

Schnelle Flüssigkristall-Phasenmodulatoren für ein volumenholographisches Datenspeichersystem

Jörn Peuser, Thomas Ruckelshausen, Jürgen Petter, Theo Tschudi

Institut für Angewandte Physik, Technische Universität Darmstadt

<mailto:joern.peuser@physik.tu-darmstadt.de>

Wir demonstrieren einen schnell schaltbaren Flüssigkristall-Phasenmodulator mit integriertem Temperatursensor und Heizelement zur hochgenauen Temperaturstabilisierung. Eine neuartige Fotolack-Spacertechnologie wird präsentiert, mit der eine LC-Zelldicke von $0,7\mu\text{m}$ und eine Schaltzeit von $0,5\text{ms}$ für den Phasenhub von einem π realisiert werden konnte.

Einführung

Die von uns hergestellten Flüssigkristall-Phasenmodulatoren werden unter Anwendung des phasencodierten Multiplexingverfahrens zur Kapazitätserhöhung in einem volumenholographischen Datenspeichersystem eingesetzt. Durch transversales Kodieren des Referenzstrahls in seiner Phase bei der Hologrammaufnahme können mehrere Hologramme in das gleiche Volumen gespeichert werden. [1]-[3]

Um eine hohe Datentransfer-Rate beim Schreiben und Lesen der Hologramme zu gewährleisten, war die Schaltzeitverbesserung des LC-Elements unser primäres Ziel.

Techniken zur Schaltzeitverbesserung

Durch Kombination verschiedener Techniken konnten wir eine Schaltzeit von $0,5\text{ms}$ für den Phasenhub von einem π erreichen:

1. ultradünne Zellen (Zelldicke: $0,7\mu\text{m}$)
2. Temperaturerhöhung durch Heizen der Zelle auf $T = 57^\circ\text{C}$
3. Wahl eines LCs mit hoher Brechungsindexdifferenz Δn
4. „Transient Nematic“ Effekt

Ultradünne Zellen mit Fotolack-Spacern

Eine stark reduzierte Zelldicke im sub- μm Bereich ermöglichte es, dass sich die Flüssigkristall-Moleküle aufgrund der stärker wirkenden Randanbindungskräfte schneller reorientieren können.

Bei der Flüssigkristallzellen-Fabrikation werden zur Realisierung definierter Zell-Dicken unterschiedliche Spacer eingesetzt. Bei Prototypen in kleiner Stückzahl werden wegen einfacher Handhabung Folienspacer, im industriellen Umfeld Kugelspacer,

verwendet. Die dünnsten Folien- und Kugelspacer liegen im Bereich von $2\mu\text{m}$. Um geringere Zelldicken zu realisieren, haben wir die Methode der Fotolack-Spacer entwickelt. Hierdurch erreichten wir Zelldicken von $0,7\mu\text{m}$. Das Verfahren benötigt zusätzliche standardisierte Prozessschritte und ist einfach zu implementieren (siehe Abb.1).

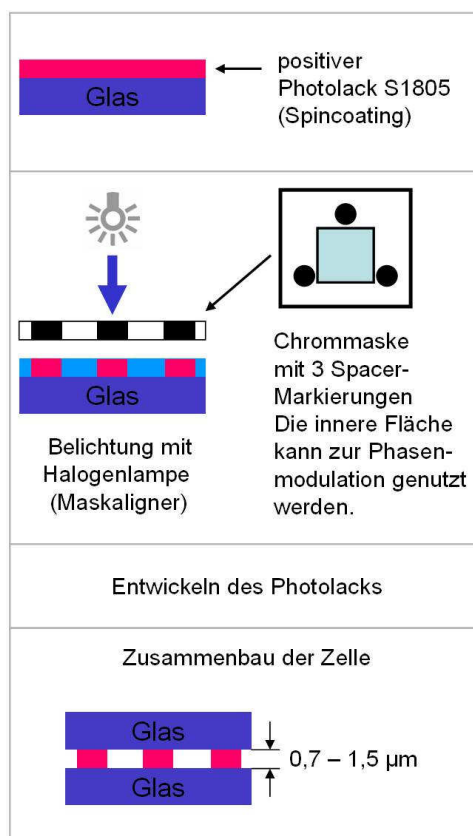


Abb. 1 Herstellungsmethode der Fotolack-Spacer.

Durch lithographische Prozesse werden drei Spacer-Markierungen auf den Fotolack übertragen. Nach dem Entwickeln bleiben diese drei Markierungen übrig, welche als definierte Abstandshalter dienen. Die Zelldicke wurde mit einem spektrometrischen Messverfahren ausgewertet. Bezüglich

der Homogenität wurde dabei eine mittlere Abweichung der Zelldicke von $\pm 25\text{nm}$ pro mm festgestellt; dies entspricht einer Phasenhubdifferenz von $\pm 0,035\pi$ bei einer Wellenlänge von 405nm .

Zelldicken kleiner als 700nm sind mit verdünntem Fotolack herzustellen. Dabei ist zu beachten, dass der maximal erreichbare Phasenhub der Flüssigkristallzelle ebenso abnimmt.

Interne Temperaturstabilisierung (on board)

Der Betrieb der LC-Zelle bei einer Temperatur von $T=57^\circ\text{C}$ verringerte die Rotationsviskosität der Flüssigkristallmoleküle im Vergleich zum Einsatz bei Raumtemperatur ($T=23^\circ\text{C}$), wodurch eine deutliche Verbesserung der Schaltzeit von $1,5\text{ms}$ auf $0,5\text{ms}$ erreicht wurde.

Um die Zelltemperatur stabilisieren zu können, wurde die Heizstruktur und der Temperatursensor direkt in die ITO-Schicht (Indiumzinnoxid) geätzt. Im Vergleich zu anderen Regelungsmechanismen, welche an der Außenseite der Flüssigkristallzelle angebracht werden, führte der unmittelbare Kontakt aller Mess- und Regelungseinheiten unserer internen Steuerung mit dem Flüssigkristall zu einer schnelleren und genaueren Temperaturstabilisierung. Die Abweichung vom Temperatursollwert lag bei $\pm 0,06^\circ\text{C}$.

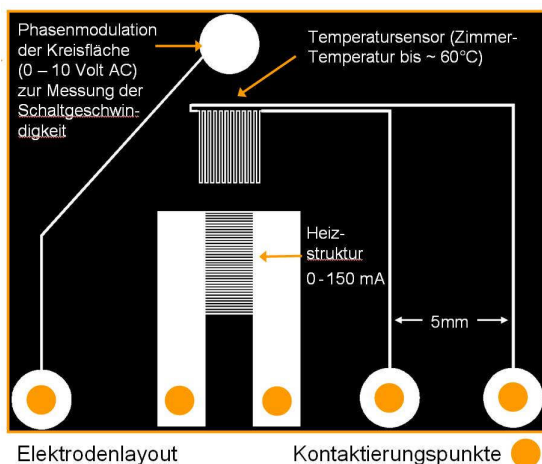


Abb. 2 Elektroden-Layout des LC-Phasenmodulators mit integriertem Temperatursensor und Heizelement

In Abb. 2 ist das Elektroden-Design des LC-Phasenmodulators zur Schaltzeitmessung dargestellt.

Flüssigkristall BL 006

Der ausgewählte Flüssigkristall BL 006 der Firma Merck besitzt eine hohe Brechungsindexdifferenz von $\Delta n=0,359$ bei einer Wellenlänge von 405nm , welche dafür sorgt, dass ein Phasenhub von π trotz geringer Zelldicke realisiert werden kann.

Transient Nematic Effekt

Der Transient Nematic Effekt nutzt die starken molekularen Rückstellkräfte aus: im eingeschalteten Zustand (10 Volt) sind die LC Moleküle senkrecht zu den Glassubstraten ausgerichtet. Schaltet man zunächst die Spannung vollständig aus, behindert kein elektrisches Feld die mechanischen Rückstellkräfte und die Moleküle drehen sich schnellstmöglich in die Position, die einem relativen Phasenhub von π entspricht. Erst dann wird die neue Haltespannung eingeschaltet. [4]

Zusammenfassung

Es wurden Schaltzeiten des Flüssigkristall-Phasenmodulators von $0,5\text{ms}$ bei der Ausschaltzeit und $0,025\text{ms}$ bei der Einschaltzeit für den Phasenhub von einem π bei einer Wellenlänge von 405nm und einer Arbeitstemperatur von $T=57^\circ\text{C}$ gemessen. Die Kombination verschiedener schaltzeitverbessernder Effekte, insbesondere die neue Herstellungsmethode der Fotolackspacer für ultradünne Zellen, hat zum schnellen Schaltverhalten beigetragen. Es wurde eine Homogenität der Zelldicke von $\pm 25\text{nm/mm}$ bestimmt und eine Temperaturstabilisierung durch die interne Regelung von $\pm 0,06^\circ\text{C}$ erreicht.

Literatur

- [1] C. Denz: „Potentialities and limitations of hologram multiplexing by using the phase-encoding technique“ in Appl. Optics 31 (1992)
- [2] K.-O.Müller: „Volumenholographische Datenspeicherung mit Adressierung durch Phasenkodierung“ Doktorarbeit (Shaker Verlag GmbH 2000), ISBN-10: 3826587359
- [3] J.Peuser: Phasenkodierung zur Kapazitätserhöhung eines volumenholographischen Datenspeichersystems (DGaO-Proceedings 2006), ISSN: 1614-8436
- [4] S.-T. Wu: „Optics and nonlinear optics of liquid crystals“ (World Scientific 1993), ISBN 981-02-09347