

# Thermo-optische fused-coupler schakelaar\*

*Drs. K W Benoist, FEL-TNO, 's-Gravenhage  
Ing W.J de Vries, DNL/PTT, Leidschendam  
Drs M B J Diemeer DNL/PTT, Leidschendam*

\* onderstaand artikel is gebaseerd op onderzoek verricht op het dr Neherlaboratorium PTT te Leidschendam

## 1. Inleiding

Sinds de opkomst van de optische glasvezel zijn er pogingen ondernomen om componenten te ontwikkelen, die licht tussen diverse glasvezels kunnen schakelen. Tot nu toe ging dat voornamelijk mechanisch, wat hoge eisen stelt aan de schakelaar om lage verliezen te garanderen. Gevoel hieraan is dat de mechanische schakelaars duur zijn.

Tegenwoordig doen geïntegreerde optische componenten hun intrede. Dit zijn in miniatur uitgevoerde schakelingen op een vlak substraat, waarop optische bewerkingen mogelijk zijn. Deze ontwikkeling is echter pas recent ingezet waardoor kant en klare producten nog niet commercieel voorhanden of heel duur zijn.

Voorbeelden van commercieel verkrijgbare geïntegreerde optische componenten zijn schakelingen op basis van  $\text{LiNbO}_3$ . Een alternatief is het niet-mechanisch schakelen met glasvezels, waarbij de basis een directionale coupler<sup>1</sup> (richtingskoppelaar) is. Er zijn verschillende uitvoeringsvormen van directionale couplers: *polished couplers*, couplers op basis van D-fibers en *fused couplers*.

In dit artikel wordt een schakelaar beschreven op basis van een *fused coupler*<sup>2</sup>. Het schakelen geschiedt met het thermo-optisch effect<sup>3</sup>, d.w.z. het afhankelijk zijn van de brekingsindex van een materiaal van de temperatuur.

Voordelen van een dergelijke schakelaar zijn een eenvoudige en dus goedkope fabricage van de schakelaar in vergelijking met geïntegreerde optische componenten en een zeer lage demping omdat gewerkt kan worden met directe vezelverbindingen. Een nadeel is echter de beperkte snelheid van de schakelaar, deze wordt namelijk beperkt door de diffusiesnelheid van de warmte in het component. Voor sommige toepassingen hoeft dit echter geen bezwaar te zijn. Zo kan de schakelaar bijvoorbeeld zijn toepassing vinden in een glasvezel LAN-systeem, dit is een glasvezelring waaraan stations op en af kunnen worden geschakeld. Verder kan de schakelaar bijvoorbeeld op het gebied van glasvezelsensoren gebruikt worden.

## 2. De directionale coupler

Zoals in de inleiding al is vermeld is de basis van de thermo-optische schakelaar een directionale coupler gemaakt van glasvezels.

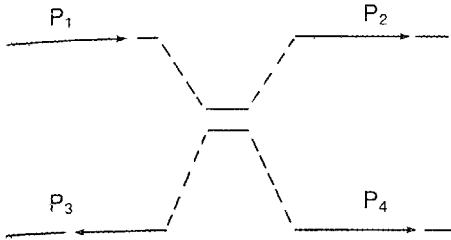
Het principe van zo'n koppelaar berust op evanescent field coupling, d.w.z. het overlappen van het elektrische veld in een vezel met een tweede eraan parallel gelegen vezel. Het veld in een vezel is niet beperkt tot de kern maar strekt zich uit in de cladding. Door nu de twee vezelkernen dicht bij elkaar te brengen kan het elektrische veld van de ene vezel de andere overlappen, waardoor in die vezel een elektrisch veld

wordt opgebouwd Licht koppelt dan over van de ene naar de andere vezel De hoeveelheid licht dat overkoppelt bepaalt de koppelfactor van de koppelaar

$$\text{koppelfactor} = \frac{P_4}{P_2 + P_4} \times 100\%$$

$$\text{excess loss} = 10 \log \frac{P_2 + P_4}{P_1} \text{ (dB)}$$

$$\text{directivity} = 10 \log \frac{P_3}{P_1} \text{ (dB)}$$

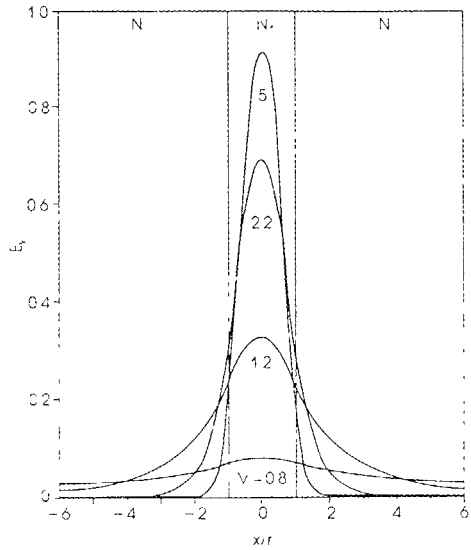


De koppelfactor wordt opgegeven bij een bepaalde golflengte, nl de golflengte waar- bij de koppelaar is geproduceerd De kop- pelaar is namelijk golflengte selectief De mate van koppeling tussen de twee vezels van de koppelaar wordt bepaald door de koppelcoëfficiënt Deze is afhankelijk van de afstand tussen de twee kernen, de interactie-lengte en de brekingsindex van het materiaal rond de vezels

Het productieproces van een fused coupler is tamelijk eenvoudig Het komt erop neer dat twee vezels, die getwist zijn, door een vlam worden verhit, terwijl aan de vezels wordt getrokken Door de trekkracht komen de vezels tengevolge van de twisting naar elkaar toe en fuseren. Tevens worden de vezels in het gefuseerde gedeelte steeds dunner Hierdoor zal het elektrisch veld in de vezel zich meer uitstrekken tot het zelfs buiten de vezel treedt Dit ver- gemakkelijk de interactie tussen de twee vezels (fig 1)

Bij het begin van de fusie treedt nog geen koppeling op. Op een gegeven moment be- gint koppeling op te treden ten gevolge van

## EVANESCENT FIELD COUPLING



Figuur 1

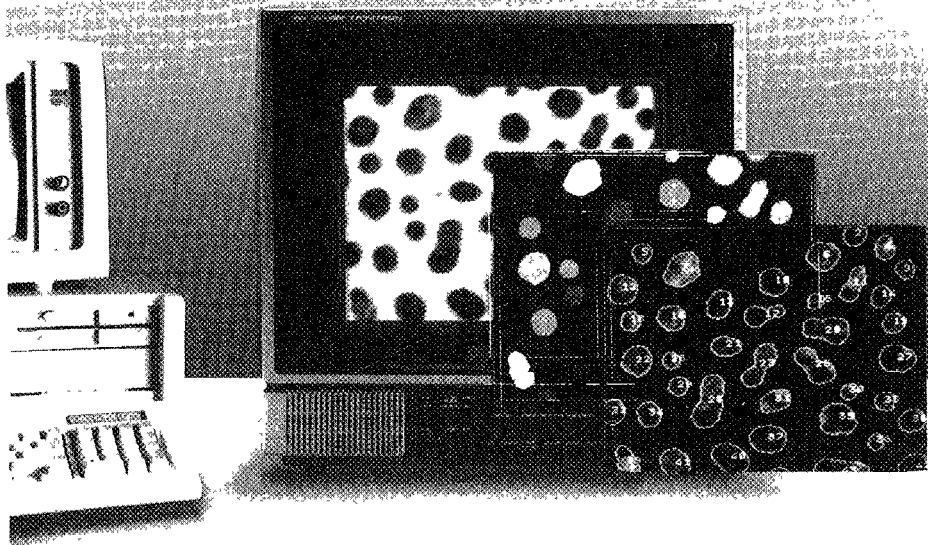
Electrische veldverdeling in een glasvezel voor diverse waarden van de genormaliseerde fre- quentie  $V = 2\pi R (N_1^2 - N)^{1/2} / \lambda$ . R is de straal van de kern  $\lambda$  is de golflengte van het licht  $N_1$  resp N de brekingsindex van de kern resp de cladding Duidelijk te zien is dat het elektrisch veld zich meer in de vezel uitstrekt voor kleinere waarden van V

de uitrekking en het samensmelten Figuur 2 geeft het fusieproces weer als functie van de tijd

Bij punt A heeft de koppelaar één volledige overkoppeling ondergaan Hierna koppelt het vermogen weer terug naar de oor- spronkelijke vezel Bij punt B is het vermogen weer teruggekoppeld, we noemen dit één vermogensoscillatie van het licht Hoe meer oscillaties het proces heeft door- lopen hoe selectiever de koppelaar is ge- worden

Door het proces op een bepaald punt te stoppen wordt een koppelaar verkregen met een bepaalde koppelfactor en selecti- viteit

# Veelzijdige image processing binnen ieders handbereik.



De tijd dat image processing uitsluitend projektmatig kon worden toegepast en dan ook nog eens middels kostbare en omvangrijke apparatuur, behoort tot het verleden

Sinds kort is er TIM. Een image processing softwarepakket dat feilloos z'n werk doet op IBM of compatibele PC's. En "met z'n werk doen" bedoelen we niet het simpelweg bewerken van beelden, maar eerder het analyseren van beelden. Hoe u het ook wenst

Ingezet als kwaliteitsbewaker kan TIM u waarschuwen wanneer er normen binnen een productieproces overschreden worden. Als analist zou hij rode van witte bloedlichaampjes kunnen onderscheiden, ze tellen, de maat opnemen of hun verhouding t.o.v. het plasma kunnen vaststellen.

Maar even gemakkelijk verwijderd TIM de beeldruis uit satellietfoto's of bepaalt hij de lichtdoorlaatbaarheid van glas. Bovendien kan TIM, naast de

gevonden gegevens verwerken, registreren en manipuleren.

De mogelijkheden van het TIM-programma gaan te ver om ze in deze advertentie stuk voor stuk te behandelen. Sterker, vanuit uw vak zult u talloze toepassingen kunnen noemen waar u nooit aan hebben gedacht.

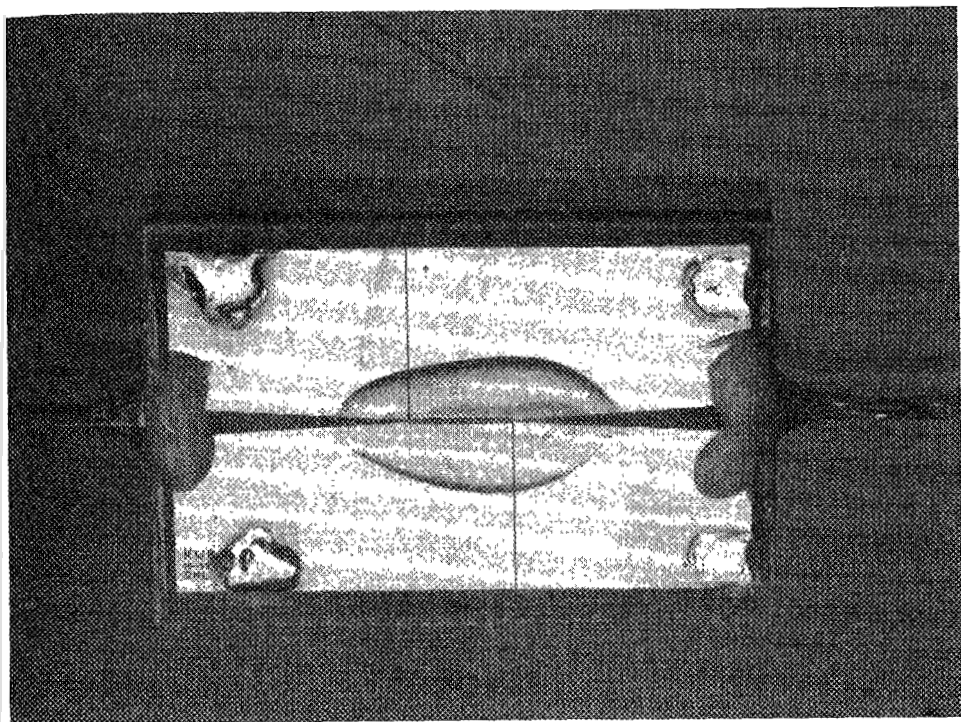
Vraag daarom eens naar aanvullende informatie of een vrijblijvend gesprek over uw specifieke wensen, waarin TIM ongetwijfeld een welkome bijdrage kan leveren.



**Difa Measuring Systems BV**  
Druivenstraat 25  
4816 KB Breda, The Netherlands  
Phone 31 (0)76-710144 \*

Telex 54953  
Telefax 31 (0)76-711953

**TIM - THE ULTIMATE IMAGE PROCESSING**



Figuur 2  
Transmissie van de doorgaande vezel tijdens het fusieproces

### 3. Schakelen m.b.v. een fused coupler

De koppelcoëfficiënt van een koppelaar hangt af van een brekingsindex van het medium rond de koppelaar<sup>4</sup>. Omdat in het gefuseerde gedeelte van de koppelaar de vezels zeer dun zijn ( $\varnothing = 8\mu\text{m}$ ) zal het elektrisch veld dat zich in de vezels bevindt zich ver uitstrekken in het omringende medium van de vezels (lucht in dit geval). De koppelfactor zal daarom afhangen van de brekingsindex van het omringende medium. Is men in staat de brekingsindex van dat medium te variëren, dan kan de koppelfactor van de koppelaar beïnvloed worden. Wanneer de koppelfactor in voldoende mate te variëren is zodat gekozen kan worden door welke van de twee vezels het licht zich voortplant dan is een schakelaar in de vorm van een variabele koppelaar het resultaat.

Het is dus zaak de koppelzone van een koppelaar in te smeren met een medium, waarvan de brekingsindex gemakkelijk is te beïnvloeden. Dit kan bijvoorbeeld door druk, een elektrisch veld (bij electro-optische stoffen) of, zoals in dit onderzoek is gedaan, door de temperatuur (thermo-optisch effect).

Om te kunnen schakelen moeten wel eisen aan het medium worden gesteld. Ten eerste moet de uiteindelijk haalbare brekingsindexvariatie voldoende zijn om daadwerkelijk te schakelen. Verder moet de brekingsindex zelf lager zijn dan van de vezel zelf om te voorkomen dat het licht uit de vezelstructuur lekt (stripping). Ten slotte moet het medium optisch zuiver zijn, dat wil zeggen een lage demping hebben bij de gebruikte golflengte.

#### 4. Realisatie thermo-optische schakelaar

Om uiteindelijk van een fused coupler een schakelaar te maken moet eerst worden onderzocht of de koppelfactor wel voldoende is te beïnvloeden om optisch vermogen te kunnen schakelen. Daartoe zijn verschillende soorten koppelaars geproduceerd d.w.z. koppelaars met een verschillend aantal vermogensoscillaties zijn geproduceerd.

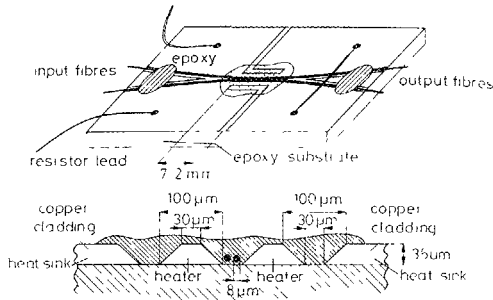
Hoe meer oscillaties de koppelaar heeft ondergaan, hoe dunner de vezels en hoe meer het elektrisch veld zich zal uitspreiden buiten de vezels. We verwachten dat koppelaars met meer oscillaties dan ook gevoeliger zullen zijn voor brekingsindexvariaties. De koppelaars zijn gemaakt van monomode glasvezels.

De koppelaars zijn ingesmeerd met een thermo-optisch medium en vervolgens is de temperatuursafhankelijkheid van de koppelfactor bepaald door de koppelaars te verwarmen in een oven tot 200°C. Het blijkt inderdaad dat koppelaars, die het meest worden uitgerekt ook het gevoeligst zijn. Met een temperatuurstoename van 130°C is het mogelijk het optisch vermogen volledig te schakelen.

De volgende stap is om de koppelaar snel te verhitten en af te koelen wat de snelheid van het schakelen bepaalt.

Hiertoe is de volgende methode gebruikt om de koppelaars op te warmen. De koppelaars worden met epoxylijm op een printplaat bevestigd, dat is een met glasvezel verstevigd epoxy laminaat met daarop een koperlaag (35µm dik). De thermische eigenschappen van het substraat zijn een lage thermische expansie van het glasweefsel met een laag thermisch geleidingsvermogen van het epoxy en een hoog thermisch geleidingsvermogen van het koper. Het substraat kan een temperatuur van 150°C doorstaan. Deze eigenschappen zijn gunstig omdat twee parallelle koperbaantjes (heaters) uit de koperlaag worden geëët met lithografische technieken. De

basis van de heaters heeft een breedte van 100 µm, de top is 30 µm breed. Het omgekeerde geldt voor de groef tussen de twee heaters. Het koppelgedeelte van de fused coupler wordt nu geplaatst in de V-groef tussen de heaters en ingesmeerd met een thermo-optische stof (fig. 3)



Figuur 3

Schematisch overzicht en doorsnede van de thermo-optische schakelaar

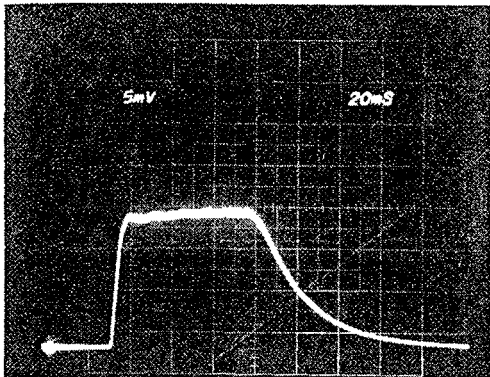
De schakelaar wordt opgewarmd door een elektrische stroom te sturen door de twee heaters, die in serie zijn geschakeld. De warmte diffundeert lateraal via het thermo-optisch medium naar de vezels. De lage warmtegeleiding van het substraat voorkomt dat de warmte te veel weglekt in het substraat. Wordt de schakelaar uitgeschakeld dan zal de warmte wegvloeien via de koperen heaters naar het omringende koper waarop eventueel koelelementen geplaatst kunnen worden om de warmteafgifte te bevorderen. De opwarming geschiedt d.m.v. een gereguleerde stroombron, die de weerstand van de heaters als temperatuursensor gebruikt (temp. coëff.  $4 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

De stroombron meet de weerstand, vergelijk dit met een referentieweerstand en geeft een stroom af evenredig met het verschil zolang de heaterweerstand lager is dan de referentieweerstand (proportionele regeling). Op deze wijze kan de temperatuur van de heaters zeer snel op elke waarde tussen 50°C en 500°C gebracht worden en wordt dan stabiel gehouden op die temperatuur.

## 5. Resultaten

Omdat de uiteindelijke koppelfactor van de koppelaar na insmeren met het thermo-optische medium niet voorspelbaar is moet de schakelaar eerst in de juiste beginstand (uitstand) gebracht worden met een biasstroom, die de koppelaar opwarmt totdat de juiste koppelfactor is bereikt, d.w.z. 0% of 100% koppelverhouding. Daarna kan pas de schakelstroom worden ingeschakeld, die de toestand van de koppelaar omzet ("aan"-stand). Men schakelt dus in feite tussen 2 temperaturen.

Een stroom van ca. 2 Ampere was nodig om het optisch vermogen in een vezel volledig over te koppelen naar de andere vezel. De snelheid van de schakelaar, die wordt aangestuurd door de gereguleerde stroombron, werd gemeten op een oscilloscoop. De "aan"-stand werd bereikt binnen 5 msec, de "uit"-stand in 80 msec (fig. 4).



Figuur 4  
Output power van de schakelaar tijdens aan- en uitschakelen, gemeten aan één van de uitgangsporten.

Een reductie van de uitschakeltijd kan bereikt worden door een betere warmteafvoer en een reductie van de thermische massa van de heaters. Dit kan bijvoorbeeld door de ruimte tussen de twee heaters en het omringende koper te verkleinen. De aanschakeltijd zal niet of nauwelijks vermin-

derd kunnen worden, omdat de beperkende factor de diffusietijd van de warmte van de heaters naar het thermo-optisch medium is. In een laag van enkele microns worden diffusietijden van enkele milliseconden verwacht, wat aangeeft dat de vezels zeer dicht tegen de heaters aan zitten. De stabiliteit van de schakelaar in de "aan"-stand is bepaald door de output-power te monitoren gedurende enkele uren. De output bleef constant binnen variaties van  $\pm 0,02$  dB/uur.

De optische verliezen zijn zeer klein, zij zijn typisch 0,1 dB. Overspraak van de schakelaar, geïntroduceerd door de spectrale breedte van de bron was  $-18$  dB.

De bandbreedte van de schakelaar is ook gemeten, deze bleek 108 nm.

De smalle bandbreedte kan een probleem vormen wanneer de schakelaar wordt aangestraald met een bron met een bandbreedte van dezelfde orde-grootte, b.v. een led.

De schakelaar is golflengte-selectief (fig. 5), het gedrag wordt bij benadering gegeven door

$$g(\lambda) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \left\{ \frac{\pi}{\Delta\lambda_k} (\lambda - \lambda_k) \right\}$$

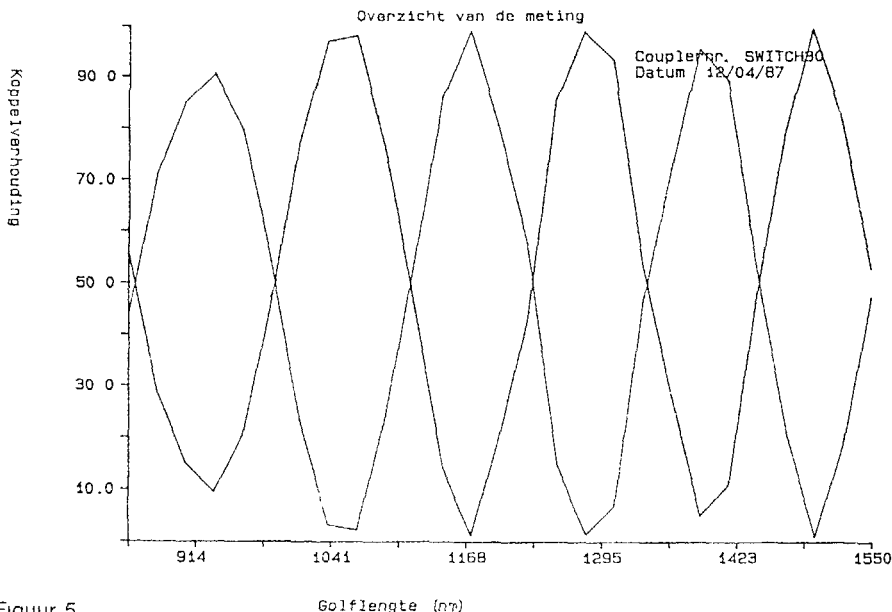
$\lambda_k$  = golflengte waarbij de koppelfactor 100% is

$\Delta\lambda_k$  = bandbreedte schakelaar

Het vermogen uit de schakelaar wanneer men deze met een led, met golflengte  $\lambda_1$ , aanstraalt is in de ene outputvezel evenredig met

$$P_1 = \int_{-\infty}^{\infty} g(\lambda)f(\lambda)d(\lambda),$$

waarbij  $f(\lambda)$  het golflengteprofiel is van de led, en in de andere vezel met  $P_2 = 1 - P_1$ .



Figuur 5 Golflengte afhankelijkheid van de koppelfactor van een schakelaar  
nemen we voor het profiel van de led een Gauss-vorm aan

$$f(\lambda) = \frac{2\sqrt{\ln 2}}{\Delta\lambda_1 \pi} e^{-\frac{\ln 2(\lambda - \lambda_1)^2}{(\Delta\lambda_1/2)^2}}$$

dan volgt

$$P_1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \left\{ \frac{\pi}{\Delta\lambda_k} (\lambda_1 - \lambda_k) \right\} e^{-\left[ \frac{\pi \Delta\lambda_1}{4\sqrt{\ln 2} \cdot \Delta\lambda_k} \right]^2}$$

Voor  $\Delta\lambda_k = 108 \text{ nm}$  en  $\Delta\lambda_1 = 60 \text{ nm}$  blijkt er een overspraak te zijn van minimaal  $-9 \text{ dB}$  (12%)

## 6. Conclusie

Het onderzoek heeft aangetoond dat op eenvoudige en goedkope wijze van een fused coupler een thermo-optische schakelaar is te maken. De schakelaar heeft een lage demping (0.1 dB).

Nadeel is de beperkte snelheid en de golflengte selectiviteit, vooral als de schake-

laar gebruikt wordt in combinatie met een breedbandige bron. Optimalisatie van de warmte-afvoer zal de snelheid nog kunnen vergroten

Verder zou een andere thermo-optische stof, met een hogere temperatuurscoëfficiënt van de brekingsindex, gebruikt kunnen worden zodat een minder gevoelige en dus minder selectieve koppelaar als basis kan dienen

De schakelaar is een goed alternatief voor bijvoorbeeld dure geïntegreerd optische componenten, zeker als het toepassingen betreft waarbij de beperkte snelheid geen groot bezwaar is

## Literatuur

- 1 Tekippe V J, Willson W R, Laser focus/electro-optics, may 1985 pp 132-143
- 2 Bures J, Lacroix S, Lapierre J, Appl Opt 22, pp. 1918-1922, 1983
- 3 Diemeer M.B.J, De Vries W J, Benoist K.W., Electr Lett 24, pp 457-458, 1988
- 4 Lamont R G, Johnson D C., Hill K O, Appl Opt 24, pp 327-332, 1985