

Phasenkodierung zur Kapazitätserhöhung eines volumenholographischen Datenspeichersystems

Jörn Peuser, Thomas Ruckelshausen, Jürgen Petter, Theo Tschudi
Institut für Angewandte Physik, Technische Universität Darmstadt

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

Wir demonstrieren ein volumenholographisches Datenspeichersystem bei einer Wellenlänge von 405 nm unter Ausnutzung der Phasenkodierung zur Kapazitätserhöhung. Als Speichermedium dient ein photorefraktiver Kristall. Die verwendeten optischen Komponenten (Phasenmodulator, diffraktives optisches Element), die in unserem Institut hergestellt wurden, werden erläutert.

Einführung

Stetig steigende Datenmengen verlangen immer größere Datenspeicher. Allerdings geraten die herkömmlichen Medien, wie z.B. CD, DVD oder BD an die Grenzen ihrer physikalisch erreichbaren Datendichte.

Ein Ansatz ist die Realisierung eines volumenholographischen Datenspeichersystems unter Verwendung diverser Multiplexverfahren zur Kapazitätserhöhung. Durch spezifisches Verändern des Referenzstrahls (Einfallswinkel, Wellenlänge, Phase) bei der Hologrammaufnahme können mehrere Hologramme in das gleiche Volumen gespeichert werden.

Im experimentellen Aufbau wurde ein Laser mit einer Wellenlänge von 405 nm, sowie ein photorefraktiver Kristall (Lithium-Niobat) als Speichermedium verwendet.

Phasemultiplexing in der Volumenholographie

Das verwendete Multiplexverfahren bei unserem Datenspeichersystem ist die Phasenkodierung. Der Referenzstrahl wird in mehrere einzelne Strahlen aufgeteilt und durch einen Phasenmodulator mit einem orthogonalen binären Phasencode (Matrizen der Walsh-Hadamard-Transformation) versehen: 0 oder π Phasenhub (siehe Abb. 1). [1]-[2]

Der Phasenmodulator basiert auf Flüssigkristall (LC)-Technologie und ermöglicht einen adaptiven Phasenhub durch 64 einzeln ansteuerbare Elemente (siehe Abb. 2). Ein Element hat eine räumliche Ausdehnung von $100\mu\text{m} \times 30\mu\text{m}$, der Abstand zwischen den einzelnen Elementen beträgt $10\mu\text{m}$. Das Elektrodenlayout wurde zunächst mit einem laserlithographischen Schreibprozess auf ein mit Photolack beschichtetes Chrom-Glas-Substrat geschrieben und nach einem nasschemischen Ätzprozess in Chrom übertragen. Anschließend konnte die Elektrodenstruktur auf ein mit Indiumzinnoxid (ITO) beschichtetes Glassubstrat kopiert

werden. Nach dem Verkleben wurde die Zelle mit dem Flüssigkristall BL 006 der Firma MERCK befüllt und versiegelt. Dieser Flüssigkristall zeichnet sich durch eine hohe Brechungsindexdifferenz von $\Delta n=0,359$ (bei 405 nm) aus, wodurch auch bei sehr dünnen LC-Zellen ein Phasenhub von π erreicht werden kann. Der Phasenmodulator wurde vollständig am Institut für Angewandte Physik Darmstadt entwickelt und hergestellt.

Methoden zur Schaltzeitverbesserung

Das Umschalten der einzelnen Phasencodes begrenzt die Auslesegeschwindigkeit der einzelnen Datensseiten. Wir kombinieren daher mehrere Methoden, um eine kurze Schaltzeit der Flüssigkristallzelle zu erreichen:

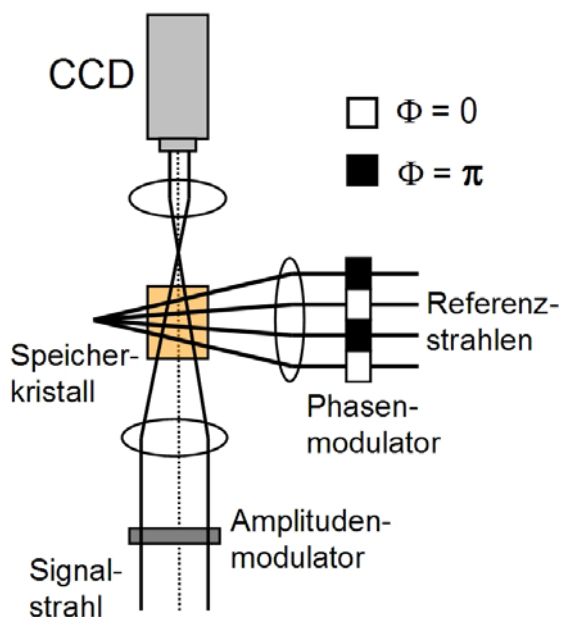


Abb. 1 Prinzip der Phasenkodierung.

1. Herstellung sehr dünner Zellen (Dicke des LCs $\sim 1\mu\text{m}$)

2. Temperaturerhöhung durch Heizen der Zelle ($T \sim 60^\circ\text{C}$)
3. „Transient Nematic“ Effekt

Durch die dünnen Zellen und den Betrieb bei höherer Temperatur können sich die Flüssigkristall-Moleküle aufgrund der niedrigeren Rotationsviskosität und den stärker wirkenden Randanbindungskräften schneller reorientieren. Die Arbeitsweise des Transient Nematic Effekts nutzt die starken molekularen Rückstellkräfte aus. Im eingeschalteten Zustand (ca. 10Volt) 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. [3]

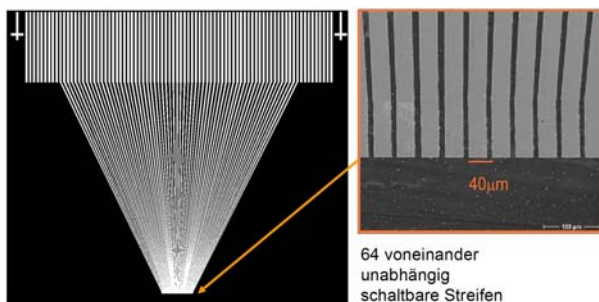


Abb. 2 Elektroden-Design des LC-Phasenmodulators

Diffraktives optisches Element zur 64 fachen Strahlaufteilung

Um eine effiziente Nutzung des LC-Phasenmodulators zu gewährleisten, muß das Licht des Referenzstrahls zuerst in 64 einzelne Strahlen aufgeteilt werden. Diese Einzelstrahlen sollen auf die phasenschiebenden Elemente des Modulators fokussiert und so gezielt phasencodiert werden. Hierzu wurde in unserem Institut ein binäres diffraktives optisches Element (DOE) berechnet und per Laserlithographie als Phasenmaske in Photolack geschrieben.

Die berechnete Gesamteffizienz des DOEs liegt bei ca. 70%, die maximale Intensitätsvariation der Spots bei $\pm 2,5\%$. Die feinste Strukturgröße beträgt $1,5\ \mu\text{m}$.

Das DOE wurde mit zwei Berechnungsalgorithmen optimiert: dem Iterativen Fourier Transformations-Algorithmus (IFTA) und dem Simulated Annealing (SA) Verfahren.

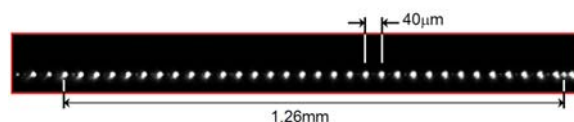
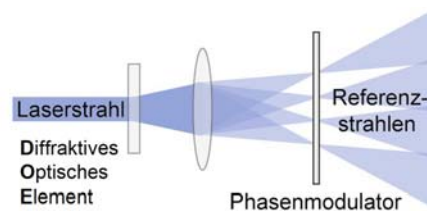


Abb. 3 Diffraktives optisches Element zur Strahlteilung

Ergebnisse

Mit dem experimentellen Aufbau (siehe Abb. 4) konnten erste Hologramme in Lithium-Niobat unter Ausnutzung der Phasencode – Multiplex Methode gespeichert werden. Die Schaltzeit des LC-Phasenmodulators wurde durch die Kombination von Effekt 1 und 3, sowie Effekt 2 und 3 von ca. 25ms auf 2ms erniedrigt. Die Kombination aller drei Effekte wird eine weitere Verbesserung der Schaltzeit bewirken.

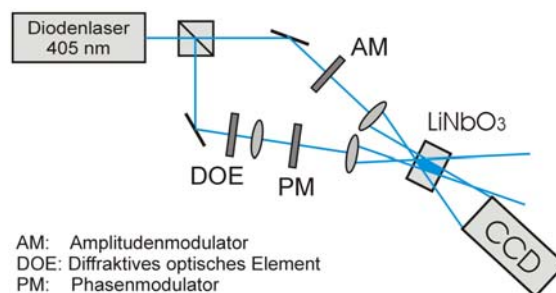


Abb. 4 Versuchsaufbau des Datenspeichersystems

Ausblick

Die Integration unserer Komponenten (LC-Phasenmodulator, DOE Strahlteiler) in ein holographisches Diskspeichersystem mit einer Kapazität von 200 Gbyte steht am Ende unserer Experimente. Da in dem finalen Systemaufbau eine kolineare Strahlführung verwendet wird, sind die kolineare Versuchsanordnung, sowie ein modifiziertes LC-Zellen-Design Gegenstand weiterführender Experimente.

Literatur

- [1] K.-O.Müller: „Volumenholographische Datenspeicherung mit Adressierung durch Phasenkodierung“ Doktorarbeit: (2000)
- [2] C. Denz: „Potentialities and limitations of hologram multiplexing by using the phase-encoding technique“ in Appl. Optics 31: (1992)
- [3] S.-T. Wu: „Optics and nonlinear optics of liquid crystals“ in World Scientific: (1993)