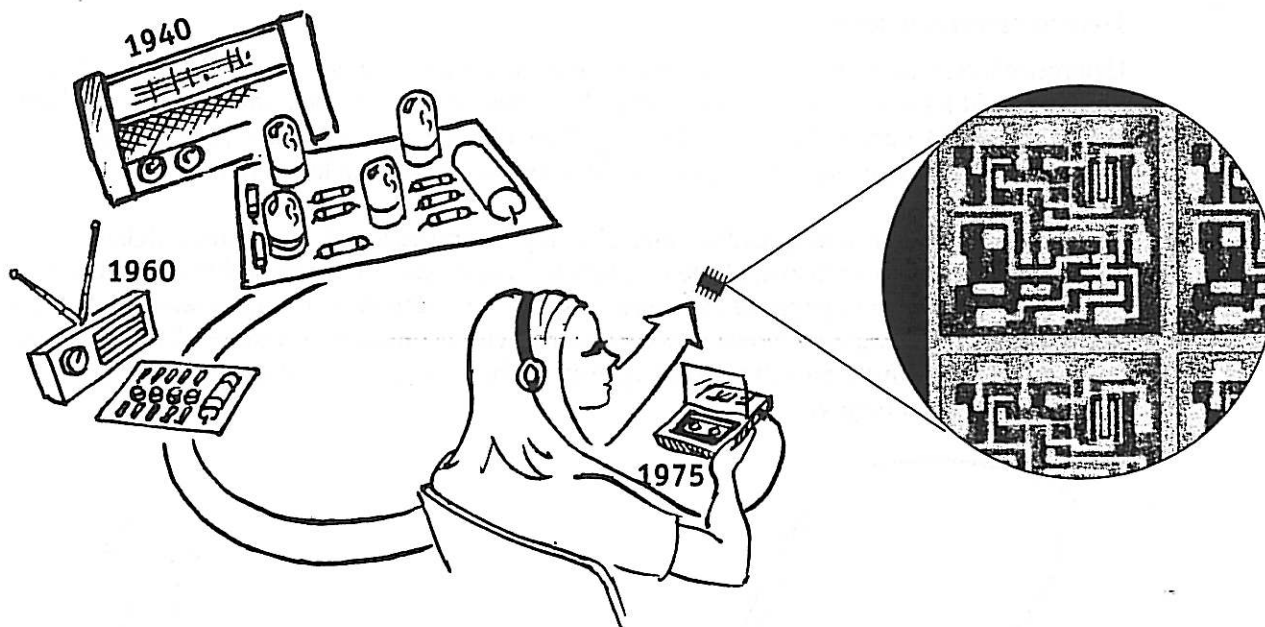


Fig.3: Utvecklingen har gått från vakuumpör över transistorer till integrerade kretsar, chips, som nu finns i all modern elektronik.

De som kom att bevisa den praktiska möjligheten av en integrerad krets var två unga ingenjörer, **Jack S. Kilby** vid Texas Instruments och **Robert Noyce** vid Fairchild Semiconductors, vilka arbetade oberoende av varandra. Kilby var dock något före med sin patentansökan och Noyce kände till detta arbete då han skickade in sin patentansökan.

Den integrerade kretsen är mer av en teknisk uppfinning än en fysikalisk upptäckt. Det är dock uppenbart att den inom sig rymmer många fysikaliska frågeställningar. Som exempel kan nämnas frågan hur aluminium och guld, som ingår i en integrerad krets, skiljer sig i fråga om vidhäftning på kisel. En annan fråga är hur man kan få täta skikt, som bara är några atomlager tjocka.

Det är således uppenbart att utvecklingen av den integrerade kretsen har givit upphov till en mycket stor satsning på forskning och utveckling inom fasta tillståndets fysik. Den har inte endast lett till en utveckling av halvledartekniken utan också till en enorm utveckling av apparater och instrument. Den stadigt fortgående miniaturiseringen har dessutom lett till ett antal materialfysikaliska begränsningar och problem, som har måst lösas.

Konceptet för den integrerade kretsen låg i tiden. Men det skulle ta tio år från uppfinningen av transistorer tills tekniken mognat tillräckligt för att de olika elementen skulle kunna tillverkas i ett och samma basmaterial och i samma stycke. Uppfinningen är en i raden av många uppfinningar som har möjliggjort den stora utvecklingen av informationstekniken. Den integrerade kretsen befinner sig fortfarande efter 40 år i ett dynamiskt utvecklingskede utan tecken på avmattning.

Både Jack S. Kilby och Robert Noyce anses som uppfinnare till den integrerade kretsen. Kilby var den som byggde den första kretsen. Noyce utvecklade kretsen på det sätt som den senare kom att framställas i praktiken med kisel och kiseldioxid som halvledare och isolator och med aluminium som det elektriskt ledande elementet. Båda har vid ett antal tillfällen gemensamt fått ta emot flera pris och utmärkelser.

Robert Noyce avled 1990. Han hyllades då som en av de viktigaste grundarna till Silicon Valley och för den ledande roll som hans företag fått i utvecklingen av informationstekniken, med den integrerade kretsen som en hörnsten.

Jack S. Kilby har fortsatt sin bana som uppfinnare med ett 60-tal patent. Bland annat är han meduppfinnare till fickräknaren, en av de första tillämpningarna av den integrerade kretsen. En marknadsundersökning som gjordes innan man startade tillverkningsplaneringen visade att intresset för fickräknare var helt försumbart. Man hade ju räknesticken!



Prissumman, 9 miljoner svenska kronor, delas så att Zh.I. Alferov och H. Kroemer delar på hälften av prissumman och J.S. Kilby tilldelas den andra hälften.

Lästips

Physics and the Information Revolution by J. Birnbaum and R.S. Williams, Physics Today, January 2000, p. 38.

Crystal Fire by Michael Riordan and Lillian Hoddeson, W.W. Norton & Company, New York and London 1997 (framförallt kapitel 12).

Quantum Technology by Gerard Milburn, Allen & Unwin 1996 (framförallt kapitel 4).

The History and Future of Semiconductor Heterostructures from the Point of View of a Russian Scientist by Zh. I. Alferov, Physica Scripta, vol. T68, p. 32, 1996.

Band Offsets and Chemical Bonding: The Basis for Heterostructure Applications by H. Kroemer, Physica Scripta, vol. T68, p. 10, 1996.

Tekniken bakom informationssamhället av Peter Weissglas och Mikael Östling. I Svenska Fysikersamfundets årsbok Kosmos 1990.

Det fantastiska chipset av T.R. Reid, Bokförlaget Prisma, Stockholm 1987.

Materials for Information and Communication by J.S. Mayo, Scientific American, October 1986, p. 50.

Electronic and Magnetic Materials by P. Chaudhari, Scientific American, October 1986, p. 114.

Den elektroniska revolutionen av Hermann Grimmeiss och Lars-Åke Ledebö. I Svenska Fysikersamfundets årsbok Kosmos 1979.

The genesis of the integrated circuit by M.F. Wolff, IEEE Spectrum, vol. 13, no. 8, August 1976, p. 45.

Invention of the Integrated Circuit by J.S. Kilby, IEEE Transactions on Electron Devices, vol. ED-23, no. 7, July 1976, p. 648.

Integrerade elektroniska kretsar av Torkel Wallmark och Bert Jeppsson. I Svenska Fysikersamfundets årsbok Kosmos 1965.

Flera uppslagsord i Nationalencyklopedin, bl.a.:

fälteffekttransistor, *halvledarkomponent*, *integrerad krets*, *transistor* (alla av Kjell O. Jeppsson)
mikroelektronik (av Sven Mattisson)
optoelektronik (av Torkel Wallmark)

Advanced information about the Nobel Prize in Physics 2000, The Royal Swedish Academy of Sciences, Internet: <http://www.nobel.se/announcement/2000>

Zhores I. Alferov född 1930 i Vitsebsk, Vitryssland, dåvarande Sovjetunionen. Doktorsgrad i fysik och matematik 1970 vid A.F. Ioffe Physico-Technical Institute i S:t Petersburg (f.d.Leningrad), Ryssland. Föreståndare för detta institut sedan 1987.

Professor Zhores I. Alferov
A.F. Ioffe Physico-Technical Institute
26 Politechnicheskaya st.
St. Petersburg 194021
Russia
<http://www.ioffe.rssi.ru/pti00002.html>

Herbert Kroemer född 1928 i Tyskland. Doktorsgrad i fysik 1952 vid universitetet i Göttingen. Anställd bl.a. vid RCA Laboratories, Princeton, NJ, USA 1954-57 och vid Varian Associates, Palo Alto, CA, USA, 1959-66. Professor i fysik vid University of Colorado, Boulder, 1968-76 och därefter vid University of California at Santa Barbara, USA.

Professor Herbert Kroemer
Electrical and Computer Engineering Dept.
Room 4107 Engineering I
University of California
Santa Barbara, CA 93106-9560
USA
<http://www.ece.ucsb.edu/Faculty/Kroemer/default.html>

Jack S. Kilby född 1923 i Jefferson City, Missouri, USA. Anställd vid Texas Instruments sedan 1958. Professor vid Texas A&M University 1978-85.

Dr Jack S. Kilby
Texas Instruments Incorporated
12500 TI Boulevard
Dallas, TX 75243-4136
USA
<http://www.ti.com/corp/docs/kilbyctr/jackstclair.shtml>

Mer information: www.nobel.se/announcement/2000

Pressansvarig: Eva Krutmeijer, tel. 08-673 95 95, 0709-84 66 38, evak@kva.se