



Doctoral Thesis

Photorefractive spatial light modulation in KNbO_3 crystals

Author(s):

Amrhein, Peter

Publication Date:

1992

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000629554> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 9670

**PHOTOREFRACTIVE
SPATIAL LIGHT MODULATION
IN KNbO_3 CRYSTALS**

A dissertation submitted to the
Swiss Federal Institute of Technology Zürich

for the degree of a Doctor of Natural Science

presented by

PETER AMRHEIN

Dipl. Phys. ETH

born October 18, 1961

citizen of Engelberg, OW

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. P. Günter, examiner

Prof. Dr. H. Gränicher, coexaminer

Prof. Dr. P. Günter
Institut für Quantenelektronik
ETH Hönggerberg
CH-8093 Zürich

1992

24. 3. 92

P. Günter

Photorefractive spatial light modulation in KNbO_3 crystals

Abstract

Spatial light modulators are key components in optical image processing and in the field of optical computing. Optically controllable devices with high data input and output rates and modest power consumption are strongly needed. Photorefractive materials combine the ability of fast response useful for dynamic holography and a large photosensitivity in the visible, opening a wide variety of possibilities for optical signal processing.

The aim of this thesis is the investigation of the potentials and limitations of the photorefractive effect for spatial light modulation. Various schemes are proposed and verified experimentally. Potassium niobate (KNbO_3), which is especially suited for photorefractive applications, is used for the realization of a photorefractive spatial light modulator with high resolution.

In the first part the photorefractive effect is discussed. A theoretical band model for KNbO_3 is presented that includes deep donors and shallow traps and takes electron-hole competition into account. A simplified version of this model is described in terms of the Kukhtarev transport equations. New analytical solutions for the transient and steady state photoconductivity and the dark decay of phase gratings are found. These solutions explain the sublinear intensity dependence of photoconductivity, non-exponential dark decay and transient effects.

In the second part optical, electrical, and photorefractive experiments with electrochemically reduced KNbO_3 are interpreted in terms of the model presented in part one. The basic material parameters are determined and further optimization possibilities for the photosensitivity and the photorefractive response time in this material are proposed. A new method is presented that allows to study the nonlinear optical homogeneity of photorefractive samples.

In the third part the experimental realization of an optically driven spatial light modulator based on a KNbO_3 crystal is described. This set-up is used and characterized for optical incoherent to coherent image conversion. A resolution of 35 line pairs per mm is achieved. The limitations of the resolution due to the Bragg diffraction process in the photorefractive crystal and due to the beam geometry are discussed. Several possible experimental set-ups for high resolution are investigated. With a small modification the photorefractive spatial light modulator is used as an optically addressed fiber coupler.

Photorefraktive räumliche Lichtmodulation in KNbO_3 Kristallen

Zusammenfassung

Räumliche Lichtmodulatoren sind Schlüssel-Elemente für die optische Bildverarbeitung und die Entwicklung von optischen Computern. Optisch steuerbare Elemente mit grosser Dateneingabe- und -ausgabegeschwindigkeit sowie kleinem Energieverbrauch sind für diese Anwendungen sehr wichtig. Photorefraktive Materialien verbinden eine grosse optische Empfindlichkeit im Sichtbaren mit den Vorzügen der dynamischen Holographie.

Das Ziel dieser Dissertation ist die Untersuchung der Möglichkeiten und Grenzen bei der Anwendung des photorefraktiven Effektes für die räumliche Lichtmodulation. Verschiedene Wege der Optimierung werden vorgeschlagen und im Experiment bestätigt. Kalium-Niobat (KNbO_3), das speziell geeignet ist für photorefraktive Anwendungen, wird verwendet für die Realisierung eines photorefraktiven räumlichen Lichtmodulators.

Im ersten Teil wird der photorefraktive Effekt diskutiert. Ein theoretisches Bandmodell für KNbO_3 wird vorgestellt, das zwei verschieden tief liegende Elektronenzustände zu Grunde legt und sowohl Elektronen- als auch Löcherleitung berücksichtigt. Eine vereinfachte Version dieses Modells wird mit Hilfe der Kukhtarev'schen Bandtransport-Gleichungen beschrieben. Neue analytische Lösungen werden angegeben für die stationäre und nicht-stationäre Photoleitfähigkeit und den Zerfall des optischen Gitters im Dunkeln.

Im zweiten Teil werden optische, elektrische und photorefraktive Messungen an elektrochemisch reduzierten KNbO_3 Kristallen mit Hilfe des im ersten Teil angegebenen Modells beschrieben. Die grundlegenden Materialparameter werden bestimmt und weitere Möglichkeiten zur Optimierung der optischen Empfindlichkeit und der Gitteraufbauzeit werden vorgeschlagen. Eine neue Methode zur Untersuchung der Homogenität von photorefraktiven Kristallen wird aufgezeigt.

Im dritten Teil wird die Realisierung eines optisch ansteuerbaren räumlichen Lichtmodulators, basierend auf einem KNbO_3 Kristall, beschrieben. Dieser Aufbau wird verwendet, um Inkohärent-Kohärent-Bildwandlung zu erzielen. Eine Bildauflösung von 35 Linienpaaren pro mm wird erreicht. Die Auflösung, die begrenzt ist durch den Bragg Beugungsprozess im photorefraktiven Kristall und die Anordnung der Lichtstrahlen, wird eingehend diskutiert. Mehrere mögliche experimentelle Aufbauten mit hoher Auflösung werden besprochen. Mit einer kleinen Änderung wird der photorefraktive Lichtmodulator als optisch adressierbarer Faserkopleter betrieben.