

# Mikroelektronik – breddeopgave 50 og 51 med didaktisk kommentar

Af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, NSM, RUC

Mit formål med artikelserien om breddeopgaver er – udover at gøre opmærksom på RUCs fysikuddannelse – dobbelt: Dels udvælger jeg opgaverne, så de kan have interesse som fysikproblemer i egen ret. Dels udvælger jeg dem med henblik på at kunne knytte didaktiske overvejelser til dem af interesse for fysikundervisere. I første omgang i forhold til universitetsundervisning. Men i anden omgang kunne der måske også trækkes paralleller til andre undervisningsniveauer.

Her bringes løsninger og kommentar til opgaverne fra forrige nummer samt en ny opgave. Opgaverne i sidste nummer af KVANT var disse breddeopgaver (nr. 50 og 51 i rækken her i KVANT):

## Breddeopgave 50 og 51. Mikroelektronik

*Ved fremstillingen af integrerede kredsløb i elektronikindustrien nedprojiceres ønskede mønstre fra en stor skabelon på kredsløbsmatrixen (areal ca. 1 mm<sup>2</sup>) via brug af lysfølsom lak på denne. Vurder en mindste tykkelse af ledningerne i integrerede kredsløb. Begrund vurderingen.*

*For at fremstille integrerede mikroelektronikkredse benyttes nu ofte elektronstråler, fordi man var nået til en nedre grænse for komponenternes størrelse ved brug af lys ved nedprojiceringen af kredsløbsmønstrene. Hvor stor en bevægelsesenergi har elektronerne mindst? Begrund svaret.*

## Løsninger

**50.** En ledning i det integrerede kredsløb modsvares af en spalte i skabelonen. (Den lysfølsomme lak på kredsløbsmatrixen ætzes for pådampning af metal der, hvor lyset fra spalten rammer kredsløbsmatrixen.) Nedprojiceringen sker ved hjælp af en linse. Ved lysets gennemgang af både spalte og linseåbning sker der diffraktion af lyset. Den detaljerede konsekvens heraf for fokuseringen af belysningen af kredsløbsmatrixen afhænger af detaljerne i nedprojiceringsopstillingen. Kaldes lysets bølgelængde  $\lambda$  og linseåbningens diameter  $d$  medfører linseåbningens begrænsede udstrækning alene en diffraktionsspredning af lysets retning af størrelsesordenen  $\lambda/d$ . Hvis afstanden mellem linsen og matrixen er  $L$  vil der derfor ikke kunne afbildes linjer tyndere end  $L\lambda/d$  på kredsløbsmatrixen. Da linser har brændvidder af størrelsesordenen radius af deres indgående kugleoverflader, og det derfor er svært at tænke sig  $L$  mindre end  $d$ , er den mindste tykkelse af ledningerne således størrelsesordensmæssigt lig med lysets bølgelængde  $\lambda$ .

**51.** Elektronstråler udviser diffraktion på samme måde som lys ved nedprojiceringen af kredsløbsmønstrene. Hvis brugen af dem skal være en forbedring i forhold til at bruge lys, skal elektronernes de Broglie bølgelængde  $\lambda_e = h/p$  ( $h$  er Plancks konstant,  $p$  elektronernes impuls) derfor være mindre end lysets

bølgelængde  $\lambda_{\text{lys}}$ . Det betyder, at elektronernes bevægelsesenergi mindst skal være:

$$E_{\text{min}} = \frac{h^2}{2m_e\lambda_{\text{lys}}^2}, \quad (1)$$

hvor  $m_e$  er elektronens masse. Indsættes værdierne for  $h$  og  $m_e$  sammen med  $\lambda_{\text{lys}} = 500 \text{ nm}$  fås  $E_{\text{min}} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ eV}$ . Det er mange størrelsesordener under fx elektronernes termiske energier ved stuetemperatur. Det er således ikke kravet til elektronernes bevægelsesenergi, der sætter grænser for denne teknologi.

## Kommentar

Breddeopgave 50 om fremstilling af integrerede kredsløb ved nedprojicering af en skabelon ved hjælp af lys er fra vintereksamen 1978. Det var dengang mikroelektronik var i sin vorden og hvor f.eks. DTU havde det særskilte "Laboratoriet for elektroniske Halvleder-komponenter", hvor man arbejdede med den teknik. Breddeopgave 51 er fra sygeeksamen september 1987, hvor den optiske teknik allerede de små ti år efter er blevet erstattet af at benytte elektronstråler. Både 1978 og 1987 er før mikroelektronikudviklingen samfundsmæssigt rigtig tog fart med personlige computere, e-mails og internet.

Der er således langt fra de teknologiske kontekster, som de to breddeopgaver blev formuleret i, til dagens mikroelektroniske virkelighed. Men det, at opgaverne derfor er en slags historiske levn, gør dem ikke dårlige at bruge på breddekurset. De afgørende fysikforståelser – i dette tilfælde angående diffraktion og elektroners bølgeegenskaber – er jo anderledes stabile end de teknologiske anvendelser af forståelserne. Tværtimod at være en ulempe anser jeg opgavernes manglende teknologiske aktualitet for at være en fordel af to grunde.

For det første har teknologihistorisk viden på linje med historisk viden i det hele taget værdi ved belysning af mange slags sammenhænge. Herunder sammenhænge imellem fysikudviklinger og teknologiudviklinger. Mikroelektronikeksemplet her viser, hvor forskellige udviklingstempene for fysik og teknologi kan være.

For det andet bidrager opgavernes karakter af historiske levn til deres autenticitet.

Hele samlingen af breddeopgaver (kan findes på nettet som IMFUFA tekst nr. 482) består, bortset fra en mindre samling af 68 træningsopgaver fra starten

af det såkaldte "Breddekursus" på RUC i 1976, af de 597 opgaver, der har været stillet til eksamen siden. Undervisningen tidligere i Breddekurset og nu i dets afløser Fysisk problemløsning I og Fysisk problemløsning II byggede og bygger først og fremmest på denne opgavesamling. Det gør det pædagogiske plot enkelt. Som i svømmeundervisning, hvor formålet med undervisningen er klart for alle involverede parter, nemlig at eleverne skal lære at svømme. På tilsvarende måde skal de studerende ved at løse breddeopgaverne lære at "tænke som fysikere". Og at tænke som fysikere identificeres så med at være i stand til at løse den slags uformaliserede opgaver, som de har været stillet til deres forgængeres eksaminer. Ved udformningen af opgaverne er det tilstræbt, at beståskriterierne bliver sammenfaldende med formålet med undervisningen. Det er heri enkeltheden i det pædagogiske plot ligger. Vanskeligheden er så naturligvis at udforme eksamensopgaver, der kan leve op til denne dagsorden.

I betragtning af, at de tidligere eksamensopgaver

således er undervisningens centrale orienteringspunkt fra start til slut, er det vigtigt, at de vedrører virkelige, ikke tænkte, problemstillinger, og derved opleves autentiske og motiverende. Autenciteten af breddeopgaverne 50 og 51 ligger dels i, at de faktisk har været brugt som eksamensopgaver, dels i, at de vedrører en mikroelektronikudvikling, der faktisk har fundet sted. Breddeopgavesamlingen er i det hele taget et historisk dokument både vedrørende fysikeksaminerne og tiden de har fundet sted i.

### Breddeopgave 52. Kræftvækst

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læsere eventuelt overveje løsningen til denne opgave fra breddekurset på RUC (fra vintereksamen 2008, nr. 52 i rækken her i KVANT):

*52. Tilvæksten af kræftceller per tid er for en kræftsvulst proportional med kræftsvulstens overflade. Hvor-  
dan vokser kræftsvulsten med tiden? Begrund svaret..*

Løsning og kommentar bringes i næste nummer.

#### Workshop:

## Creating interest in the new large research facilities in the Øresund region

Monday, October 29<sup>th</sup> 2012 at Vattenhallen Science Center, Lund

Two major research facilities, ESS and MAX-IV, are being built in the Øresund region.

We invite anyone interested in science dissemination to a brainstorming workshop on initiatives to raise public awareness of the possibilities presented by becoming a materials science region.



We will present some recent initiatives, and discuss what more can be done, e.g.:

- High school teaching material
- Exhibitions
- Possibility of visiting the facilities
- Web-based dissemination packages
- <insert your idea here>

**Program and speakers will be announced, but mark your calendar now!**

**For more information, contact Stine Stenfatt West, [stine.west@nano.ku.dk](mailto:stine.west@nano.ku.dk)**

ØRESUND MATERIALS  
INNOVATION COMMUNITY

