



Doctoral Thesis

Photorefractive effects induced by short light pulses

Author(s):

Biaggio, Ivan

Publication Date:

1993

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000697405> →

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. 10009

**PHOTOREFRACTIVE EFFECTS
INDUCED BY SHORT LIGHT PULSES**

A dissertation submitted to the
Swiss Federal Institute of Technology
Zürich

for the degree of Doctor of Natural Sciences

presented by

Ivan Biaggio

Dipl. phys. ETH
born March 10, 1962
citizen of Giubiasco (TI)

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

1993

Abstract

Dielectric crystals that are electro-optic and photoconductive show large photorefractive effects when they are subjected to an inhomogeneous illumination like the one produced by the interference of two laser beams. Light excites mobile charge carriers that, by moving away from their excitation places, build up an inhomogeneous charge distribution. The corresponding space-charge field modulates the refractive index of the material via the linear electro-optic effect and gives rise to a phase grating. Photorefractive materials have a large variety of potential applications for optical signal processing. Moreover, the space-charge induced photorefractive effect can be efficiently used as a tool for material investigation.

In this work we develop new experimental techniques, based on short pulse excitation of phase gratings in electro-optic materials, that lead to a better characterisation of the materials and to the measurement of important parameters like the mobility of the charge carriers.

Experiments using short pulses permit the separation of the photogeneration and the conduction processes that give rise to a photorefractive grating. We show that for short pulse excitation the theoretical analysis can be substantially simplified and we drop some important assumptions that are necessary to obtain analytical solutions in the case of continuous wave illumination. The system of differential equations describing the photorefractive effect is also solved numerically and exact solutions are obtained in the time region relevant to short pulse experiments.

The experiments consist in the study of the dynamics of photorefractive grating build-up in the dark after pulsed illumination for different grating wave vectors, illumination intensities, and crystal temperatures. In this way it is possible to separately identify the contributions to the build-up that are due to diffusion of the charge carriers and to photogalvanic effects or drift in an externally applied electric field. This leads to the separate determination of the mobility and the lifetime of the photoexcited charge carriers, the probability rate for photoexcitation of impurity centres, and the dependence of the concentration of photorefractive centres on crystal

treatment. Information on the nature of shallow trap levels present in the crystals is obtained by an analysis of the dark decay of the grating.

The experiments were generally performed in electrochemically reduced potassium niobate crystals. Potassium niobate (KNbO_3) is a perovskite, ferroelectric material, that shows favourable photorefractive and nonlinear optical properties. Using the methods developed in this work, we measured the mobility of the photoexcited electrons to be $0.5 \pm 0.1 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$, and their lifetime after photoexcitation to be $3.8 \pm 0.3 \text{ ns}$. Measurements in samples with different dopant concentration and that were subjected to different treatments indicate that both mobility and lifetime are intrinsic properties of KNbO_3 .

Riassunto

Cristalli dielettrici che mostrano un effetto elettro-ottico e sono fotoconduttivi danno adito a un importante effetto fotorifrangente se sottoposti a un'illuminazione inomogenea come quella prodotta dall'interferenza di due raggi laser. La luce produce per fotoeccitazione dei portatori di carica mobili che conducono ad una distribuzione di carica inomogenea all'interno del cristallo. Il campo elettrico dovuto a questa distribuzione di carica modula l'indice di rifrazione del materiale grazie all'effetto elettro-ottico lineare, producendo così un reticolo di fase. I materiali fotorifrangenti hanno una grande varietà di applicazioni potenziali nel campo dell'analisi ottica di segnali. Inoltre, l'effetto fotorifrangente indotto da modulazioni di carica può essere utilizzato efficacemente per lo studio e la caratterizzazione dei materiali.

In questo lavoro si sviluppano nuovi metodi sperimentali, basati sulla creazione di un reticolo di fase mediante impulsi di luce, che portano ad una migliore caratterizzazione dei materiali ed alla misurazione di importanti parametri come la mobilità dei portatori di carica.

Esperimenti che utilizzano impulsi laser molto brevi permettono di separare temporalmente la fotogenerazione di portatori di carica e i processi di conduzione che portano alla formazione di un reticolo di fase. Nel caso di un'illuminazione con impulsi brevi l'analisi teorica può essere semplificata sostanzialmente. Alcune importanti assunzioni necessarie per ottenere delle soluzioni analitiche nel caso di illuminazione continua possono essere tralasciate. Il sistema di equazioni differenziali che descrive l'effetto fotorifrangente è anche risolto numericamente e soluzioni esatte sono ottenute nell'intervallo di tempo rilevante per esperimenti con impulsi brevi.

Gli esperimenti consistono principalmente nello studio dell'evoluzione del reticolo fotorifrangente nel buio, dopo illuminazione con un impulso laser, per differenti vettori d'onda del reticolo, intensità di illuminazione, e temperature del cristallo. In questo modo si possono identificare separatamente i contributi al reticolo dovuti a diffusione di cariche, all'effetto fotogalvanico, o al movimento degli elettroni in un campo elettrico applicato esternamente. Questo porta alla determinazione separata

della mobilità e della vita media delle cariche fotoeccitate, della probabilità di fotoionizzazione di un'impurità, e della dipendenza della concentrazione di impurità che portano all'effetto fotorifrangente dal trattamento del cristallo. Informazioni sulla natura delle impurità che possono catturare un elettrone sono ottenute da un'analisi del decadimento del reticolo fotorifrangente nel buio.

Gran parte degli esperimenti sono stati effettuati in cristalli di niobato di potassio ridotto elettrochimicamente. Il niobato di potassio (KNbO_3) è un materiale ferroelettrico ("perovskite") con delle proprietà elettro ottiche e non lineari molto favorevoli. Utilizzando i metodi sviluppati in questo lavoro, si è determinato che la mobilità degli elettroni fotoeccitati è uguale a $0.5 \pm 0.1 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ e che la loro vita media è uguale a $3.8 \pm 0.5 \text{ ns}$. Le misurazioni effettuate in campioni con diverse concentrazioni di impurità e che sono stati sottoposti a diversi trattamenti indicano che sia la mobilità che la vita media sono proprietà intrinseche del niobato di potassio.