

# Optische Schalter

Robert Appel

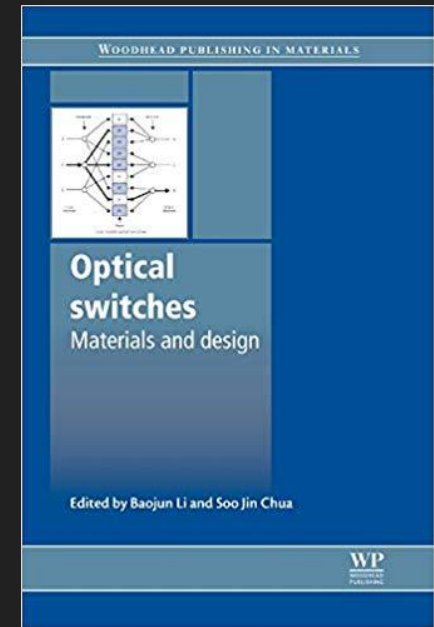
03.07.19

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

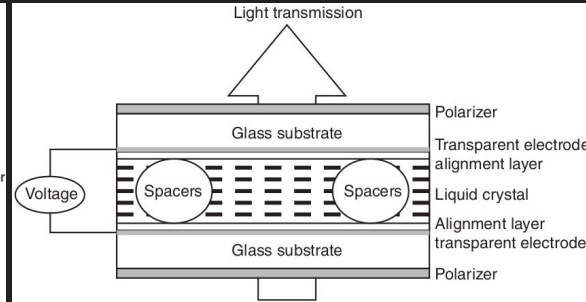
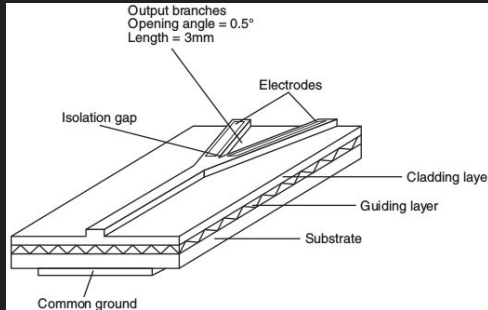
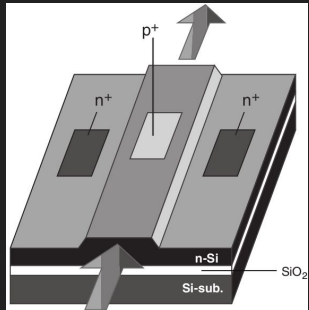


# Inhalt:

## Grundlagen:

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

## Verschiedene Schalter:

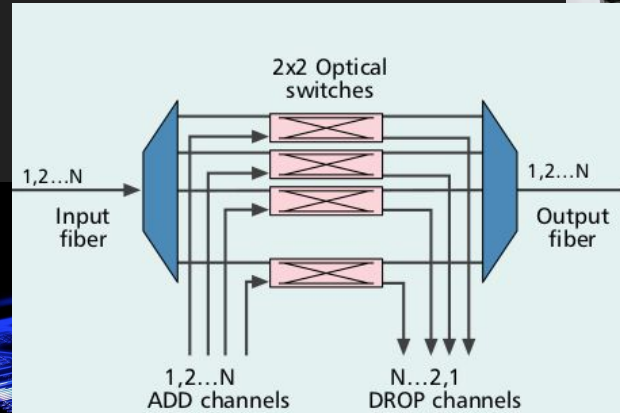


# Grundlagen

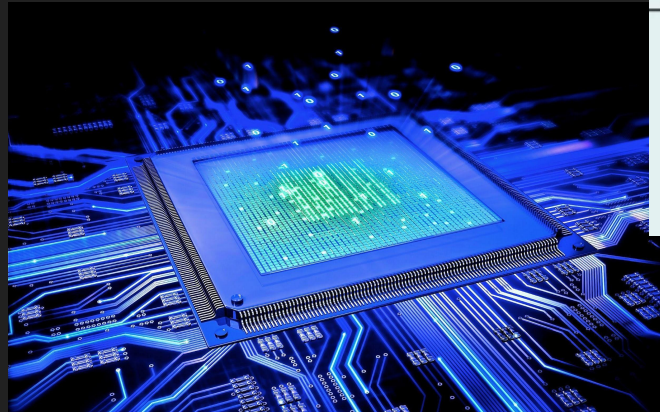
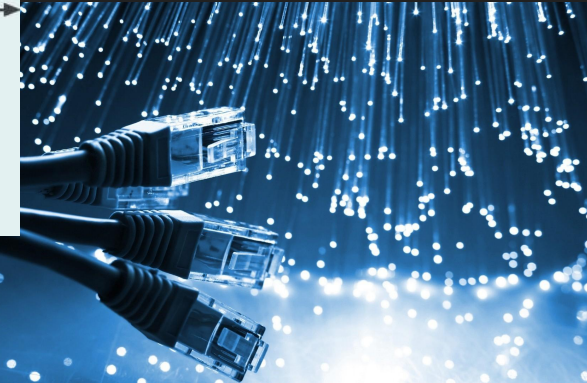
# Motivation: Warum optische Schalter ?

<https://www.lowbeats.de/installation-das-ver-steckte-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

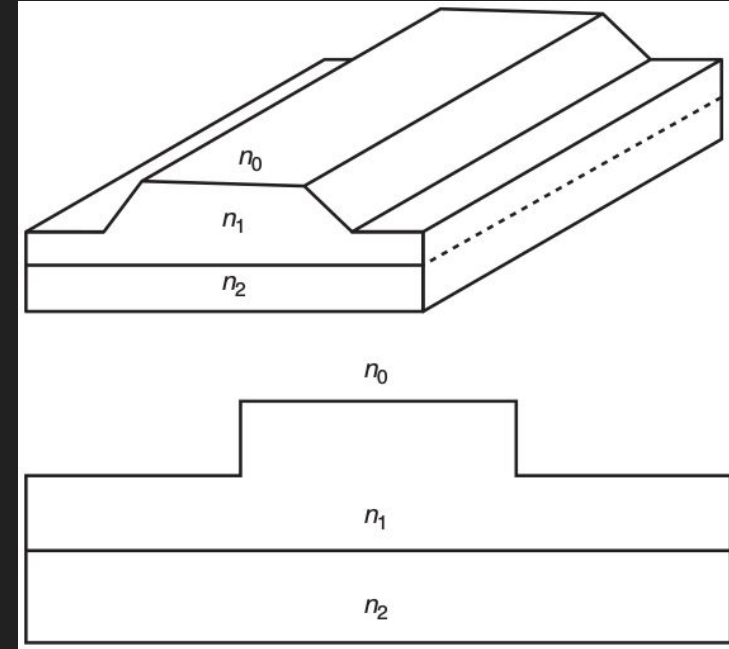
- Elektro-optisch
- Thermo-optisch
- Magneto-optisch
- Schalten mit nichtlinearen Effekten
- Flüssigkristall Schalter
- Mikro-elektro-mechanisch (MEMS)
- Schalten mit photonischen Kristallen
- Faser-Schalter
- semiconductor optical amplifier (SOA)
- Quanten-optisch





# Elektro-optischer Schalter

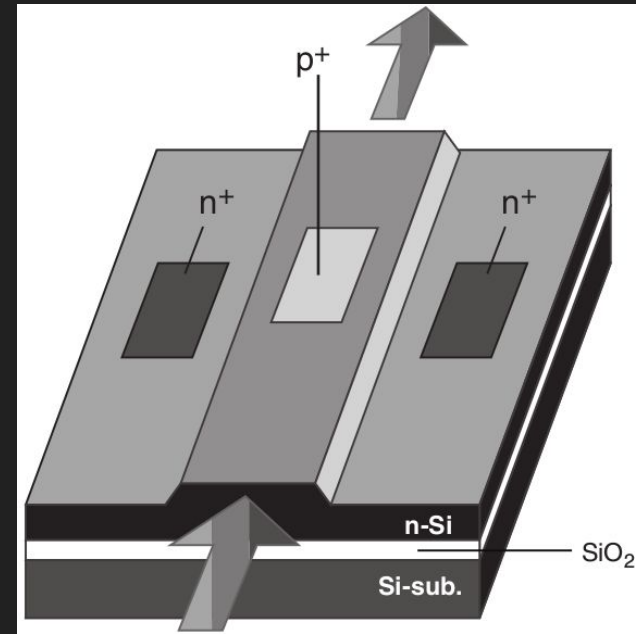
- 1x1 optischer Schalter
- III-IV Materialien, z.B. Si(Ge), LiNbO<sub>3</sub>, Polymere
- Einzel Moden Lamelle = Wellenleiter
- Anbringen von Ladungsträgern
  - $n_1$  wird reduziert
  - totale innere Reflexion
- Wahl der Brechungsindizes ?
  - Wellenlänge
  - Maße des Bauteils/ Schichtdicken



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

# Elektro-optischer Schalter

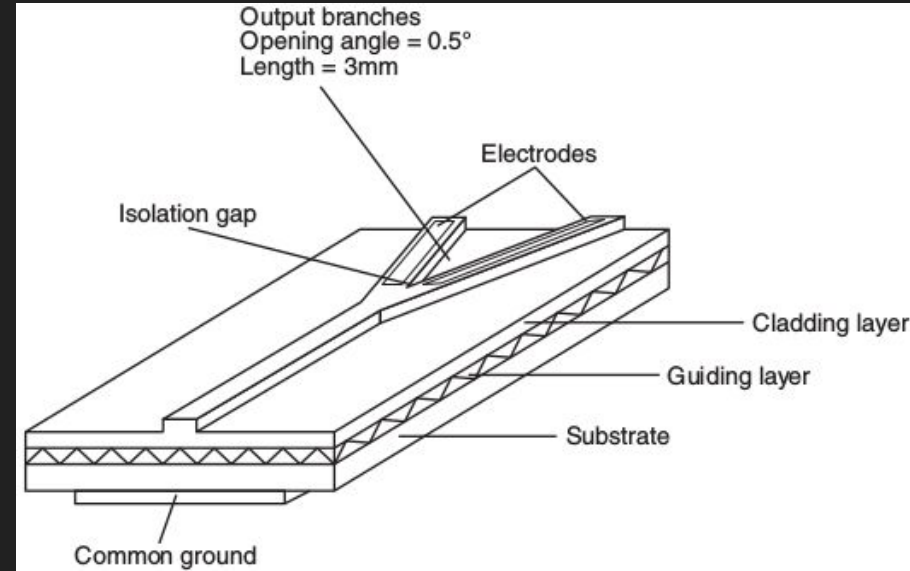
- Silizium auf Isolator (SOI)
- p-n-Übergang in Vorwärtsrichtung
  - Einbringen von Ladungsträger in die Lamelle
  - Führt zum Abschneiden des Strahls
- Modulationstiefe = 96% bei 45mA
- Verlust beim Einkoppeln 3.65dB bei Wellenlänge  $1.3\mu\text{m}$
- Schaltzeit 160ns



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

# Thermo-optischer Schalter

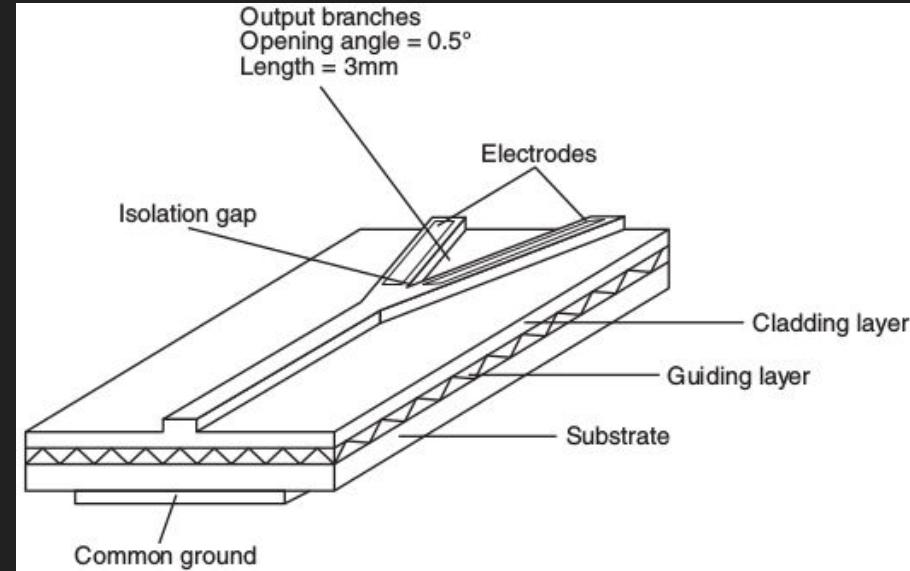
- digital optischer Schalter (DOS)
- räumliches Schalten mit mehreren Wellenlängen
- zwei Einzelmodes-Ausgänge
- Wärmezufuhr über Elektroden



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

# Thermo-optischer Schalter

- Heizen des Wellenleiters
  - Variation des effektiven Modal-Index
  - Reduktion des Brechungsindizes
  - Ändert den Weg den das Licht nimmt

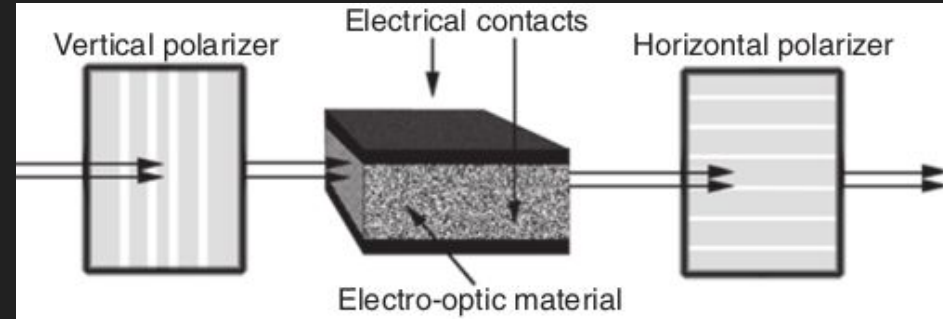


B. Li, S. J. Chua, Hrsg., Optical Switches, Materials and Design (Woodhead Publishing, 2010).

- 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

# 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
- Eisengranate in den Bismuth ersetzt wurde
  - gute MO Eigenschaften
  - geringer Verlust
  - große Bandbreite
  - großer Grad an Rotation für wenig Feld



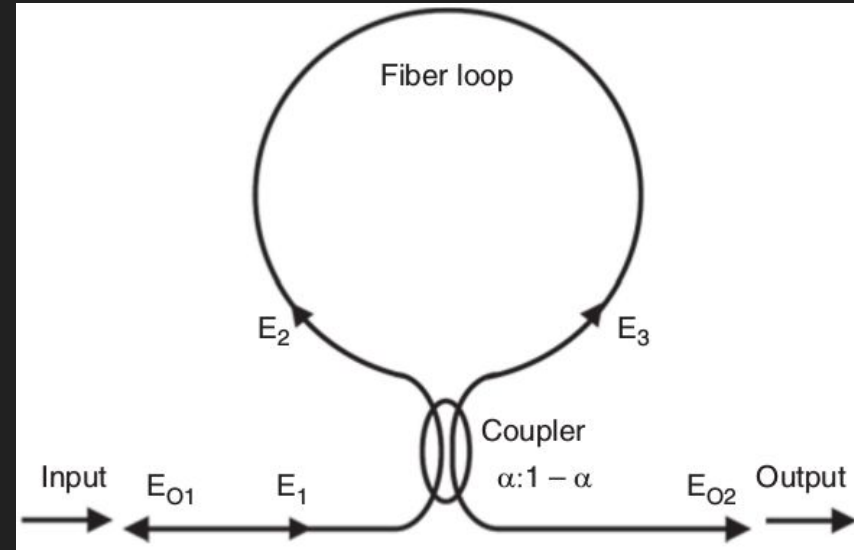
B. Li, S. J. Chua, Hrsg., Optical Switches, Materials and Design (Woodhead Publishing, 2010).

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

# Schalten mit nichtlinearen Effekten

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

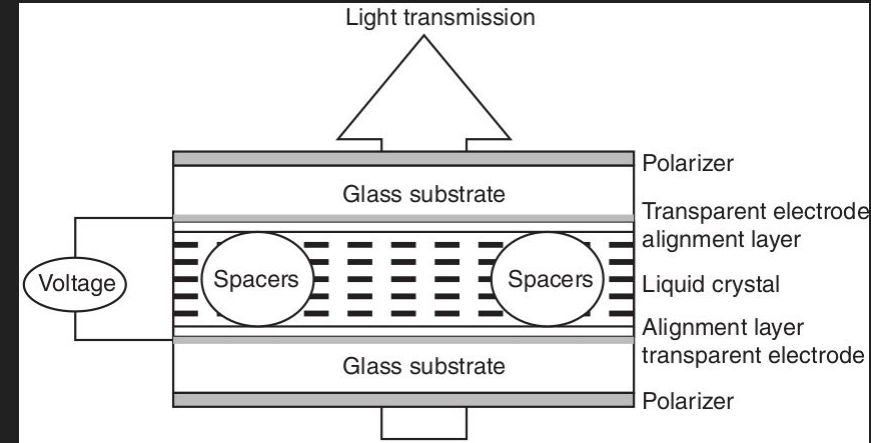
- Nonlinear optical loop mirror (NOLM)
- Prinzip:
  - Gegenläufige Lichtstrahlen erfahren unterschiedlich starke nichtlineare Phasenverschiebung im nichtlinearen Medium
- Koppler mit ungleicher Aufspaltungsrate  $\alpha$
- stärkste Strahl erzeugt SPM
- Interferenz nach Austritt aus der Schleife
- konstruktiver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



# Flüssigkristall Schalter

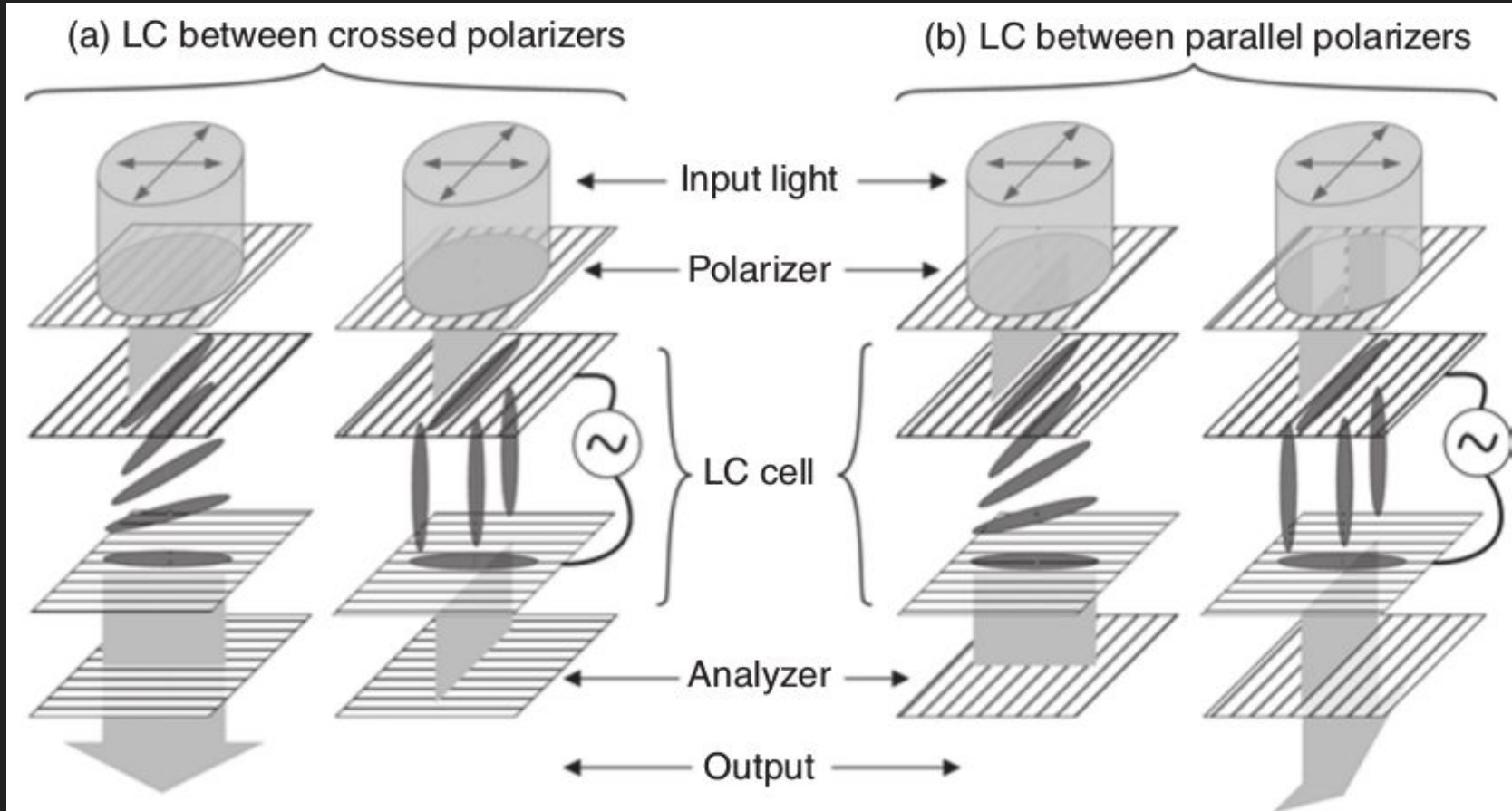
B. Li, S. J. Chua, Hrsg., Optical Switches, Materials and Design (Woodhead Publishing, 2010).

- 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



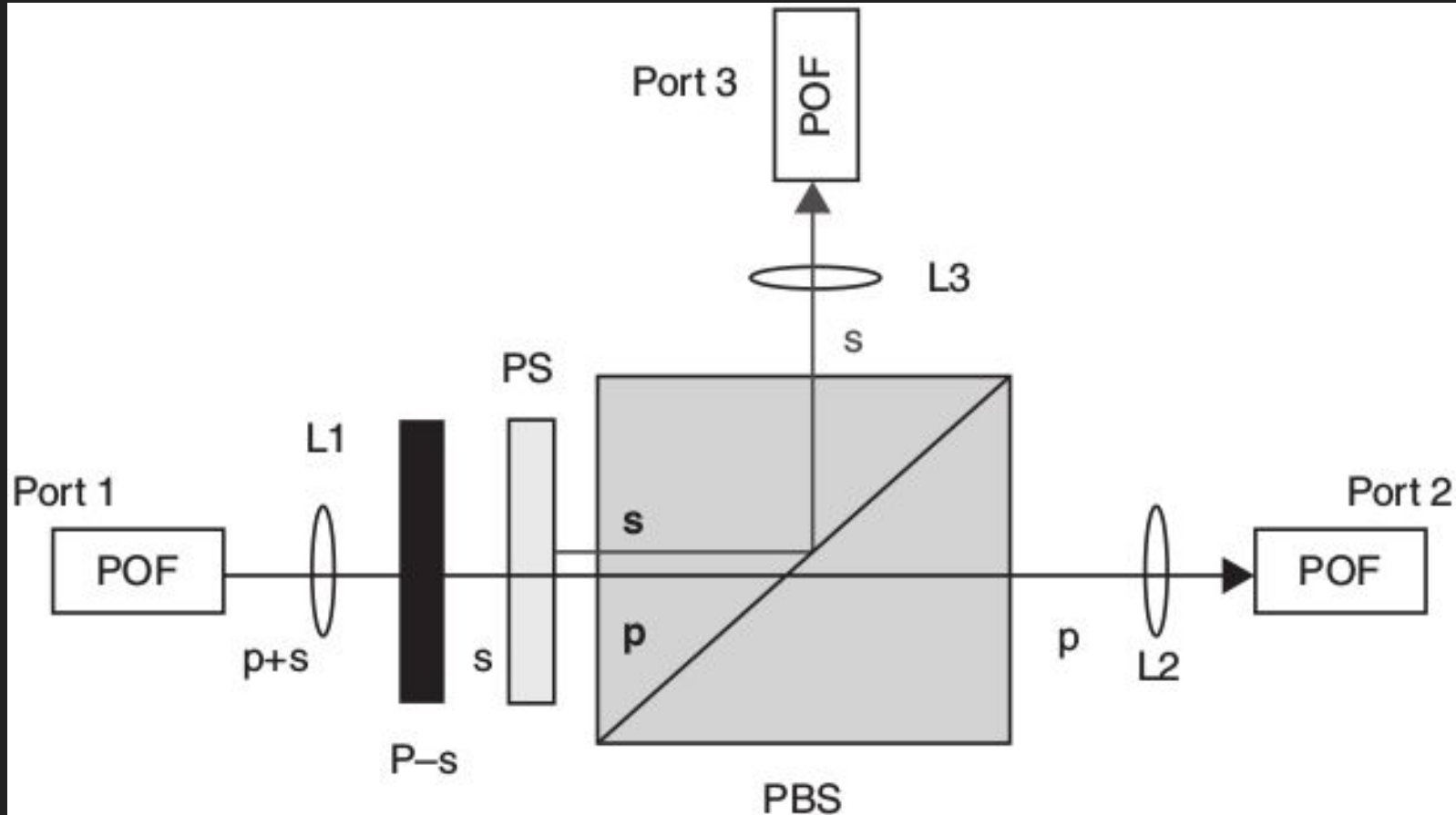
- Reorientierung der Mol. bei  $V \leq V_{th}$
- $V = V_{sw}$ : Mol. // E-Feld (ON-Zust.)
- typ. Werte:
  - $V_{th}$ : 1-2V
  - $V_{sw}$ : 3-5V

# Flüssigkristall Schalter - ON/OFF (1x1)



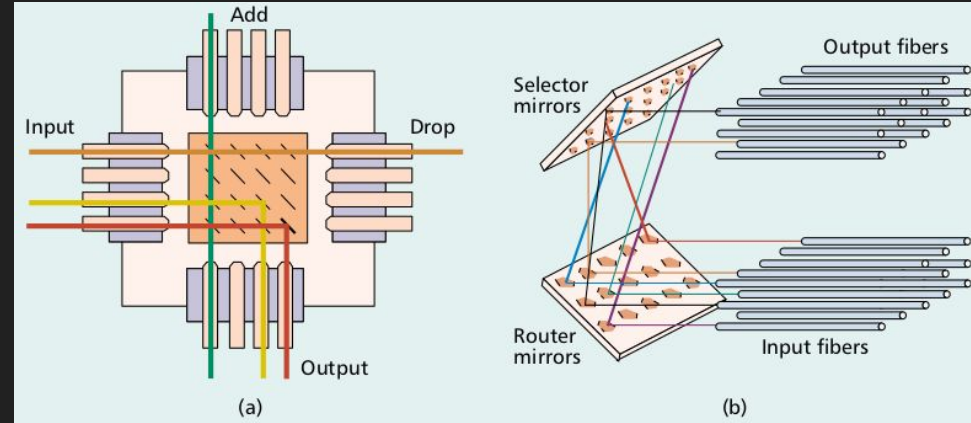


# Flüssigkristall Schalter - (1x2) Schalter



# Mikro-elektro-mechanisch (MEMS)

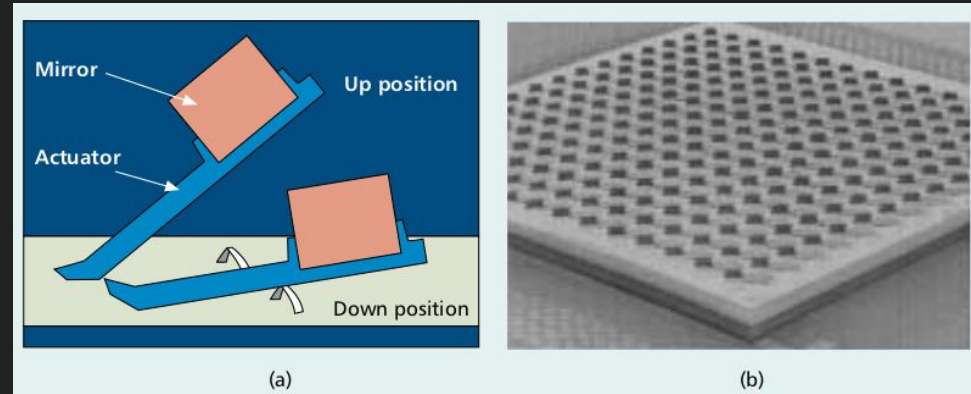
- mechanisch integrierter Schaltkreis
- Antriebskräfte:
  - elektrostatisch
  - elektromagnetisch
  - thermisch
- 2D MEMS (digital) (a)
  - Spiegelposition ON/OFF
- 3D MEMS (analog) (b)
  - Querschaltung
  - Kippen der Spiegel
  - router(selector) Architektur
    - gut für >1000 In/Outputs
    - Verlust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



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

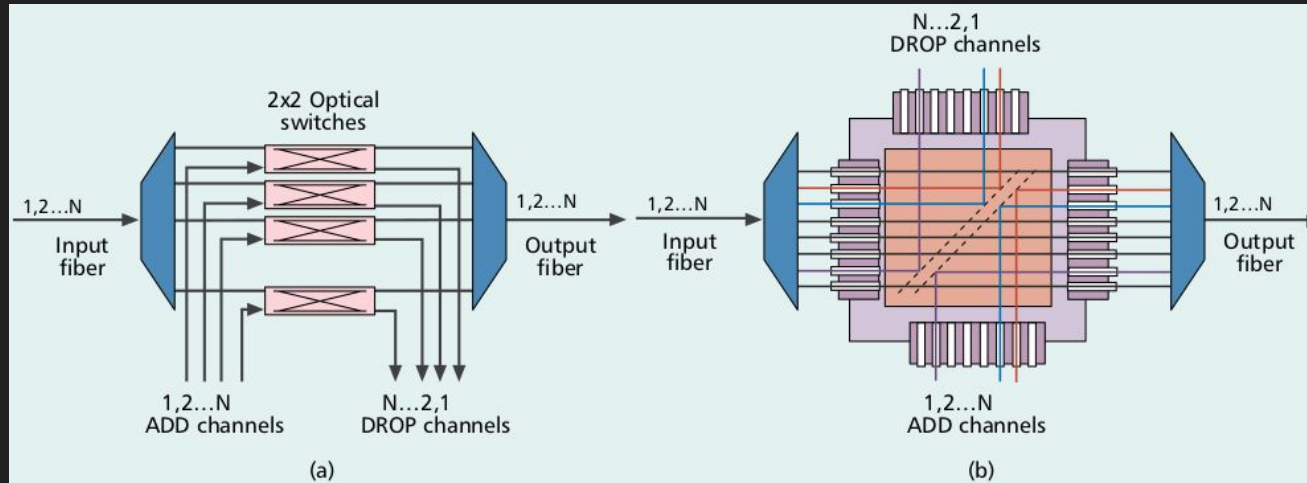
# Mikro-elektro-mechanisch (MEMS)

- Materialien mit guten elektrischen und mechanischen Eigenschaften
  - Si,  $\text{SiO}_x$ ,  $\text{SiN}_x$
- Volumen microätzen
- Oberfläche microätzen
- Aktuatoren (a)
  - OFF: Winkel zwischen Aktuator und Substrat
  - Spannung anlegen
  - elektrostatische Anziehung des Aktuators
- Spiegel mit  $90^\circ$  zum Substrat geätzt
- geringe Energiedissipation ca.  $\mu\text{W}$



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

# Danke für Eure Aufmerksamkeit !

*Noch Fragen ?*

Notizen und Vortrag @github/Robubabu:

<https://github.com/Robubabu/MOptiVortrag.git>

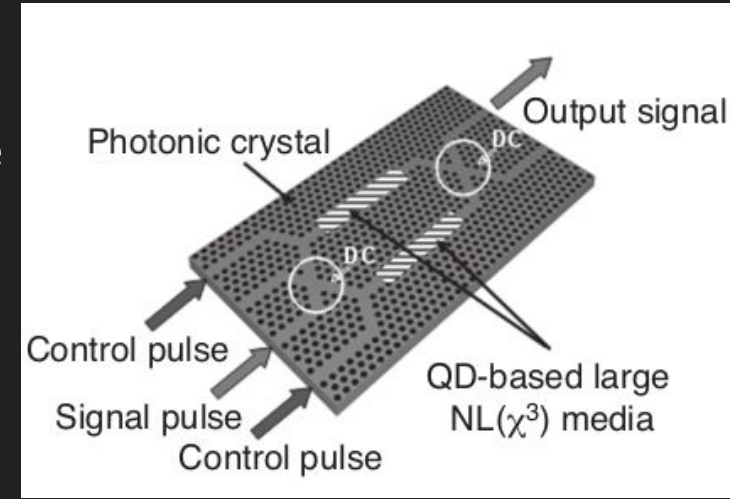


# Anhang

# Weitere physikalische Phänomene die Schalten ermöglichen

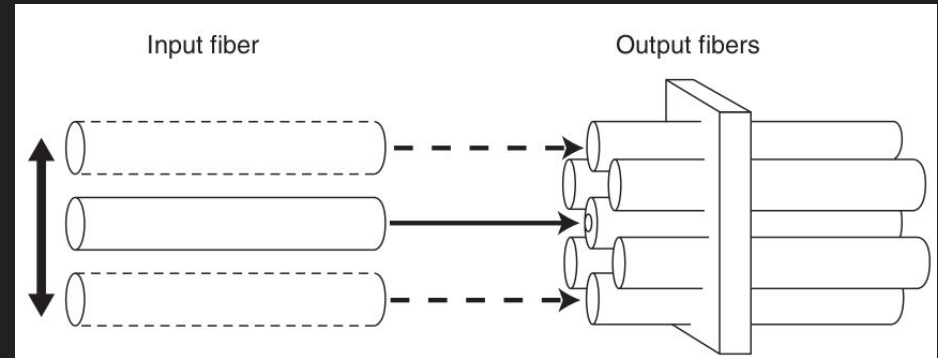
## Schalten mit photonischen Kristallen

- 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



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

Contribution	LC cell	$\lambda$ (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 <sup>1</sup>	—	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 $\mu$ s	15Vrms	2 NLC 2 SS-FLC, 2 M, 4 HIEP
(McAdams and Goodman, 1990)	FLC	633	1 × 4	—	-21.6	3.5	50 $\mu$ s	—	4 FLC, 4 PBS
(Grimes et al., 1991)	FLC	820(670)	6 × 6	MM		11.1	150 $\mu$ s	—	6FLC, 6 GL
(Fujii, 1993)	TN-LC	1300	2 × 2	SM	-43.3	2.2	—	—	2 PBS, 2 AP, 5 LC, 2 BR
(Riza and Yuan, 1998)	FLC	1300	2 × 2	SM	-34.1	6.94	35.3 $\mu$ s	—	4PBS, 2M, 4LC, 2AP, 2HWP, 2QWP, 1LB
(Riza and Yuan, 1999)	FLC	1550	2 × 2	SM	-40	6.76	35.3 $\mu$ 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