

Diss. ETH ex.B

Diss. ETH No. 12433

OPTISCHE DATENSPEICHERUNG UND ABBAU PHOTOAKTIVER SYSTEME

**ABHANDLUNG ZUR ERLANGUNG DES TITELS
DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN**

DER

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

VORGELEGT VON

DANIEL H. REISS

DIPL. NATW. ETH

GEBOREN AM 19. APRIL 1967

VON ZÜRICH ZH

ANGENOMMEN AUF ANTRAG VON

PROF. DR. URS P. WILD, REFERENT

PROF. DR. A. BAUDER, KORREFERENT

PROF. DR. A. REBANE, KORREFERENT

ZÜRICH 1997



ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Dissertation wurde untersucht, welche Materialien zur optischen Datenspeicherung mit zerstörungsfreiem Auslesen verwendet werden können. Als Informationsträger wurden einerseits Zn-Tetrabenzoporphyrin (ZnTBP) und Zn-Tetraphenyltetrabenzoporphyrin (ZnTPTBP), beide in der Matrix Polystyrol (PS) bei Temperaturen um 1.8 K, und andererseits ein Bleisilikat-kristallglas (19 mol% PbO, 68 mol% SiO₂) bei Raumtemperatur benutzt.

Die transienten Eigenschaften von ZnTBP in PS erlaubten es während der langen Triplettlebenszeit (40 ± 2 ms) mittels spektralem Lochbrennen (SHB) ein temporäres Hologramm mit einer absoluten Beugungseffizienz von 1% zu speichern. Kombiniert mit der Raum-Zeit-Holographie konnte in *Echtzeit* hinter streuende Objekte geschaut werden, indem alles Streulicht, welches zeitlich vor dem interessanten Signal kam, in eine andere Beugungsordnung gelenkt wurde.

Die Zugabe von Elektron-Akzeptoren in die Polymermatrix unterstützte einen weiteren Reaktionsweg: Durch die resonante Absorption des ersten Photons wird das Farbstoffmolekül, wie auch in den transienten Experimenten, selektiv angeregt. Mit der Absorption eines zweiten, höherenergetischen Photons aus dem Triplett-Zustand wird ein effizienter Elektron-Transfer ermöglicht. Die verwendeten Elektron-Akzeptoren DDT (1,1-bis(4-chlorphenyl)-2,2,2-trichlorethan) bei ZnTBP und Hexachlorethan bei ZnTPTBP erlaubten das Zweifarb-Lochbrennen mit der holographischen Detektion zu kombinieren. Die Auslestabilität verbesserte sich etwa 3000 mal im Vergleich zu herkömmlichen Einfarb-Hologrammen in SHB-Materialien. Es ist aber zu beachten, dass der grüne Fixierstrahl die Beugungseffizienz aller schon gespeicherten Hologramme durch nicht selektive Photoreaktion reduziert. Somit kann die theoretische Grenze der Informationsdichte nicht erreicht werden (bei

ZUSAMMENFASSUNG

ZnTBP ist $\Gamma_{\text{hom}} = 1.16 \pm 0.35$ GHz, und somit die theoretische Limite $\Gamma_{\text{inh}}/\Gamma_{\text{hom}} \approx 6000$).

Durch Ausnützen der nicht-linearen optischen Eigenschaften wurde in Kristallglas zum ersten Mal mit einem photoinduzierten Prozess ein Hologramm gespeichert, das gleichzeitig die Frequenz des Auslesestrahls verdoppelte und den generierten Objektstrahl unter einem experimentell wählbaren Winkel beugte. Die Frequenzverdopplung, welche durch die gespeicherte Suszeptibilität zweiter Ordnung ($\chi^{(2)}$) zustandekommt, ermöglichte den Nachweis kleiner absoluter Beugungseffizienzen (10^{-9}), weil durch die spektrale Separation jegliches Streulicht des Lesestrahls effizient gefiltert werden konnte. Die Möglichkeit $\chi^{(2)}$ -Hologramme in Glas zu speichern, erschliesst neue Felder in der Datenspeicherung und Datenverarbeitung.

SUMMARY

The main topic of this investigation is highly frequency-selective optical data storage with materials that can be read non-destructively. Two possible organic dye-doped hole burning systems were studied as data storage media: Zn-tetrabenzoporphyrin (ZnTBP) and Zn-tetraphenyltetrabenzoporphyrin (ZnTPTBP) at 1.8 K in a polystyrene (PS) matrix.

The triplet-state hole burning transient properties of ZnTBP in PS allow for the temporary storage of transient hologram images during the triplet lifetime (40 ± 2 ms). The combination of this property with causality-related time asymmetry of time-and-space domain holography permits one to perform time gated imaging. An actual application is the possibility to see an image through a scattering surface in *real time*. Causality can be used to deflect stray light, which arrives earlier than the signal of interest, in a different diffraction direction. We achieve a maximum absolute diffraction efficiency in these holograms of 1%.

By adding an electron acceptor in the polymer, one observes enhanced hole-burning. After resonant absorption of the first photon, the chromophore is excited selectively, like in transient experiments. Due to the absorption of a higher energetic second photon from the triplet state, an efficient electron-transfer takes place from the excited molecule to an acceptor embedded in the solid matrix. The use of efficient acceptors, such as DDT (1,1-bis(4-chlorophenyl)-2,2,2-trichloroethane) and hexachloroethane allows for the combination of two-color photon-gated holeburning with holography. We observed an increase of the read-out stability of photon gated holograms by a factor of 3000. We also observe, that the intense illumination with the green gating-beam, compared to the conventional one-color holograms, decreases the diffraction efficiency of all previously stored holograms, due to non-selective

SUMMARY

photoreaction. Therefore, the theoretical limit of the storage density can not be reached in practice. For example, at 1.7 K ZnTBP in PS has a homogeneous linewidth of $\Gamma_{\text{hom}} = 1.16 \pm 0.35$ GHz, which gives the ratio $\Gamma_{\text{inh}}/\Gamma_{\text{hom}} \approx 6000$ for the theoretical limit.

We also describe experiments, where we have recorded special holograms, which double the frequency of the incident infrared beam (1064 nm) and simultaneously deflect the generated green object beam (532 nm) in a predetermined direction. This is accomplished by using non-linear optical properties of lead silicate glass (19 mol% PbO, 68 mol% SiO₂) at room temperature. A hologram with these special features was recorded for the first time. The frequency doubling allowed for the signal detection of very small absolute diffraction efficiencies (10^{-9}) because effective separation of the two different colors was possible. The feasibility of storing $\chi^{(2)}$ -holograms could open new fields in optical data storage and data treatment.