



Doctoral Thesis

Photorefractive gratings fixing and recording in the visible and ultraviolet

Author(s):

Montemezzani, Germano Luigi

Publication Date:

1993

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000887895> →

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. 10013

**Photorefractive gratings: fixing and recording in
the visible and ultraviolet**

A dissertation submitted to the
Swiss Federal Institute of Technology
Zürich

for the degree of Doctor of Natural Sciences

presented by

GERMANO LUIGI MONTEMEZZANI

Dipl. phys. ETH
born June 21, 1963
citizen of Magadino (TI)

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. P. Günter, examiner
Prof. Dr. H. Melchior, co-examiner

1993

Abstract

The photorefractive effect can be used to record the optical information carried by a light wave by a phase hologram. The read-out is done by illuminating the crystal at the Bragg angle. This step can occur either simultaneously with the recording or at a later time. The grating read-out, however, normally deteriorates and erases the stored information.

In this work we investigate two approaches to avoid this unwanted erasure. The first is a hologram fixing procedure that allows reading out the hologram with the same wavelength used for recording. The second is to use different wavelengths for read-out and recording. The wavelengths can be selected in such a way that the read-out beam does not affect the phase-grating. Both approaches are experimentally and theoretically investigated, the possibility to use ultraviolet (UV) light for the recording of photorefractive gratings is studied in detail.

Two new theoretical models extend the conventional band models to include the case where ions can move in the crystals and the case where the incident photons induce phototransitions from the valence to the conduction band. The models are discussed in detail and their predictions are verified and used for the interpretation of the experimental results.

The experimental investigations are performed in crystals of potassium niobate (KNbO_3) and bismuth germanate ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$). KNbO_3 is particularly suited for all photorefractive applications because of its large electro-optic coefficients, photoconductivity and photosensitivity in the visible. $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ is particularly interesting for applications in the ultraviolet because of its transparency range extending to the wavelength of 300 nm.

We demonstrate the fixing of holographic gratings in KNbO_3 using a thermal cycling procedure. The underlying charge transport process is found to be the drift of non-photoexcitable ionic (secondary) charges in the internal electric field formed by photoexcitable electronic (primary) charges.

In $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, the competition between primary and secondary carriers is also observed. Only a partial fixing is obtained because the secondary carriers are not of ionic nature. Additional investigation shows that $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ is well suited for coherent image amplification or for dynamic holography in the UV because of its efficient charge transport.

A novel kind of photorefractive experiment is performed in KNbO_3 . Recording with ultraviolet light which induces interband phototransitions produces large free carrier concentrations and the charge modulation can be stored rather in one of the bands than in deep traps. Since a visible read-out beam cannot induce interband transitions it does not strongly influence the space-charge grating and large read-to-write intensity ratios can be used. Interband effects prove to be very promising because large diffraction efficiencies and short response times in the μs range are observed.

Riassunto

L'effetto fotorifrangente può essere utilizzato per memorizzare in un cristallo l'informazione portata da un'onda luminosa sotto forma di ologramma di fase. La lettura dell'informazione avviene illuminando il cristallo sotto l'angolo di Bragg, questo processo può avvenire simultaneamente con la fase di registrazione, oppure in una fase successiva. La lettura induce però un deterioramento e spesso la cancellazione dell'informazione memorizzata.

In questo lavoro si investigano due metodi per conservare intatta l'informazione. Il primo è un fissaggio dell'ologramma che permette la sua lettura con la stessa lunghezza d'onda usata per la registrazione. Il secondo è un metodo che usa due differenti lunghezze d'onda per la registrazione e la lettura. La loro selezione è fatta in modo che il raggio di lettura non disturbi il reticolo di fase. I due metodi sono studiati sia sperimentalmente che teoricamente e la possibilità di usare raggi ultravioletti per registrare reticoli fotorifrangenti è studiata in dettaglio.

Due nuovi modelli teorici estendono i modelli convenzionali includendo il caso in cui i cristalli contengano cariche ioniche mobili e quello in cui i fotoni incidenti inducano transizioni di elettroni dalla banda di valenza a quella di conduzione. I modelli sono discussi dettagliatamente e le loro predizioni sono verificate e usate per interpretare i risultati sperimentali.

Gli esperimenti sono eseguiti su cristalli di niobato di potassio (KNbO_3) e di germanato di bismuto ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$). Il primo è particolarmente adatto per applicazioni dell'effetto fotorifrangente essendo i suoi coefficienti elettro-ottici, la sua fotoconduttività e la sua sensibilità alla luce visibile alquanto elevati. Il secondo si presta particolarmente ad applicazioni nell'ultravioletto essendo trasparente fino alla lunghezza d'onda di 300 nm.

Si dimostra il fissaggio di reticoli olografici nel KNbO_3 usando un metodo basato sulla variazione della temperatura. Il processo che ne sta alla base è il movimento di cariche ioniche (secondarie) spinte nel campo elettrico indotto dalle cariche elettroniche (primarie) eccitate dalla luce.

Cariche secondarie interagiscono con quelle primarie anche nel $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$. Le prime non sono di natura ionica e si ottiene perciò solo un fissaggio parziale dell'informazione. Si stabilisce che questo cristallo è adatto per l'amplificazione coerente di raggi luminosi o per l'olografia dinamica nell'ultravioletto essendo il trasporto delle cariche molto efficiente.

Un nuovo modo di registrare reticoli olografici alla superficie del KNbO_3 produce grandi efficienze di diffrazione e tempi di risposta di pochi microsecondi. Gli ologrammi sono registrati con luce ultravioletta che induce transizioni da banda a banda e produce grandi concentrazioni di cariche libere. Raggi visibili di intensità anche molto superiore di quella dei raggi di registrazione ultravioletti non influenzano fortemente il reticolo spaziale di cariche.

Zusammenfassung

Photorefraktive Effekte können zur Speicherung der von einer Lichtwelle getragene Information verwendet werden. Die Auslesung der als Phasenhologramm gespeicherte Information kann entweder gleichzeitig zum Schreibprozess, oder zu einen späteren Zeitpunkt, mit einem Strahls unter Bragg-Winkel erfolgen. Die Information wird jedoch gestört und gelöscht durch den Ausleseprozess.

Wir untersuchen zwei Methoden um diese Auslöschung zu vermeiden. Die erste ist eine Hologrammfixierung, die die Verwendung von Schreib- und Lesestrahlen derselbe Wellenlänge erlaubt. Die zweite ist die Benützung von verschiedene Wellenlängen für Schreiben und Auslesen, die Wellenlängen können dann so gewählt werden, dass das Auslesen die Phasenhologramme nicht beeinflusst. Beide Methoden sind experimentell und theoretisch untersucht und die Benützung ultraviolettes (UV) Licht zur Aufnahme photorefraktiver Gitter wird gründlich studiert.

Zwei neue theoretische Modelle erweitern die konventionelle Bandmodelle. Der erste betrachtet den Fall wo die Kristalle bewegliche ionische Ladungen enthalten, der zweite den Fall wo die einfallenden Photonen induzieren Übergänge vom Valenz- zum Leitungsband. Die Modelle werden gründlich diskutiert und deren Vorhersagen sind nachgeprüft und werden gebraucht zur Interpretation der experimentellen Resultate.

Die Experimente sind in Kallium Niobat (KNbO_3) und Wismut Germanat ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) Kristallen durchgeführt. Auf Grund seiner grossen elektro-optischen Koeffizienten, seiner grosse Photoleitfähigkeit und seiner grosse Empfindlichkeit im sichtbaren, KNbO_3 ist sehr gut geeignet für alle Anwendungen des photorefraktiven Effektes. $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ist besonders interessant für Anwendungen im ultravioletten wegen seinen Transparenzbereich der bis zur Wellenlänge von 300 nm reicht.

Eine thermische Fixiermethode für holographische Gitter wird demonstriert für KNbO_3 . Das unterliegende Prozess ist das Driften von (sekundären) ionischen Ladungsträger im Raumladungsfeld gebildet durch primären elektronischen Ladungen. Im Gegensatz zu den Ionen können diese optisch angeregt werden.

Eine Kompetition zwischen primären und sekundären Ladungsträger wird auch in $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ beobachtet. In diesem Fall sind die Hologramm nur teilweise fixiert, weil die sekundäre Ladungsträger nicht ionischer Natur sind. Weitere Untersuchungen zeigen, dass, wegen den effizienten Ladungstransport, $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ist geeignet für kohärente Bildverstärkung und für dynamische Holographie im UV.

Eine neue Art von photorefraktive Experimente wird in KNbO_3 durchgeführt. Die ultraviolette Schreibstrahlen induzieren interband Photoübergänge und erzeugen grosse Konzentrationen von freie Ladungsträger. Die Ladungsmodulation befindet sich dann eher in einer der Bänder als in tiefen Einfangszentren. Da ein sichtbares Auslesestrahl keine interband Übergänge verursacht, er beeinflusst nur geringfügig den Raumladungsgitter. Sehr grosse Intensitätsverhältnisse zwischen Lese- und Schreibstrahlen können daher benützt werden. Interband photorefraktive Effekte sind sehr vielversprechend weil grosse Beugungseffizienzen und kurze Antwortzeiten im μs Bereich beobachtet werden.