

Tentamen 12 mars 2005

Fysik, del C

Fasta tillståndets elektronik

för D2 (FFY 171)

Mikroelektronik;

Komponenter, del A

för E2 (ETI 145)

Tentamen äger rum i V-salarna lördag 12/3 2005 mellan klockan 08.30 och 12.30. Ansvarig lärare är Per Lundgren, tel. 772 18 82.

Inga tillåtna hjälpmedel mer än skrivutensilier på tentatalen i grupp 1-2. När lösningar till grupp 1 och 2 lämnats in får valfria hjälpmedel (utom levande rådgivare) användas för att bearbeta uppgifterna i grupp 3.

För godkänt krävs 8 av 18 poäng, varav examinationsspoäng från kursen (0-5 poäng) kan vara en del. Dessutom måste man erhålla 5 av maximalt 6 möjliga poäng på de fyra deltalerna i grupp 1 (1a-d), där varje tal kan ge 2 poäng. I grupp 2 kan man erhålla 2 poäng. Uppgifterna i grupp 3 kan ge 5 poäng vardera. 11-14 totalpoäng ger delbetyg 4, och fler än 14 poäng ger delbetyg 5.

Lösningar anslås måndag 14/3 på kurshemsidan.

Resultat från grupp 1 visas på kursens sida i Studieportalen för teknologer med terminsregistrering så snart som möjligt (fredag 18/3). Preliminära rättningsprotokoll anslås vid respektive linjes (E & D) normala anslagsplatser samt utanför kontor B509 i MC2 senast tisdag 22/3 klockan 12.00.

Första granskning av tentamen sker på avdelningen för fasta tillståndets elektronik tisdag 22/3 klockan 12.00-14.00. Andra granskning samtidigt med granskning för omtenta 31/3 (datum bestäms senare).

Chalmers tekniska högskola

Fasta tillståndets elektronik

mars 2005



GRUPP 1

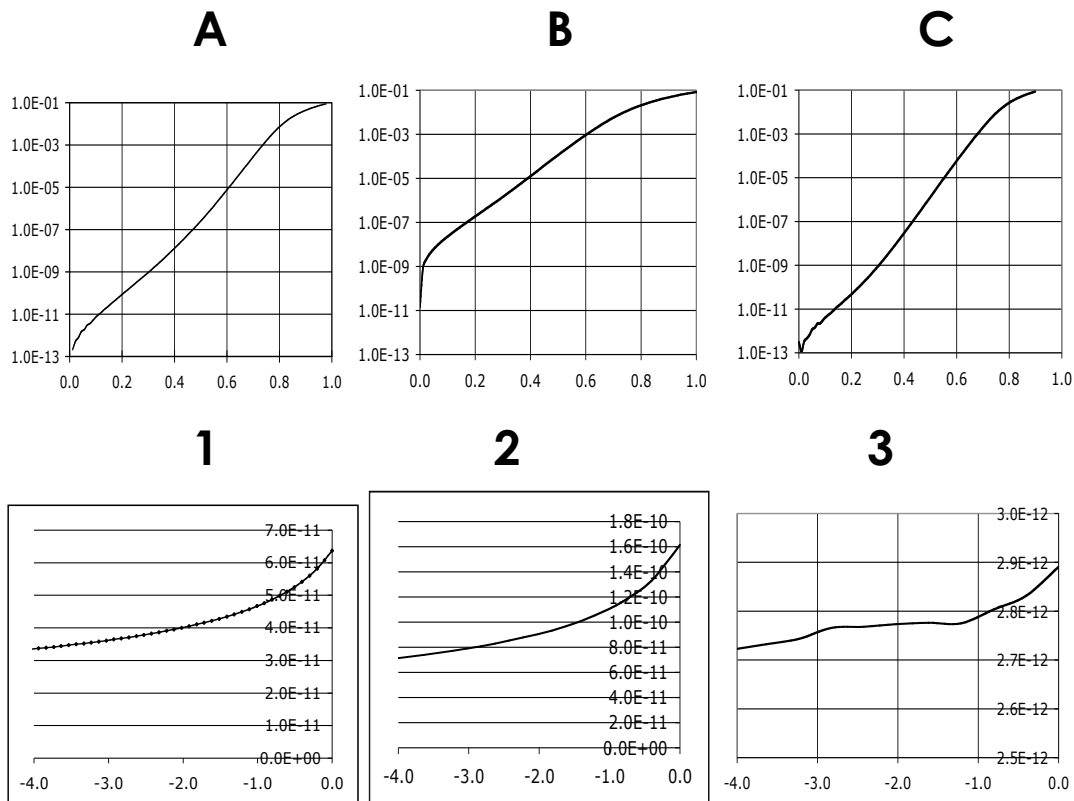
Deluppgifterna (1a-d) skall lösas utan andra hjälpmedel än skrivdon. Varje deluppgift kan ge 2 poäng. Maximalt 6 poäng kan erhållas totalt från denna grupp och minst 5 poäng krävs för godkänt.

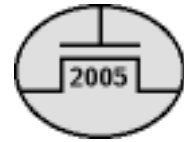
Uppgift 1a

Ni använder resistorer i n-typ kiselkarbid med ett bandgap på 3 eV för att mäta temperaturen i en motor i intervallet $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ till $+700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Om $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ överskrids skall föraren larmas så att han kan stänga av motorn. Vid en haveriundersökning framkommer det att förarna har insett att de kan stänga av det irriterande larmet genom att istället öka gasen – vilket leder till överhettning och motorhaveri. Föreslå en förklaring till varför larmet stängs av när föraren gasar baserat på dina kunskaper i halvledarteknik!

Uppgift 1b

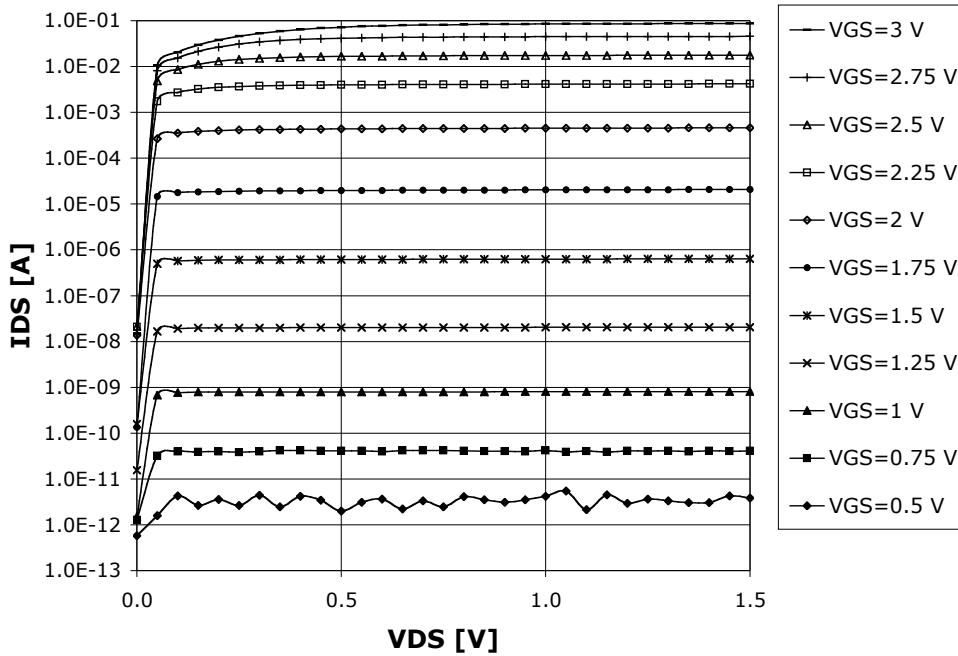
Tre dioder med samma tvärsnittsarea uppvisar nedanstående ström-spänningskaraktistika i framriktningen (A-C) och nedanstående kapacitans-spänningskaraktistika (1-3) i backriktningen. Motivera vilka kapacitans- och strömkurvor som hör till samma diod.





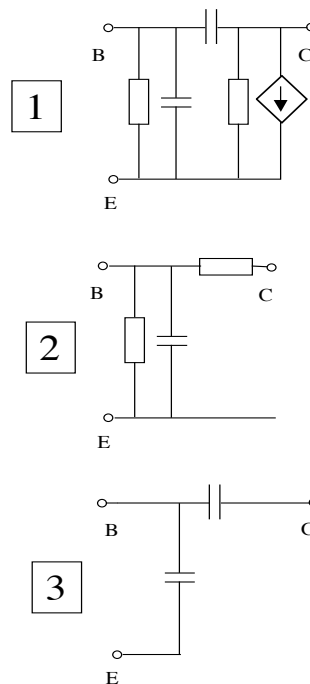
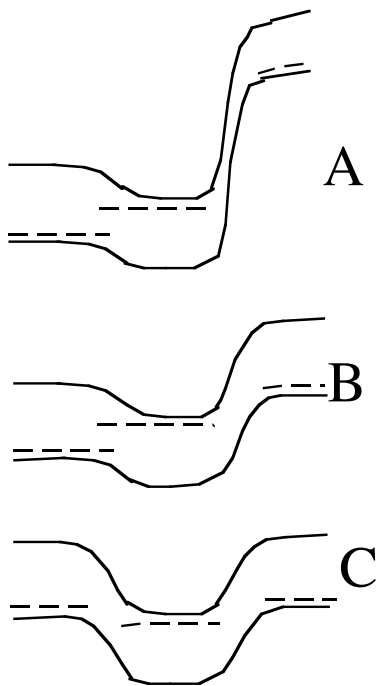
Uppgift 1c

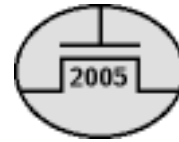
Figuren nedan visar drainströmmen som funktion av drainspänningen för en n-kanal MOSFET för olika gatespänningar. Bestäm transistorens tröskelspänning! OBS! Logskala på strömaxeln.



Uppgift 1d

Förklara vilket småsignalskretsekvivalentschema som passar till vilket energibanddiagram för en bipolartransistor!





GRUPP 2

Deluppgiften skall lösas utan andra hjälpmedel än skrivdon. Korrekt svar ger 2 poäng.

Uppgift 2, Tillverkningsteknik

Beskriv några avgörande viktiga egenskaper för en fotoresist som skall användas vid tillverkning av integrerade kretsar!

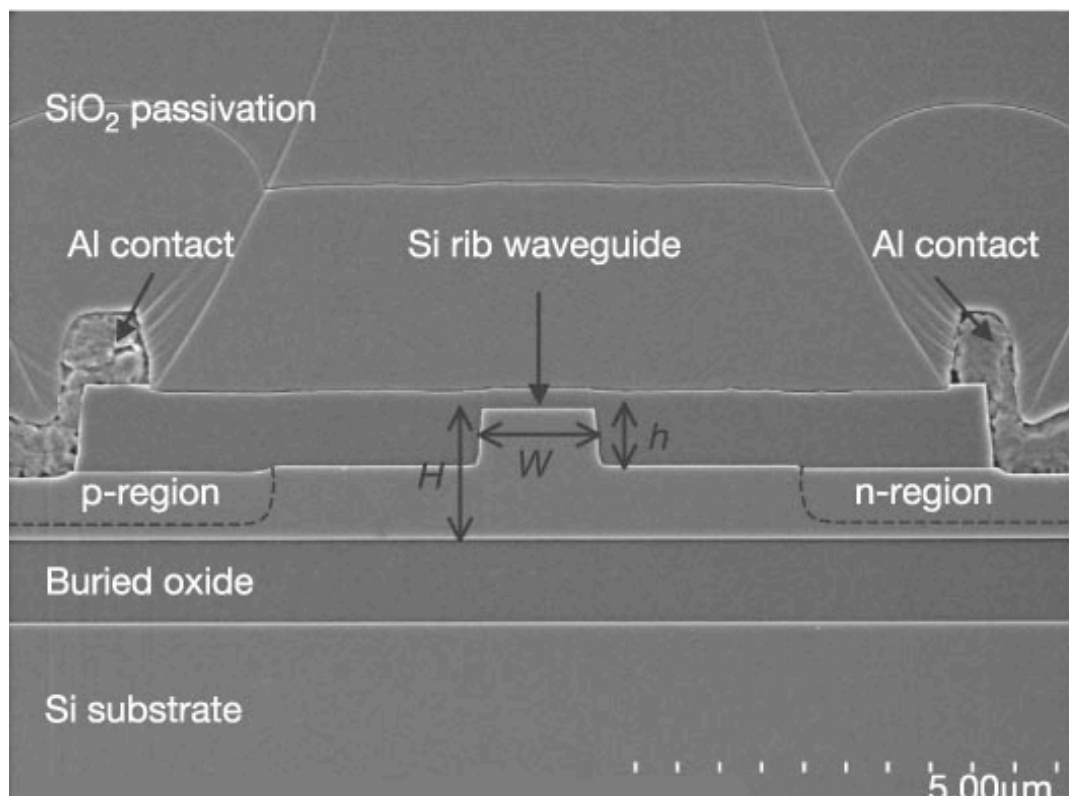


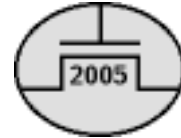
GRUPP 3

Uppgifterna får lösas med valfria hjälpmedel, vilket innebär att lösningarna till uppgifterna i grupp 1 och 2 måste ha lämnats in innan hjälpmedel får tas fram. Varje uppgift kan ge 5 poäng, där 4 poäng ges till innehållsmässigt godkänd lösning. För att få 5 poäng måste lösningen dessutom vara välmotiverad, välgjord och välstrukturerad.

Uppgift 3

I senaste numret av Nature (*Nature* vol. **433**, p. 725 – 728, "A continuous-wave Raman silicon laser", H. Rong et al.) visar Intel hur man lyckats konstruera en laser i kisel. I figuren nedan visas ett tvärsnitt av strukturen. För att fungera måste elektroner och hål som skapas av inskickade fotoner snabbt dras ut ur den optiskt aktiva delen ("rib waveguide" i figuren), vilket man åstadkommer genom att detta är ett mycket lågdopat område mellan en mycket hårdkopad p-del och en mycket hårdkopad n-del (dopkoncentration på 10^{26} m^{-3}). Strukturen kallas p-i-n diod (i=intrinsisk). För att dra ut laddningsbärarna lägger författarna spänningen -25 V mellan p- och n-områdena, och får då laddningsbärarna att försvinna från den aktiva delen på 1 ns. Hur lång tid skulle det ta att svepa ut laddningsbärarna om den optiska generationen vore försumbart låg? Förklara skillnaden mot den uppmätta tiden på 1 ns!

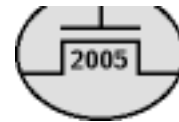




Uppgift 4

När styrspänningen ökar i en MOSFET kommer effektiva kanalmobiliteten att minska (laddningsbärarna trycks närmare oxiden). Utgå från mätdata nedan för en n-kanal MOSFET för att beräkna utgångskonduktansen (g_d) då V_{DS} ligger nära noll volt och $V_{GS} > 2$ V. Mätningen är gjord vid $V_{DS} = 5$ V.

V_{GS} [V]	I_{DS} [mA]
0.00	1.6E-11
0.20	4.7E-11
0.40	1.4E-11
0.60	4.1E-08
0.80	1.2E-04
1.00	3.7E-01
1.20	1.8E+00
1.40	6.7E+00
1.60	1.4E+01
1.80	2.3E+01
2.00	3.3E+01
2.20	4.5E+01
2.40	5.8E+01
2.60	7.1E+01
2.80	8.5E+01
3.00	1.0E+02



Tentamen 12 mars 2005

Lösningsförslag

GRUPP 1

Deluppgifterna (1a-d) skall lösas utan andra hjälpmedel än skrivdon. Varje deluppgift kan ge 2 poäng. Maximalt 6 poäng kan erhållas totalt från denna grupp och minst 5 poäng krävs för godkänt.

Uppgift 1a

För tillräckligt låga temperaturer ($<700\text{ }^{\circ}\text{C}$) så ökar resistansen med ökande temperatur (mobiliteten minskar); detektorn fungerar sannolikt så att det börjar tjuta när resistansen blir tillräckligt hög. Om vi sedan ökar temperaturen så att halvledaren blir intrinsisk så kommer resistansen istället att minska med ökande temperatur och resistansen kan då alltså sjunka under den kritiska nivån både genom en temperatursänkning såväl som genom en temperaturhöjning.

Uppgift 1b

Hög ström \rightarrow låg dopning \rightarrow låg kapacitans: A-2; B-3; C-1.

Uppgift 1c

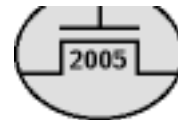
Tröskelspänningen återfinns ungefär där karakteristiken övergår från exponentiellt till kvadratisk beroende på V_{GS} , om vi tittar i mättnadsområdet. Det ser exponentiellt växande ut upp till 2,5 V ungefär, så $V_T \approx 2,5\text{ V}$. Alternativt kan man titta för vilken V_{DS} mättnad inträffar. För $V_{GS} = 2,75\text{ V}$ ser det ut att mättnad inträffar vid $V_{DS} \approx 0,5\text{ V}$, varför V_T i den skattningen blir $V_T \approx 2,3\text{ V}$.

Uppgift 1d

A-2; en framspänd övergång (BE) och en backspänd (BC) så att vi fått genombrott (spänningsfall syns över kollektordelen, och serieresistansen där begränsar strömmen).

B-1; normalt aktiv koppling.

C-3; strypt.



GRUPP 2

Deluppgifterna skall lösas utan andra hjälpmedel än skrivdon. Välj en av deluppgifterna 2a-b. Korrekt svar ger 2 poäng.

Uppgift 2a, Tillverkningsteknik

Fotoresisten måste vara känslig för den strålning man använder för att exponera; den skall sitta kvar på ytan, men gå att tvätta bort; den skall kunna fördela sig jämnt över skivan; den skall inte ändra form under processning;

GRUPP 3

Uppgifterna får lösas med valfria hjälpmedel, vilket innebär att lösningarna till uppgifterna i grupp 1 och 2 måste ha lämnats in innan hjälpmedel får tas fram. Varje uppgift kan ge 5 poäng, där 4 poäng ges till innehållsmässigt godkänd lösning. För att få 5 poäng måste lösningen dessutom vara välmotiverad, välgjord och välstrukturerad.

Uppgift 3

Om vi försummar optisk generation i "i"-området, så bortser vi helt från att det finns laddningsbärare där. Den spänning på 25 V som vi lagt på ger ett konstant fält med en styrka på ungefär 5 MV/m. En laddningsbärare som råkar dyka upp (p g a försumbar optisk generation) accelereras snabbt ut ur "i"-området. Laddningsbärarna når mättnadshastigheten (ca 10^5 m/s) på mindre än 1 ps, och vi kan räkna ut tiden det tar att svepa ut en laddningsbärare som ungefär $1 \mu\text{m}/10^5 \text{ m/s} \approx 10 \text{ ps}$. Att det tar betydligt längre tid i experimentet kan bero på att med en stark optisk generation har vi gott om laddningsbärare i "waveguiden". Det leder till att fältet där blir svagare än i de delar av "i"-området där det inte finns optisk generation. Därav blir transporten av laddningsbärare långsammare.

Uppgift 4

Enligt modell i mättnad (V_{DS} hög) kan strömmen skrivas:

$$I_{DSAT} = (k/2) * (V_{GS} - V_T)^2.$$

Utgångskonduktansen för låga V_{DS} blir (derivera ström-spänningsuttrycket i resistansområdet med $V_{DS} \approx 0$ V):

$$g_d = k(V_{GS} - V_T).$$

Från våra mätningar kan vi beräkna just $k(V_{GS} - V_T)$ ur:

$$g_d = k(V_{GS} - V_T) = 2 I_{DSAT} / (V_{GS} - V_T). \text{ Med } V_T \text{ ur data på 1 V får vi:}$$

$$g_d = 0,1 \text{ A/V med en värdesiffra.}$$



Preliminär rättningsmall Grupp 1

Tentamen 12 mars 2005

Fysik, del C

Fasta tillståndets elektronik

för D2 (FFY 171)

Mikroelektronik;

Komponenter, del A

för E2 (ETI 145)



GRUPP 1

Uppgift 1a

Ökande $R(T)$ blir minskande $R(T)$ för $T > 700$ °C	2 p
Utfrysning av donatorer ända upp till 700 °C	1+ p
Beskriver $R(T)$ men förklarar inte tillämpning i detta problem	1 p
Påpekar att materialet blir intrinsikt	1 p
Inverterat $R(T)$ beroende men i övrigt OK resonemang	≤ 1 p
Mobilitetsminskning motverkar ökning av n_i för höga T	0 p
Resistansen "går sönder"	0 p
Diskuterar pn-övergång	0 p
Ingen halvledarbaserad förklaring	0 p

Uppgift 1b

Hög ström ($V < V_{bi}$) -> låg dopning/stort w -> liten kapacitans	2 p
Låg R_s -> hög dopning/litet w -> hög kapacitans	2 p
Bra resonemang, men motstridig slutsats	1 p
Delvis OK resonemang t ex hög ström -> stort w, men med brister	1 p
Ingen halvledarbaserad motivering	0 p

Uppgift 1c

Övergång exponentiellt till "linjärt" för $I_{DS}(V_{GS})$ ($V_T \approx 2$ V)	2 p
$V_T = V_{GS} - V_{DS}$ när mättnad nås för $V_{GS} > V_T$ ($V_T \approx 2$ V)	2 p
Användande av rätt $I_{DS}(V_{GS})$ -uttryck för $V_{GS} > V_T$ ($V_T \approx 2$ V)	2 p
Användande av rätt $I_{DS}(V_{GS})$ -uttryck men för $V_{GS} < V_T$	1 p
$V_T \approx 2$ V utan tydlig härledning/motivering (tillräckligt hög ström)	1 p
$V_T < 1$ V	0 p

Uppgift 1d

Två bra motiveringar och bra matchningar (+uteslutningmetod)	2 p
En bra motivering och matchning+inget heltokigt	1 p
C-stryp-3; A-aktiv-1; B-aktiv-2	1+ p

"+" markerar att det går att tänka sig högre poäng i somliga fall – mallen inte definitivt färdig än