

Optische Schalter

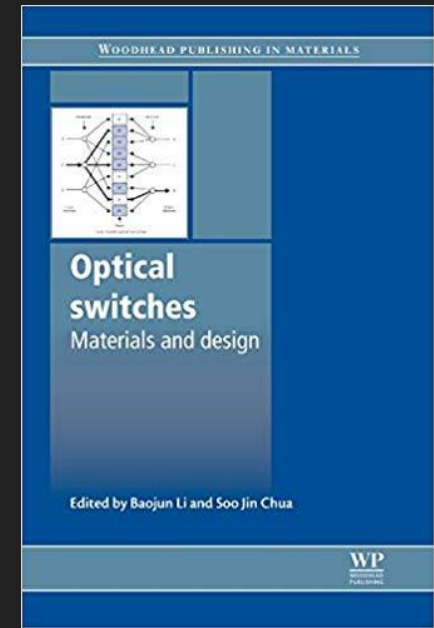
Robert Appel

03.07.19

MOpti Seminar

Motivation: Vortrag

- Was sind optische Schalter ?
- Wie werden optische Schalter gebaut ?
- Was beantwortet dieser Vortrag ?
 - Arten des Schaltens
 - Verschiedene physikalische Phänomene die Schalten ermöglichen
 - Funktionsweisen & Grundprinzipien verschiedener Schalter
 - Aufbau

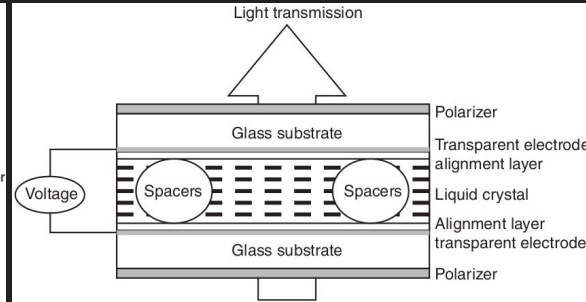
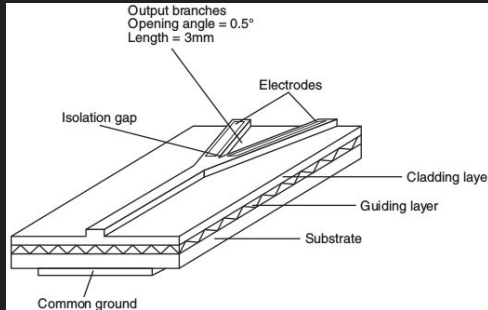
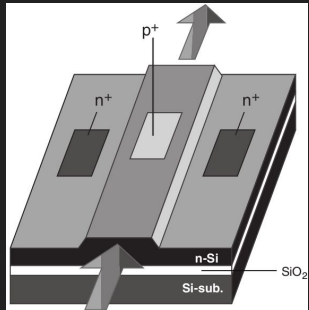


Inhalt:

Grundlagen:

1. Motivation: Warum optische Schalter ?
2. Überblick - Was bedeutet optisches Schalten ?

Verschiedene Schalter:



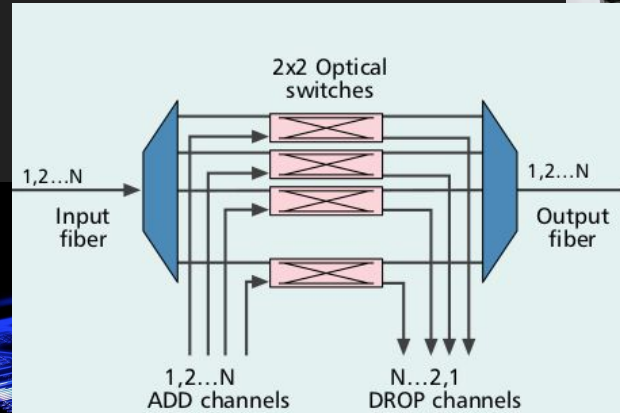
- Weitere physikalische Phänomene die Schalten ermöglichen

Grundlagen

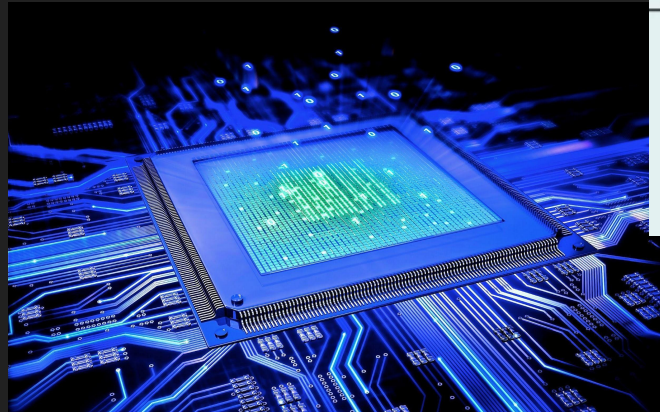
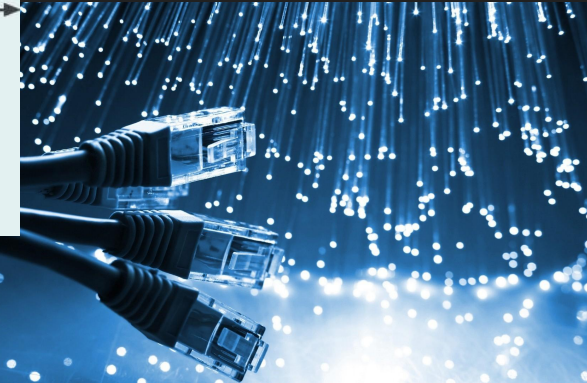
Motivation: Warum optische Schalter ?

<https://www.lowbeats.de/installation-das-versteckte-heimkino/>

- HD-TV und 3D Kino
- Telekommunikation
- Netzausbau mit Glasfaser
- Datenraten 1000 Gbits/s
- optische Multiplexer



P. De Dobbelaere, K. Falta, S. Gloeckner, S. Patra, IEEE Communications Magazine 40, 88-95 (März 2002)



<https://wallpapercave.com/w/wp1904594>

<http://getwallpapers.com/wallpaper/full/b/4/9/165631.jpg>

Überblick - Was bedeutet optisches Schalten ?

Alles beginnt mit einer Entscheidung...

Im optischen Bereich:

- ON/OFF Schalten
- räumliches Schalten
- Welches physikalische Phänomen ?
 - Energiedissipation
 - Schaltgeschwindigkeit
 - Signalverluste
 - Anhand welcher Eigenschaft wird geschaltet ?



Verschiedene Schalter

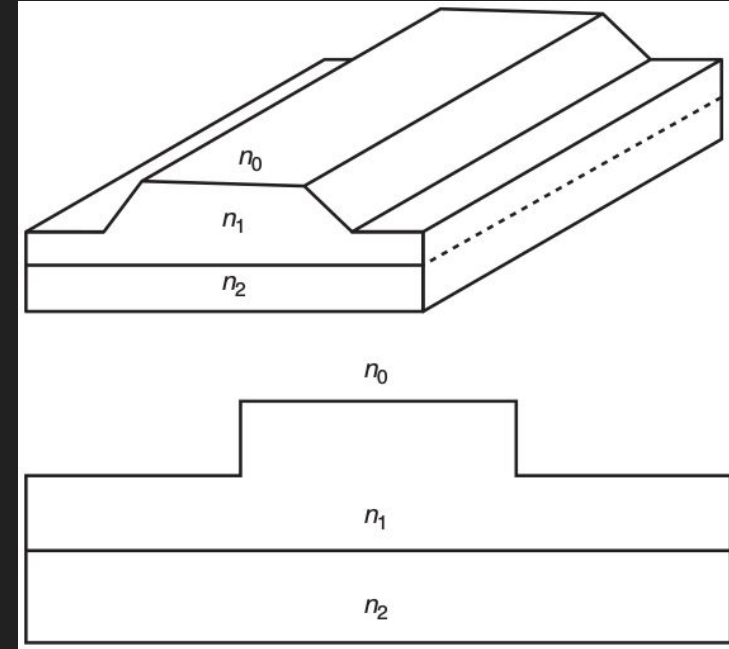
Verschiedene Schalter

- Elektro-optisch
- Thermo-optisch
- Magneto-optisch
- Schalten mit nichtlinearen Effekten
- Flüssigkristall Schalter
- Mikro-elektro-mechanisch (MEMS)
- Schalten mit photonischen Kristallen
- Faser-Schalter
- semiconductor optical amplifier (SOA)
- Quanten-optisch



Elektro-optischer Schalter

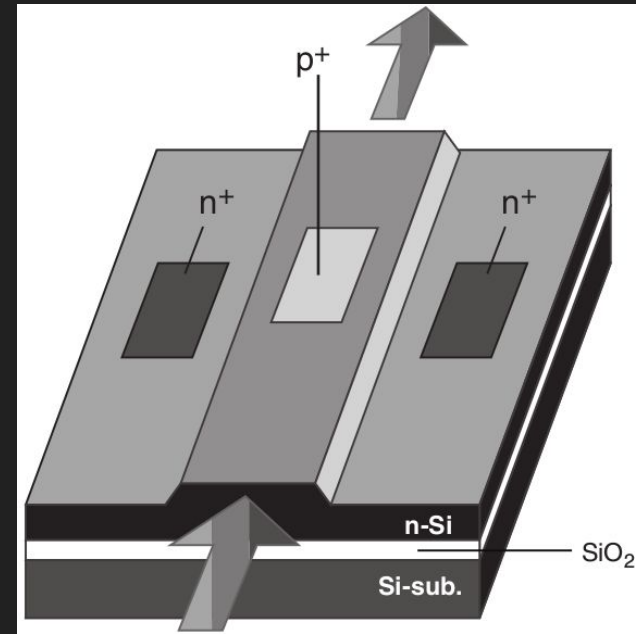
- 1x1 optischer Schalter
- III-IV Materialien, z.B. Si(Ge), LiNbO₃, Polymere
- Einzel Moden Lamelle = Wellenleiter
- Anbringen von Ladungsträgern
 - n_1 wird reduziert
 - totale innere Reflexion
- Wahl der Brechungsindizes ?
 - Wellenlänge
 - Maße des Bauteils/ Schichtdicken



B. Li, S. J. Chua, Hrsg., Optical Switches, Materials and Design (Woodhead Publishing, 2010).

Elektro-optischer Schalter

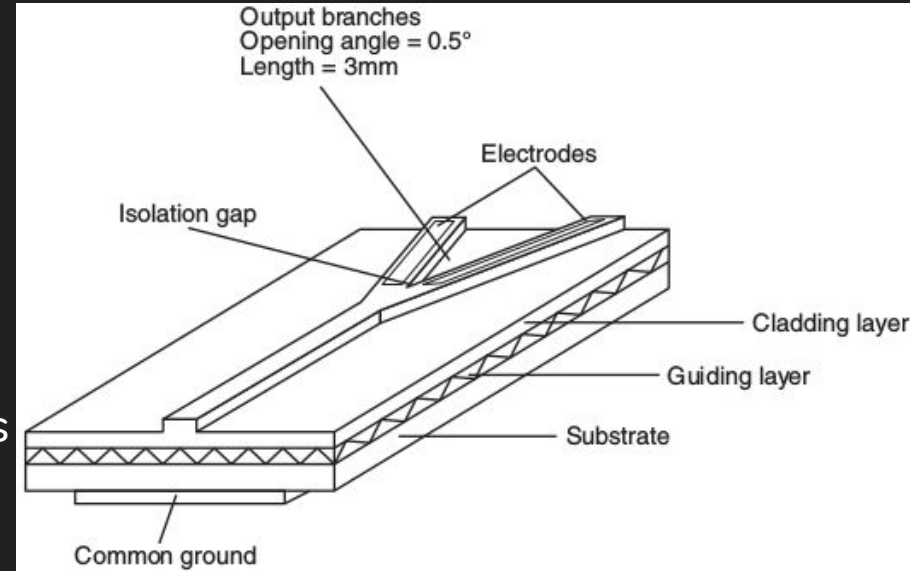
- Silizium auf Isolator (SOI)
- p-n-Übergang in Vorwärtsrichtung
 - Einbringen von Ladungsträger in die Lamelle
 - Führt zum Abschneiden des Strahls
- Modulationstiefe = 96% bei 45mA
- Verlust beim Einkoppeln 3.65dB bei Wellenlänge $1.3\mu\text{m}$
- Schaltzeit 160ns



B. Li, S. J. Chua, Hrsg., Optical Switches, Materials and Design (Woodhead Publishing, 2010).

Thermo-optischer Schalter

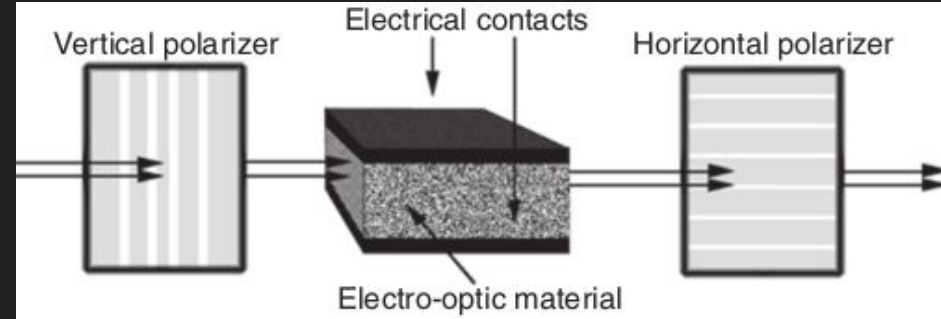
- digital optischer Schalter (DOS)
- räumliches Schalten mit mehreren Wellenlängen
- zwei Einzelmoden-Ausgänge
- Heizen des Wellenleiters
 - Variation des effektiven Modal-Indizes
 - Reduktion des Brechungsindex
 - Ändert den Weg den das Licht nimmt
- Wärmezufuhr über Elektroden
- Zwei Schaltmöglichkeiten:
 - -3dB Energie-Teiler, wenn beide Arme die gleiche Temperatur haben
 - Licht wird immer zum Arm mit dem höheren Brechungsindex geleitet der Eingang folgt adiabatisch



B. Li, S. J. Chua, Hrsg., Optical Switches, Materials and Design (Woodhead Publishing, 2010).

Magneto-optischer Schalter

- Basiert auf dem Faraday-Effekt
 - Drehung der Polarisationssebene, wenn:
 - B-Feld // Propagation des Lichts
- Problem:
 - Mangel an MO-Materialien mit ausreichend hoher Qualität
 - Wenig Forschung
- Eisengranaten in den Bismuth ersetzt wurde
 - gute MO Eigenschaften
 - geringer Verlust
 - große Bandbreite
 - großer Grad an Rotation für wenig



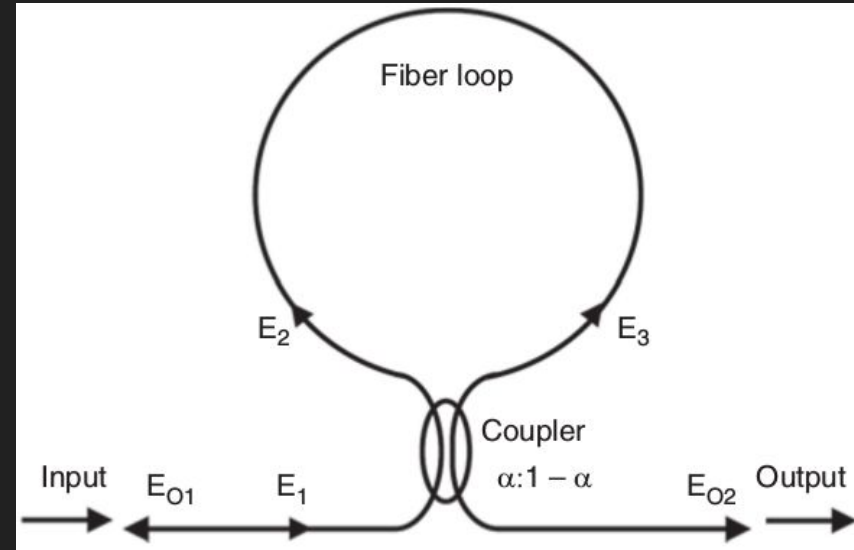
B. Li, S. J. Chua, Hrsg., Optical Switches, Materials and Design (Woodhead Publishing, 2010).

- ON/OFF EO-Schalter
- Prinzipiell gleich zu MO-Schalter
- E-Feld \rightarrow B-Feld
- EO-Material \rightarrow MO-Material

Schalten mit nichtlinearen Effekten

B. Li, S. J. Chua, Hrsg., Optical Switches, Materials and Design (Woodhead Publishing, 2010).

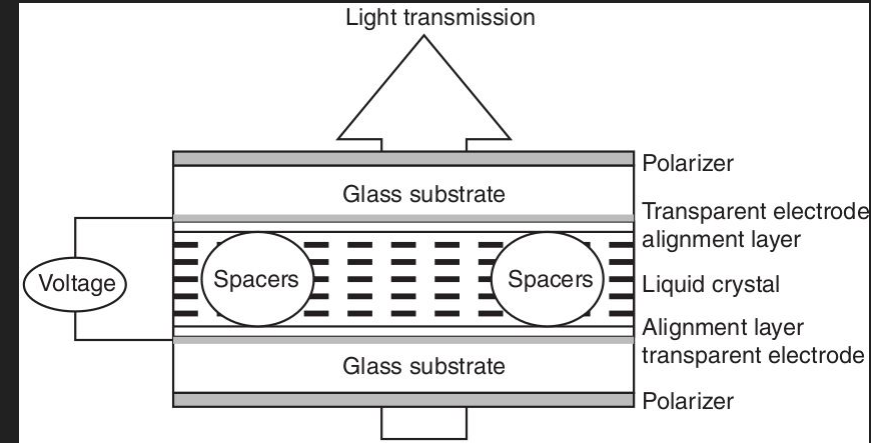
- Nonlinear optical loop mirror (NOLM)
- Prinzip:
 - Gegenläufige Lichtstrahlen erfahren unterschiedlich starke nichtlineare Phasenverschiebung im nichtlinearen Medium
- Koppler mit ungleicher Aufspaltungsrate α
- stärkste Strahl erzeugt SPM
- Interferenz nach Austritt aus der Schleife
- konstruktiver Teil E_{O2} , destruktiver Teil E_{O1}
- Verwendungsmöglichkeiten:
 - Autokorrelationssignal Extraktion
 - Rauschunterdrückung



Flüssigkristall Schalter

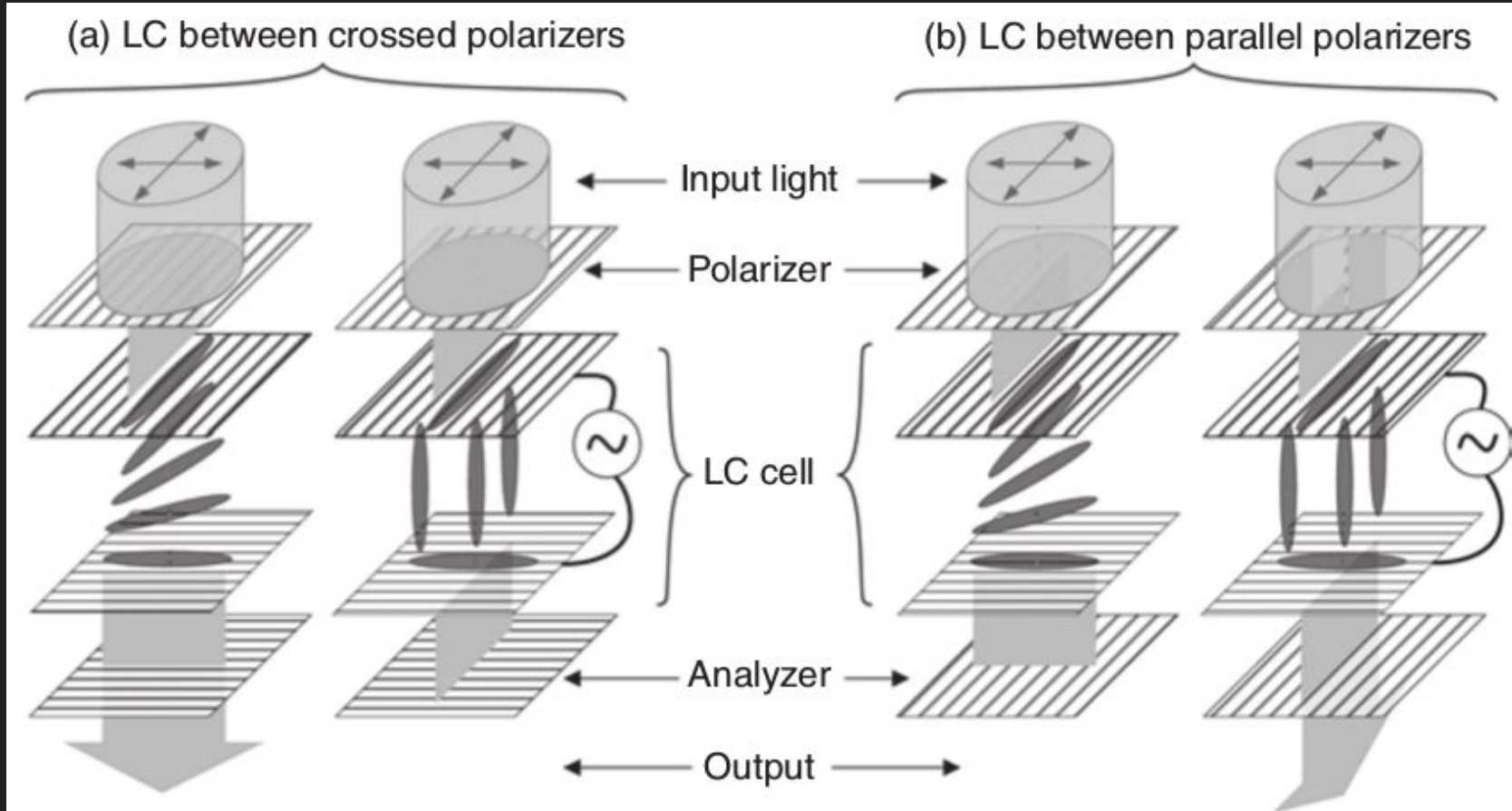
B. Li, S. J. Chua, Hrsg., Optical Switches, Materials and Design (Woodhead Publishing, 2010).

- LC-Material zwischen zwei Glassubstraten
 - Platzhalter aus Plastikmicrosphären oder Glasfasern
 - transparente Elektrodenschicht
 - Polarisatoren auf beiden Seiten + andere photonische Applikationen
 - Twisted nematic (TN) cell:
 - pos. dielektrische Anisotropie
 - diel. Konst. größer in langer Achse als in der kurzen
- Moleküle // Glassubstrat
- 90° Drehung entlang der Zelle

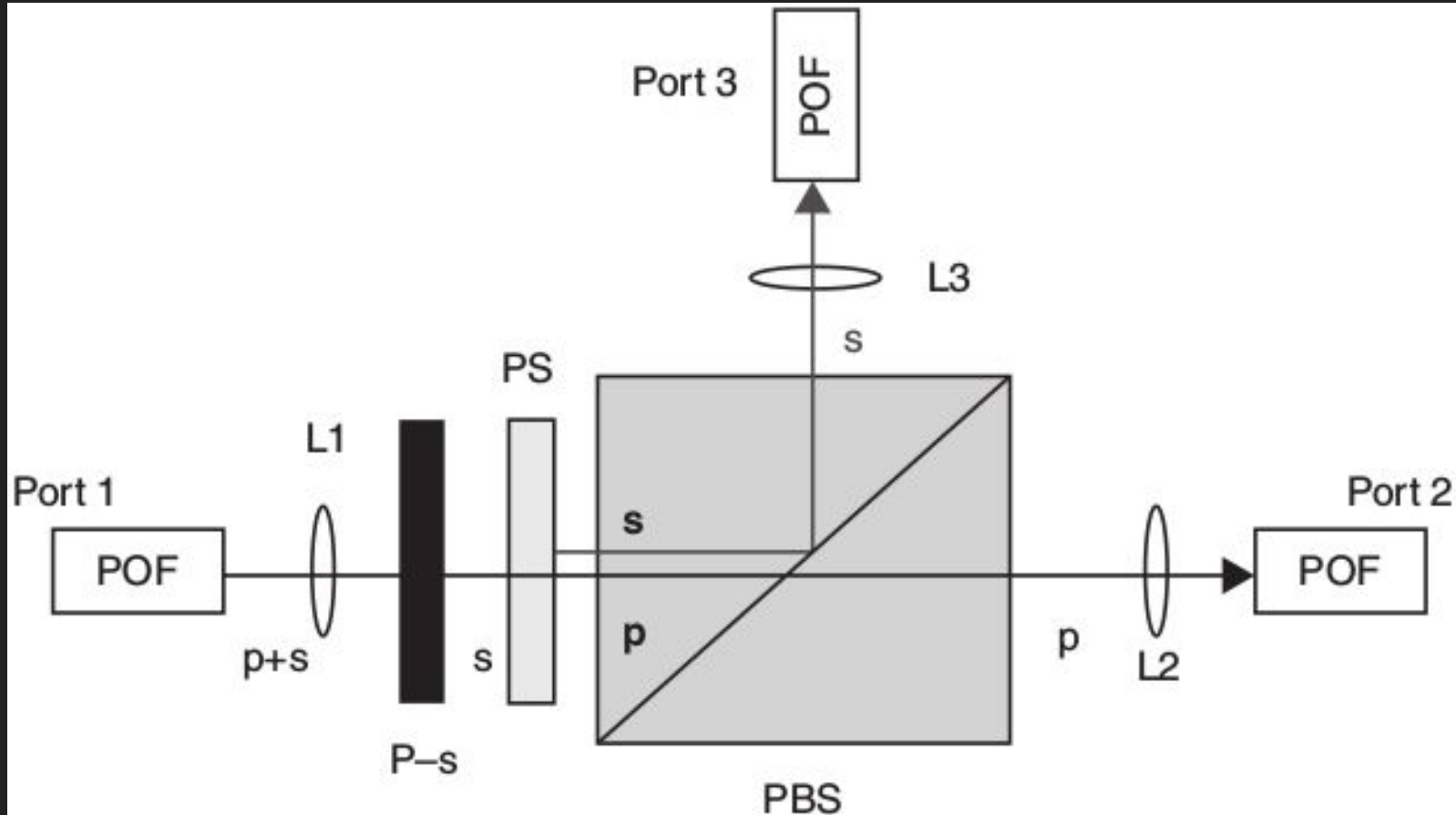


- Reorientierung der Mol. bei $V \leq V_{th}$
- $V = V_{sw}$: Mol. // E-Feld (ON-Zust.)
- typ. Werte:
 - V_{th} : 1-2V
 - V_{sw} : 3-5V

Flüssigkristall Schalter - ON/OFF (1x1)

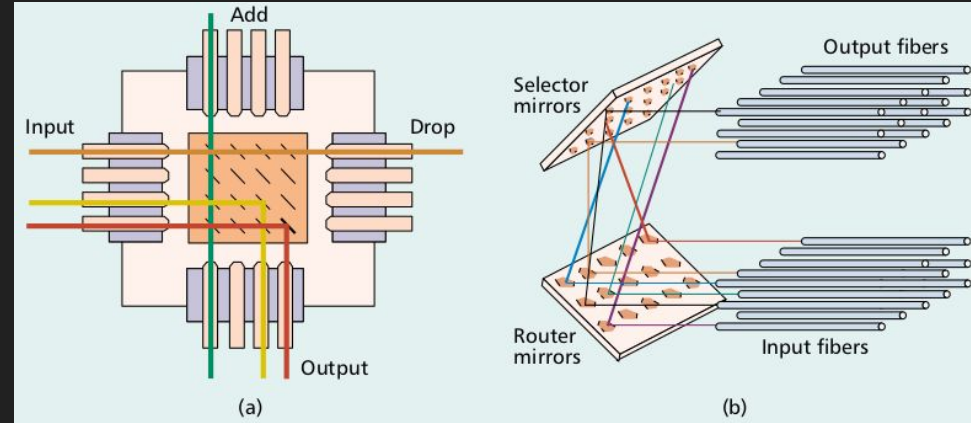


Flüssigkristall Schalter - (1x2) Schalter



Mikro-elektro-mechanisch (MEMS)

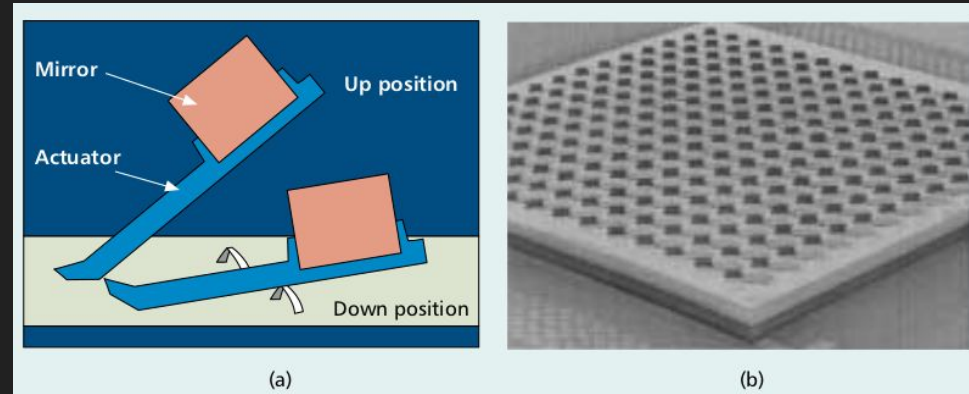
- mechanisch integrierter Schaltkreis
- Antriebskräfte:
 - elektrostatisch
 - elektromagnetisch
 - thermisch
- 2D MEMS (digital) (a)
 - Spiegelposition ON/OFF
- 3D MEMS (analog) (b)
 - Querschaltung
 - Kippen der Spiegel
 - router(selector) Architektur
 - gut für >1000 In/Outputs
 - Verlust ca. 3dB



P. De Dobbelaere, K. Falta, S. Gloeckner, S. Patra, IEEE Communications Magazine 40, 88–95 (März 2002)

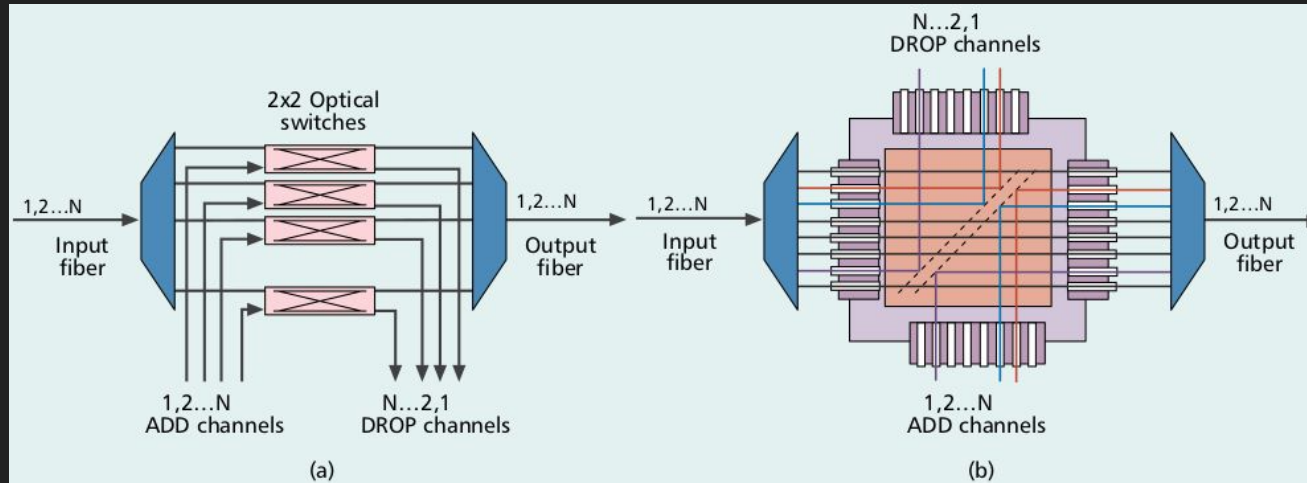
Mikro-elektro-mechanisch (MEMS)

- Materialien mit guten elektrischen und mechanischen Eigenschaften
 - Si, SiO_x , SiN_x
- Volumen microätzen
- Oberfläche microätzen
- Aktuatoren (a)
 - OFF: Winkel zwischen Aktuator und Substrat
 - Spannung anlegen
 - elektrostatische Anziehung des Aktuators
- Spiegel mit 90° zum Substrat geätzt
- geringe Energiedissipation ca. μW



P. De Dobbelaere, K. Falta, S. Gloeckner, S. Patra, IEEE Communications Magazine 40, 88–95 (März 2002)

- 2D MEMS
- 16x16 mit 256 Aktuatoren

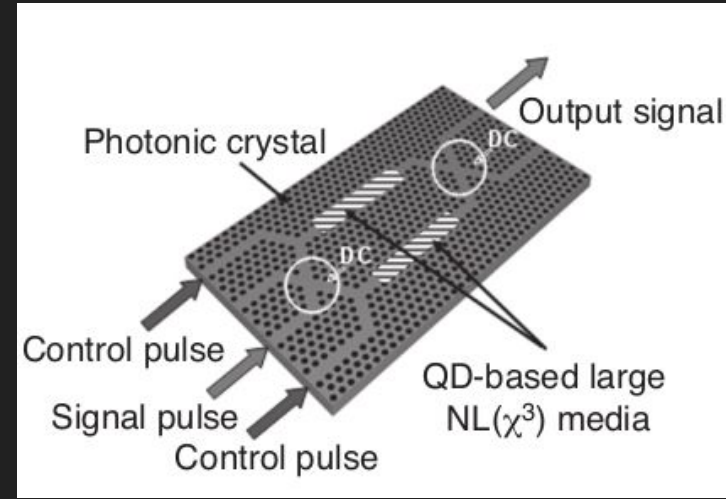


- zwei Reihen aus Spiegeln die gleichzeitig Schalten
 - Spiegelpaar aktiv:
 - Signal wird auf den Drop-Port geleitet und Add-Signal geht auf den Output
 - Spiegelpaar inaktiv:
 - Input \rightarrow Output

Weitere physikalische Phänomene die Schalten ermöglichen

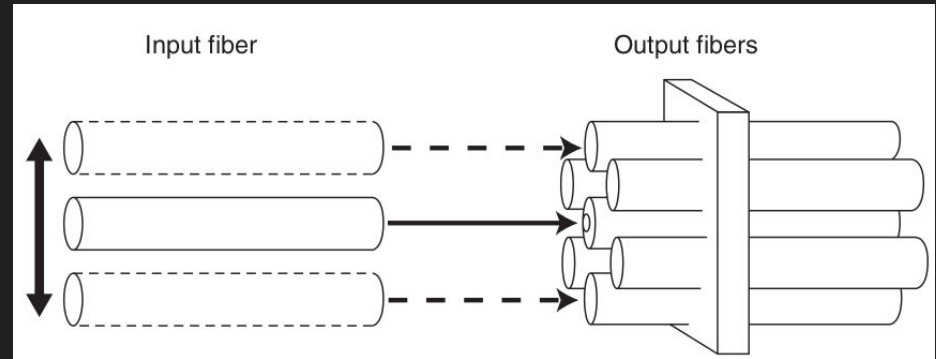
Schalten mit photonischen Kristallen

- Photonische Kristalle = period. opt. Nanokristalle
- Lochdurchmesser bestimmt Wellenlänge
- Änderung des Brechungsindex durch Puls
 - Phasenschub
 - Basis des Schalters



Faser-Schalter

- Schalten durch bewegen der Faser
- z.B. durch Piezo-Elemente



Danke für Eure Aufmerksamkeit !

Noch Fragen ?

Notizen und Vortrag @github/Robubabu:



Anhang

Table 8.1 State-of-the-art and performance parameters of RotPol LC switches.

Contribution	LC cell	λ (nm)	Type	Fiber	CT (dB)	IL (dB)	Turn-on/D. time	Control voltage	Elements
(Wagner and Cheng, 1980)	TN-LC	633	1 × 2	MM	-20	0.4 ¹	—	2.5V	2PBS, 2AP, 1LLC
(Soref, 1981)	TN-LC	632.8	2 × 2	MM	-27	2.5	50/150ms	5V	4PBS, 2 LLC, 7 AP
(Soref and McMahon, 1982)	TN-LC	633	2 × 2	None	-32	3	—	6V	2 LC, 2 HWP, 3 Calcites
(McAdams et al., 1990)	NLC-FLC	—	2 × 2	—	-20	1.4	250 μ s	15Vrms	2 NLC 2 SS-FLC, 2 M, 4 HIEP
(McAdams and Goodman, 1990)	FLC	633	1 × 4	—	-21.6	3.5	50 μ s	—	4 FLC, 4 PBS
(Grimes et al., 1991)	FLC	820(670)	6 × 6	MM		11.1	150 μ s	—	6FLC, 6 GL
(Fujii, 1993)	TN-LC	1300	2 × 2	SM	-43.3	2.2	—	—	2 PBS, 2AP, 5 LC, 2 BR
(Riza and Yuan, 1998)	FLC	1300	2 × 2	SM	-34.1	6.94	35.3 μ s	—	4PBS, 2M, 4LC, 2AP, 2HWP, 2QWP, 1LB
(Riza and Yuan, 1999)	FLC	1550	2 × 2	SM	-40	6.76	35.3 μ s	—	1PBS, 2LC, 2P, 1M, 1HWP, 1QWP, 1AP
(Vázquez et al., 2003)	NLC	650–850	1 × 2	MM	-22	7	ms	8V	1PBS, 1LC, 1P
(Riza and Madamopoulos, 2005)	TN-LC	—	—	—	-20	2	—	—	2FO-Circulator, 2 PBS, 2 LC, 2 TIR, 2 BDP
(Lallana et al., 2006)	NLC	650–850	3 × 1	MM	-23	3	20–5 ms	3V	2 PBS, 4 L, 6LC, 1 P

Weitere physikalische Phänomene die Schalten ermöglichen

semiconductor optical amplifier (SOA)

- Propagation durch Aktives Lasermedium (Funktionsweise d. SOA) ändert
 - Wellenlänge
 - Polarisation
 - Phase
 - Amplitude
- Element das auf die Änderung reagiert, Bsp:
 - Polarisation Beam Splitter
 - Mach-Zehnder Interferometer

Weitere physikalische Phänomene die Schalten ermöglichen

Quanten-optisch

- quantum-confined Stark-Effekt
 - Anlegen einer Spannung über einen Quantentopf
 - Reduktion der Übergangsenergie der geringsten quantisierten Niveaus für Elektron und Loch
- Absorption ist für eine bestimmte Wellenlänge erhöht bei Anschluss einer Spannung