

Vraag stukken tentamen materiaalkunde 1 dec 99 (DEEL A)

Vraagstuk 1 (10 eenheden)

Van een volmaakt zuiver Germanium éénkristal is gegeven dat de laagfrequente waarde van de relatieve diëlektrische constante  $\epsilon_r$  gelijk is aan 16.

- a) Wat kunt U zeggen van de waarde van de brekingsindex  $n$  van dit materiaal in het derde telecom venster, dus voor licht met een golflengte rond de 1550 nm ?  
b) kunt U een aardige schatting van de waarde van  $n$  geven ? Waarop berust deze schatting?

Vraagstuk 2 (10 eenheden)

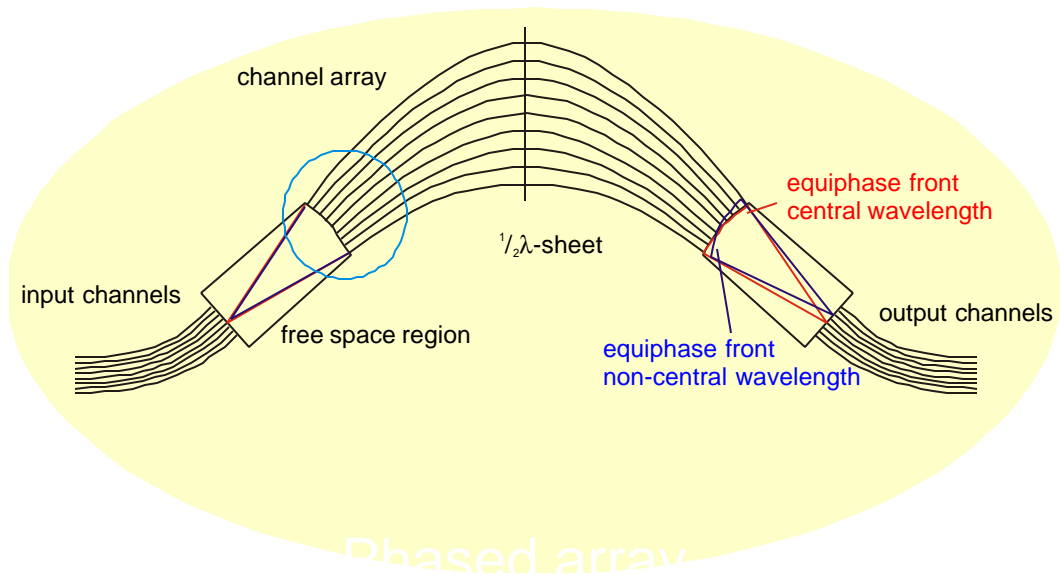
**Dit vraagstuk gaat over stof, die in het dictaat 2000 niet meer behandeld is**

Van een éénkristallijn diëlektrisch materiaal is het x-y-vlak een spiegelvlak.

Welke konsekwenties heeft dit voor het  $\epsilon_{33}$ - en het  $\epsilon_{13}$ - element van de diëlektrische  $\epsilon$ -tensor?

Vraagstuk 3 (10 eenheden)

Er is momenteel veel onderzoek gaande naar golflengte-demultiplexers van het phased array type. De functie van dit device is de informatie die door verschillende golflengtes van het licht door een glasfiber wordt aangevoerd naar golflengte te sorteren in uitgangskanalen. Vanuit een aanvoerfiber wordt het licht uit het optische telecommunicatie netwerk overgekoppeld naar het monomodale ingangskanaal van het geïntegreerd optische device en wordt vervolgens door middel van een zogenaamde star coupler qua vermogen gelijkmatig over een stelsel van monomodale kanalen van het zgn ridge type verdeeld. Het kanalen stelsel is zo ontworpen dat geen enkel kanaal van dit stelsel de aanwezigheid van de andere kanalen voelt; er treedt dus geen overkoppeling van licht van het ene kanaal naar een ander kanaal van dit stelsel op. De lengtes van de kanalen zijn zo op elkaar afgestemd dat voor elke golflengte zulke fase verschillen tussen de de kanalen verlatende lichtbundels zijn ontstaan, dat als gevolg van interferentie in het vlak van de opvangkanalen vrijwel alle licht van een bepaalde golflengte in het voor deze golflengte bestemde opvangkanaal wordt geconcentreerd. In de gebieden tussen het aanvoerkanaal en het kanalenstelsel en tussen het kanalenstelsel en de opvangkanalen bestaat het device uit een slabguide; het licht is daarin dus alleen in de transversale maar niet in de laterale richting opgesloten. In onderstaande figuur is een phased array weer gegeven, dat in staat is vier verschillende golflengtes uit elkaar te halen. Om een reden waar we hier niet verder op in gaan, heeft het in de tekening niet één input kanaal maar meerdere input kanalen.



Voor een goed functioneren van dit device maakt men vaak in het midden van het kanalenstelsel een smalle gleuf loodrecht op de kanaalrichting, waarin vervolgens een  $\frac{1}{2}\lambda$ -plaatje (een zgn retardation plate) wordt gemonteerd. Hoewel in dit plaatje geen kanalen lopen wordt toch vrijwel alle licht van een kanaal aan de ene kant van het plaatje naar het corresponderende kanaal aan de andere kant van het plaatje overgedragen.

Nu komt de **vraag**: waarom zet men dat  $\frac{1}{2}\lambda$ -plaatje in dat phased array? m.a.w. wat is de specifieke functie van dit plaatje in het phased array? Aanwijzing : vraag U af wat het  $\frac{1}{2}\lambda$  plaatje met een mode kan doen)

Vraagstuk 4 ( 20 eenheden)

**Hoewel dit vraagstuk over stof gaat, die in het dictaat 2000 niet meer behandeld wordt is het toch zinvol om naar de structuur van dit vraagstuk te kijken**

Stel:

- U heeft een uitstekende expertise in microtechnologie en U kunt alle microtechnologische apparatuur uitstekend bedienen.
  - U bent goed vertrouwd met allerlei karakterisatie technieken.
  - Alle apparatuur die U zou willen gebruiken staat in het MESA<sup>+</sup> clean room lab direct tot Uw beschikking.
  - Ook het dictaat materiaalkunde staat tot Uw beschikking
  - U krijgt de opdracht een geïntegreerd optisch device te maken met de volgende specificaties:
- het device bestaat uit de volgende veellagen structuur, die volgens in het MESA<sup>+</sup> cleanroom lab aanwezige standaardprocessen (zie literatuur in het dictaat) gemaakt worden.: op een Silicium wafer zal door thermische oxidatie een SiO<sub>2</sub> -laag

aangebracht worden, hierop mbv LPCVD een  $\text{Si}_3\text{N}_4$  -laag, waarop uiteindelijk een met PECVD gemaakte  $\text{SiO}_2$  cladding laag zal worden aangebracht. In de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  laag zal mbv photolithografie en etsen een bimodaal kanaal van het ridge type worden aangebracht voorzien van een tralie (grating). De functie van het device is om van een aangevoerde  $\text{TE}_0$  mode tussen de 95 en 100 % van het vermogen om te zetten in een  $\text{TE}_1$  mode.

- De golflengte van het gebruikte licht is  $2\pi/10$  micrometer.
- Voor deze grating assisted coupling zijn een aantal relaties relevant.  
Voor een verliesvrij systeem wordt het overgekoppelde vermogen gegeven als

$$P_{10} = (1/s^2) C_{10}^2 \sin^2(sL),$$

Waarbij

$P_{10}$  het deel van het  $\text{TE}_0$  mode vermogen is dat naar de  $\text{TE}_1$  mode is overgekoppeld.

$L$  de lengte van de grating is

$C_{10}$  de zgn koppelconstante is.

Verder is  $s \equiv (C_{10}^2 + 1/4 \Delta\beta^2)^{1/2}$  met  $\Delta\beta \equiv \beta_0 - \beta_1 - 2\pi/\Lambda$

Waarin  $\beta_i \equiv$  de propagatieconstante van mode  $\text{TE}_i$  en  $\Lambda \equiv$  de periode van de grating

In dit vraagstuk nemen we aan dat de door U gewenste eigenschappen van de grating dwz de waardes van  $\Lambda$ ,  $C_{10}$  en  $L$  met een oneindig grote precisie zijn te realiseren.

NB  $(1/x^2) \sin^2 x$  is de zgn sinc- functie waarvan het verloop in onderstaande figuur is gegeven:

U mag  $U_w$  IO systeem als verliesvrij benaderen.

Aan U staat in principe eveneens het b-V diagram voor TE modes ter beschikking, waarbij

$b$  de genormaliseerde effectieve index is;  $b \equiv (N_{\text{eff}}^2 - n_s^2)/(n_f^2 - n_s^2)$

Met  $n_f$ ,  $n_s$  en  $n_c$  de brekingsindices van respectievelijk de core- de substraat en de cladding-laag

en  $V \equiv 2\pi/\lambda \cdot d (n_f^2 - n_s^2)^{1/2}$  met  $\lambda$  de vacuum-golflengte van het gebruikte licht.

Dit diagram is hier niet weergegeven, omdat daadwerkelijk gebruik te ver zou voeren.

### Vragen:

a) In de aanpak van dit realisatieprobleem kunt U diverse fasen onderscheiden. Geef aan welke fasen dat zijn en waardoor deze zich kenmerken.

b) Geef aan wat U in elk van deze fasen met betrekking tot dit specifieke probleem wilt doen en waarom.

c) Laat voor enkele fasen (niet de realisatie zelf en de karakterisatie) iets zien van Uw uitwerking van dit probleem.

NB Er wordt van U verwacht, dat U Uw beantwoording van vraagstuk 4 in ca 2 tot 3 pagina s kunt geven. Besteed aan deze vraag niet meer tijd dan maximaal 3 kwartier tot een uur. Als U onzeker van bepaalde dingen bent geef dan deze onzekerheden aan.

### Ad vraagstuk 1

Polarisatie kan worden opgebouwd uit drie componenten de elektronenpolarisatie, de ion polarisatie en de permanente dipool –polarisatie.

Het eenkristal is volkomen zuiver ; het bevat dus alleen maar germanium atomen. Dwz er zijn geen verontreinigingen aanwezig, die permanente dipolen zouden kunnen geven en er zijn geen geladen deeltjes aanwezig, die ionpolarisatie zouden geven. In dit kristal komt dus de enige bijdrage van de elektronen polarisatie. Alleen de elektronenpolarisatie bepaalt dus de waarde van de laagfrequentie relatieve diëlektrische constante  $\epsilon_{r,stat}$ . In het infrarode frequentie gebied is de frequentie van de aangeboden e.m. trillingen nog beneden de resonantiefrequenties van de elektronen dus de elektronen polarisatie doet nog geheel mee bij deze frequenties. Dit betekent dat voor dit materiaal geldt  $\epsilon_{r,stat} = n^2$  dwz  $n = 4$ .

### Ad vraagstuk 2.

Relevant voor dit vraagstuk zijn de pg s 22 en 23 van het dictaat.

Als het xy vlak een spiegelvlak is betekent het dat de operatie spiegeling volgens dit vlak wordt voorgesteld door de a matrix

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

toepassing van de relatie op de twee na laatste regel van pg 22 laat zien dat  $\epsilon'_{33} = \epsilon_{33}$  en  $\epsilon'_{13} = -\epsilon_{13}$ . Dit betekent  $\epsilon_{13} = 0$  en  $\epsilon_{33} \neq 0$

### Ad vraagstuk 3

Hier is relevant pg 32. Hier is te lezen dat een  $\frac{1}{2} \lambda$  plaatje bij een juiste orientatie van zijn assen tov de assen van de waveguide in staat is om de polarisatie richting 90 graden te draaien, dwz TE licht in een waveguide wordt omgezet in TM licht en omgekeerd. Men gebruikt dit plaatje omdat uit de fiber zowel TE licht als TM licht komt en men wil dat beide lichtsoorten van dezelfde golflengte even efficiënt in het voor deze golflengte bestemde opvangkanaal terecht komen. Dit betekent dat TE en TM modi bij het doorlopen van een kanaal uit het kanalenstelsel er met dezelfde fase uit moeten komen . Dit zou vereisen, dat de propagatieconstanten van de  $TE_0$  en  $TM_0$  mode precies aan elkaar gelijk zouden moeten zijn. Dat is in de praktijk niet te verwezenlijken. De oplossing is nu het licht dat in de eerste helft van het kanaal als een TE mode propageert in de tweede helft als een TM mode te laten propageren en andersom. Op deze manier komt al het vermogen van een bepaalde golflengte dat door zo een kanaal propageert onafhankelijk van de polarisatie van de mode met dezelfde fase bij de uitgang van het kanaal aan.

### Ad vraagstuk 4

Voor de verdeling in fasen is het artikel, dat in het dictaat staat op de 79-85 erg relevant.

In een eerste fase wordt nagegaan of de *vraagstelling* eenduidig is en of het probleem in de juiste termen gesteld is. In een tweede fase vindt een *analyse* van het probleem plaats. Als vervolg op deze analyse wordt de vraag (een device met een bepaalde functie) omgezet in een *ontwerp*, waarin de eisen aan de te maken structuur duidelijk naar voren komen. Vervolgens wordt in een *tolerantieanalyse* op basis van de technologische toleranties nagegaan of m.b.v. de beschikbare technologieën aan de structureisen voldaan zal kunnen worden.

In een vierde fase vindt op basis van de analyse de te volgen *strategie* gedefiniëerd. In volgende fasen zal het device *gerealiseerd* moeten worden en tenslotte *gekaracteriseerd*.

Nu gaan we nader op deze fasen in.

*Vraagstelling.*

-Allereerst moet worden gekeken of de vraagstelling eenduidig is. Naar mijn mening is dit het geval.

*Analyse.*

-gegeven is dat de structuur met de in het MESA<sup>+</sup> cleanroom lab aanwezige gestandaardiseerde technologieën gemaakt zal worden. Door te kijken naar tabel 1 op pg 80 van het dictaat is dan onmiddellijk te zien wat de brekingsindices van de diverse lagen zijn en wat de toleranties in deze waarden en in de waarden van de diktes van de lagen zijn.

Een tweede punt is na te gaan welke vrije parameters beschikbaar zijn. Dat zijn er niet zoveel, in feite de laagdiktes, de breedte van het kanaal, de ridgehoogte en de eigenschappen van de grating maw de parameters  $\Lambda$ ,  $L$  en  $C_{10}$ . De diktes van de substraat- en cladding-laag zullen worden bepaald door de eis dat in de uiteindelijke veellagenstructuur maar heel weinig van het evanescente veld buiten de drie lagen zal uitsteken. Dus zijn er maar zes vrij te kiezen parameters over.

-een derde punt betreft de vertaling van de functie eisen in structuur eisen.

De structuur moet bimodaal zijn, hetgeen eisen stelt aan de samenhang van de cross sectionele dimensies van de ridge type kanaal geleider.

Tav het primaire gewenste gedrag wijst bestudering van de formule voor  $P_{10}$  uit dat volledige overkoppeling van het vermogen alleen haalbaar is als  $\sin(sL) = 1$  en  $s^2 = C_{10}^2$ . Aan de laatste eis kan alleen voldaan worden als  $\Delta\beta = 0$  dwz als  $\beta_0 - \beta_1 = 2\pi/\Lambda$ . Aan de eerste voorwaarde wordt dan alleen voldaan als  $sL = C_{10} L = \pi/2 + l 2\pi$ , waarbij  $l$  een willekeurig geheel getal is. Om  $L$  niet te groot te maken is  $l=0$  een zinvolle optie. Hoewel aan de gestelde eisen door vele structuren kan worden voldaan, kan niet worden volstaan met er zo maar een uit te kiezen. De beoogde structuren kunnen nooit met oneindig grote precisie gemaakt worden en een tolerantie analyse is nog vereist.

*Tolerantie analyse*

We hebben gesteld dat  $C_{10}$  de lengte van de grating  $L$  met elke gewenste nauwkeurigheid te maken zijn. dwz dat het bereiken van de gewenste relatie  $L = \pi/2 C_{10}$  geen problemen zal geven en de tolerantie analyse zich geheel kan concentreren op de nauwkeurigheid waarmee  $\Delta\beta = 0$  te realiseren zal zijn. Deze wordt bepaald door de nauwkeurigheid waarmee  $\beta_0 - \beta_1$  en  $\Lambda$  ingesteld kunnen worden. Van de laatste parameter is gesteld dat ze perfect gemaakt kan worden.

De analyse kan nu in principe voortgezet worden, waarbij gekeken wordt welke s-waarde met 95 % overkoppeling zou corresponderen, waaruit geconcludeerd zou kunnen worden met welke nauwkeurigheid  $\beta_0 - \beta_1$  gemaakt zou moeten worden om binnen het gegeven bereik te zitten. Hierbij kan het b-V diagram een belangrijke functie vervullen. Binnen de gegeven randvoorwaarden zijn de dikte van de corelaag, de breedte van het kanaal en de ridgehoogte de enige voor dit aspect relevante parameters. Deze parameters zijn al ondeling gerelateerd door de eis van bimodaliteit. Binnen het door deze eis toegestane variatie bereik zou gekeken kunnen worden voor welke dikte, breedte en ridgehoogte  $\beta_0 - \beta_1$  de geringst mogelijke fout zou vertonen. Dat is een flink werk en binnen het bestek van deze vraag kan hierop geen antwoord gegeven worden.

Op basis van deze tolerantieanalyse kan nu de meest zinvolle structuur *ontworpen* worden met als variabelen de dikte van de corelaag, de kanaalbreedte, de ridgehoogte en de grating eigenschappen  $\Lambda$ , L en  $C_{10}$ . Van deze structuur(en) kan afgeleid worden welke diktes de substraatlaag en de cladding laag moeten hebben.

Er zijn uiteindelijk twee conclusies mogelijk: de eis ligt binnen de technologische toleranties of ze ligt buiten de technologische toleranties.

Omdat maar een zeer beperkte tijd voor het realiseren van een eindfunctie gegeven is, zal het niet mogelijk zijn om de technologie nog verder te optimaliseren, dwz de toleranties nog kleiner te maken.

Een *zinvolle strategie* is nu om naast het optimale ontwerp nog een aantal ontwerpen te maken, waarbij  $\Delta\beta$  nominaal iets van 0 afwijkende waarden zou vertonen. In welke range dit ligt en hoeveel dit er moeten zijn wordt geheel door de geschatte onnauwkeurigheid bepaald. Omdat het zinvol is om deze ontwerpen in dezelfde proces run te kunnen realiseren, zullen de verschillen tussen de diverse ontwerpen in de masker lay out moeten zitten. Dit betekent een variatie in de breedte van het kanaal of in de periode van de grating.

Vervolgens komen de laatste twee fases de *realisatie* en de *karakterisering*. Hier gaan we verder niet op in.

Van dit vraagstuk vier verwachten we niet dat U deze complete beschrijving van de verschillende fasen gegeven heeft. We zijn benieuwd hoever U gekomen bent.