ETH zürich

ETH Library

Möglichkeiten und Grenzen optischer Datenspeicherung in frequenzselektiven Materialien

Doctoral Thesis

Author(s):
Plagemann, Bernd Helmut

Publication date:
1998

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-001947603

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 Nr. 12639

Möglichkeiten und Grenzen optischer Datenspeicherung in frequenzselektiven Materialien

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Bernd Helmut Plagemann

Diplom-Physiker, Universität Heidelberg
geboren am 10. März 1968
in Arnsberg (Westfalen)
Bundesrepublik Deutschland

angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. Urs P. Wild, Referent
Prof. Dr. Frédéric Merkt, Korreferent

Zürich 1998

Zusammenfassung

Grundlage der vorliegenden Arbeit ist die Entdeckung, daß die selektive Anregung mit schmalbandigem Licht in der inhomogen verbreiterten Absorptionsbande von Absorber-Matrix-Systemen „Löcher" hinterlassen kann. Die Frequenzselektivität solcher Systeme eröffnet die Möglichkeit, viele Positionen im Absorptionsspektrum unabhängig voneinander zu adressieren und somit für die Speicherung von Informationen zu verwenden. Nutzt man zusätzlich die räumliche Auflösung der benutzten Proben aus, sind mit Lochbrennmaterialien extrem hohe Speicherdichten möglich. Die Benutzung von holographischen Aufnahme– und Auslesemethoden ermöglicht zudem eine hintergrundfreie Detektion und die Beeinflussung der beobachtbaren Signale in der Frequenzdimension. Ziel dieser Arbeit war es, die optische Speicherung mit frequenzselektiven Materialien weiter voranzutreiben und sowohl experimentell als auch theoretisch zu demonstrieren, welche Möglichkeiten diese Methode bei einer Optimierung der benutzten Materialien und Techniken bietet.

Nach einer Einführung in die grundlegenden Konzepte und einer Beschreibung der experimentellen Techniken wird ein neues Lochbrennmaterial vorgestellt. Die Modifikation eines bekannten Farbstoffmoleküls erlaubte es, einige Eigenschaften gezielt zu verändern und so ein besser geeignetes System für praktische Anwendungen zu erhalten. Das neue Chromophor-System *meso*-Diphenyl-Tribenzo-Mononaphthoporphyrin (P_2TriBNP) verbindet die hohe Lochbrenneffizienz bestimmter symmetrischer Porphyrine mit der spektralen Trennung der Photoprodukt– und Photoeduktbanden, die in nicht-zentrosymmetrischen Molekülen wie Chlorin beobachtet wird. Eine detaillierte Untersuchung der photochemischen Parameter zeigt, daß das neue System Eigenschaften besitzt, die denen des gründlich untersuchten Chlorin sehr ähnlich sind. Die um zwei Größenordnungen höhere Lochbrenneffizienz von etwa drei Prozent erlaubt jedoch eine deutliche Reduktion der benötigten Brennintensitäten und –zeiten in praktischen Anwendungen. Es ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Absorptionsbanden von Edukt– und Produktzustand teilweise überlappen und nur ein Teil für die Speicherung von Informationen benutzt werden kann. Zudem reduziert die rasche Rückreaktion des Photoproduktes die Verfügbarkeit der Information auf einige Stunden.

Nach den Studien zur Materialoptimierung folgt die Untersuchung der mit spektraler Holographie erreichbaren Speicherdichten. Es wird gezeigt, daß sich bei Ausnutzung aller Freiheitsgrade Speicherdichten von bis zu 10^{12} bit/cm^2 erreichen lassen sollten. Um zu demonstrieren, daß das Verhältnis von inhomogener zu homogener Linienbreite des betrachteten Chromophor-Matrix-Systems ein Maß für die Zahl der adressierbaren Frequenzpositionen ist, wurde erstmals die gesamte Bande eines solchen Systems (hier Chlorin in Polyvinylbutyral, PVB) für die Speicherung von optischen Informationen genutzt und so 12 000 Bilder gespeichert. Bei den erreichten großen Speicherdichten lassen sich zwei Einflüsse auf die gespeicherten Informationen unterscheiden: Durch die Anregung von Molekülen über den Phononenflügel bildet sich ein Hintergrundsignals über den gesamten beobachteten Spektralbereich aus. Zudem verursacht die Absorption großer Lichtenergien eine schnellere Verbreiterung der gebrannten spektralen Löcher und somit eine Reduktion der Signalintensität. Es wird gezeigt, wie diese Effekte die Qualität der Signale beeinflussen und wie sie sich durch die Benutzung anderer Materialien und den Verzicht auf gewisse Spektralbereiche teilweise umgehen lassen. Anschließend wird beispielhaft die Entwicklung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses und der Fehlerwahrscheinlichkeit untersucht, wenn sich die Fläche eines spektralen Loches mit der Zeit ändert. Die quantitativen Ergebnisse mit dem neuen System P_2TriBNP in PVB lassen darauf schließen, daß das Signal-zu-Rausch-Verhältnis der gespeicherten Bildinformation einer logarithmischen Zeitabhängigkeit folgt. Aus dieser Größe läßt sich die Wahrscheinlichkeit bestimmen, mit der einem detektierten Pixel ein falscher Wert zugeordnet wird. Die Übertragung der Ergebnisse auf andere Systeme ist durch die Anpassung der Zeitkonstanten leicht möglich.

Die Arbeit schließt mit einem Ausblick auf die Grenzen und Chancen zukünftiger Anwendungen von Lochbrennmaterialien in der optischen Datenspeicherung.

Summary

The basis of this work is the discovery of the occurrence of "holes" in the inhomogeneously broadened spectra of chromophore/host systems after the excitation with narrowband laser light. The frequency selectivity of such systems allows to address many positions in the absorption spectrum independently and thus to use them for the storage of information. The additional employment of the spatial resolution of the samples used enables one to reach extremely high storage densities. The introduction of holographic recording and read-out techniques permits background free detection and the modification of the observable signals in the frequency dimension. The main goal of this work was to promote the use of frequency selective materials for optical data storage further towards practical applications and to demonstrate both experimentally and theoretically the opportunities with this method when optimizing the materials and the techniques used.

After an introduction to the basic concepts of spectral hole-burning and the description of the experimental techniques, a new hole burning material is presented. The modification of a well known dye molecule allowed to specifically change some of its properties and hence to improve its usability for practical applications. The novel chromophore system *meso*-diphenyl-tribenzo-mononaphthoporphyrin (P_2TriBNP) combines the high hole burning efficiency of certain symmetric porphyrins with the spectral separation of the photoeduct and –product bands, which is observed in non-centrosymmetric molecules like chlorin. A detailed investigation of the photochemical parameters shows that the new system possesses very similar properties compared with the intensively studied dye chlorin. However, the photochemical hole-burning yield of three percent is higher by two orders of magnitude. A significant overlap of the absorption bands of the educt and product state has to be taken into account, though, restricting the use for information storage to certain wavelength regions. Additionally, the experimental time scale is limited to a few hours by the fast back reaction of the photoproduct.

After the studies dealing with the material optimization, an investigation of the storage densities that can be achieved by spectral holography is presented. The addressing of the different degrees of freedom allows one to attain storage densities up to 10^{12} bit/cm^2. For the first time, the complete absorption band of a

chromophore/host system (here chlorin in polyvinylbutyral, PVB) was used for the optical storage of information. This way it was demonstrated that the ratio of the inhomogeneous to homogeneous linewidth of such a system is a quantitative measure for the obtainable storage density. As a result, the storage of 12 000 images in a single dye-doped polymer sheet was achieved. Two effects can be separated when dealing with such high storage densities: First, the excitation of molecules in the phonon wing leads to an accumulated background over the entire wavelength region under consideration. Second, the absorption of high light doses causes the spectral holes to broaden more quickly. This results in a reduction of the signal intensity. It is shown how these effects influence the fidelity of the signals. The impact can be partly overcome by using other materials or by restricting the experiments to certain wavelength regions. Following that discusssion, it is shown how the the signal-to-noise ratio and the error rates evolve when the area of a spectral hole changes with time. The quantitative results obtained with the new system P_2TriBNP in PVB show a logarithmic time dependence of the signal-to-noise ratio of the stored image information. It is demonstrated that one can extract the probability for the wrong interpretion of a detected pixel from this value. The obtained results can easily be transferred to other systems by adjusting the time constants. The investigations conclude with an outlook of the future limits and opportunities of optical data storage using spectral hole-burning materials.