

5.1. Allgemeine Angaben zu den beendeten Teilprojekten B8 und T3

5.1.1. Titel:

Metallpartikel – dotierte Gläser: Laserinduzierte Deformation, nichtlineare optische Eigenschaften und ultraschnelle Dynamik (B8)

Erzeugung von farbigen und polarisierenden Mikrostrukturen in Metallnanopartikelhaltigen Gläsern durch ultrakurze Laserpulse und hohe elektrische Felder (T3)

5.1.2. Fachgebiete und Arbeitsrichtung:

Experimentalphysik, nichtlineare Optik, Dynamik in Metallclustern, photonische Systeme

5.1.3. Leiter

Prof. Dr. Graener, Heinrich, 19.12.1953

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Naturwissenschaftliche Fakultät II, Institut für Physik

Fachgruppe Optik

Hoher Weg 8

06099 Halle

Telefon: 0345 55 25310

Telefax: 0345 55 27221

E-Mail: heinrich.graener@physik.uni-halle.de

5.2. Bericht über die Entwicklung der Teilprojekte

5.2.1. Bericht

Die Arbeiten in den beiden Teilprojekten befassten sich, in Fortsetzung der vorhergehenden Antragsperioden, mit der lokalen, dauerhaften Veränderung metallischer Nanopartikel in Gläsern. Es wurde im Laufe dieses SFB zunächst entdeckt, dass die Bestrahlung solcher Nanokomposite mit ultrakurzen Laserimpulsen hoher Intensität eine dauerhafte Formänderung der Nanopartikel erzeugt, die sich makroskopisch als Dichroismus zeigt. Im weiteren Verlauf

konnte gezeigt werden, dass auch das Anlegen eines ausreichend großen statischen bzw. langsam variierenden elektrischen Feldes irreversible Veränderungen an den Nanopartikeln bewirken kann. Bei geeigneter Wahl der Bedingungen können die Nanopartikel komplett aufgelöst werden, unter Verwendung strukturierter Elektroden auch sehr lokal bis zu Strukturgrößen unterhalb von 1 μm .

Im Vordergrund dieser Antragsperiode standen im Teilprojekt B8 Arbeiten für ein vertieftes Verständnis der elementaren Prozesse der Partikelverformung. Dazu wurde zunächst die Intensitätsabhängigkeit der Verformung im Detail untersucht. Ein besonderes Augenmerk lag auf der Frage, wie die Inversion des Dichroismus oberhalb einer bestimmten Intensitätsschwelle (speziell beobachtet bei einer kleinen Anzahl eingestrahler Laserimpulse) zu erklären ist^{i,ii}. Dazu wurde eine optische 3D-Analyse, wie in Abb. 1 schematisch dargestellt, durchgeführt⁹. Insgesamt wurden vier Felder mit linear polarisierten Femtosekunden-Impulsen ($\lambda = 400 \text{ nm}$, k -Vektor in z -Richtung) bestrahlt, davon je zwei mit Einzelpulsen hoher Intensität (single shot) bzw. vielfach überlappenden Impulsen niedriger Intensität (multi shot). Zusätzlich wurde in beiden Modi noch die Polarisationsrichtung des Lasers variiert, d.h. je einmal mit linearer Polarisation in x - bzw. y -Richtung bestrahlt.

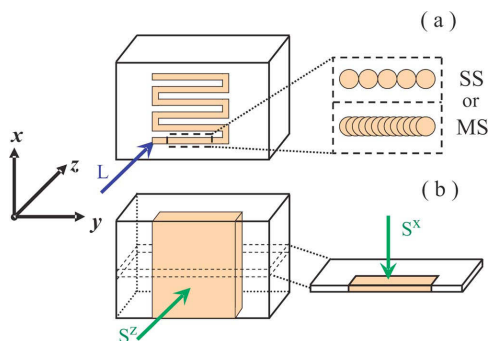


Abb. 1

- a) Geometrie der Bestrahlung (SS: single shot, hohe Intensität; MS: multi shot, niedrige Intensität)
- b) Präparation der Probe für die Transmissionsmessungen

Der entstandene Dichroismus wurde zunächst per Beleuchtung in z -Richtung spektroskopiert (S^z), anschließend wurden dünne Scheiben (Normale in x -Richtung, s. Abb. 2b) präpariert, um dann auch die Transmissionsspektren der bestrahlten Bereiche mit Beleuchtung in x -Richtung (S^x) mit zueinander orthogonal in z - bzw. y -Richtung polarisiertem Licht aufnehmen zu können. Die so erhaltenen, in den Abb. 2 und 3 gezeigten polarisationsabhängigen Spektren enthalten somit die vollständige Information über die Oberflächenplasmonen-Banden der Nanopartikel, die mit Hilfe der Mie-Theorie den eindeutigen

ⁱ M. Kaempfe, T. Rainer, K.-J. Berg, G. Seifert, and H. Graener, Appl. Phys. Lett. **74**, 1200 (1999).

ⁱⁱ M. Kaempfe, G. Seifert, K.-J. Berg, H. Hofmeister, and H. Graener, Eur. Phys. J. D **16**, 237 (2001).

Rückschluss auf die dreidimensionale Gestalt der per Laserbestrahlung erzeugten Ellipsoiden ermöglicht.

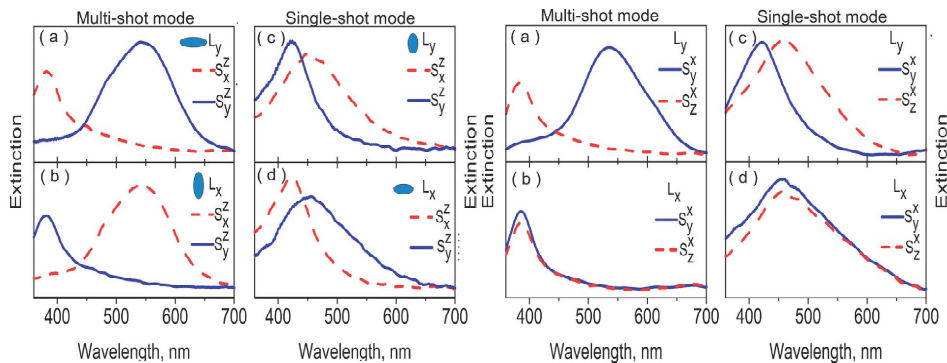


Abb. 2

Polarisierte Extinktionsspektren S^z
 Aus der Lage der Banden zueinander kann auf die Form, die im Inset gezeigt ist, geschlossen werden

Abb. 3

Polarisierte Extinktionsspektren S^x

Aus einer sorgfältigen Analyse der Spektren konnte zunächst in allen Fällen geschlossen werden, dass die Laserbestrahlung Rotationsellipsoiden erzeugt, deren Symmetrieachse durch die Polarisationsrichtung der Laserimpulse gegeben ist. Die spektrale Lage der Plasmonen-Banden zeigte darüber hinaus, dass die single-shot Bestrahlung bei hohen Intensitäten zu oblaten (diskusförmigen) Teilchen führt, während multi-shot Bestrahlung bei niedrigeren Intensitäten prolata (zigarrenähnliche) Formen erzeugt.

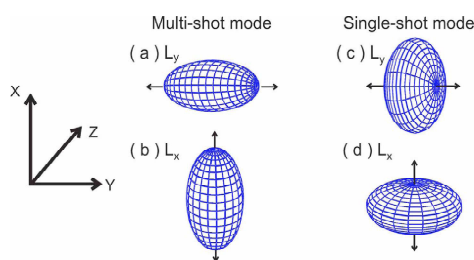


Abb. 4

Dreidimensionale Darstellung der Form der Nanoteilchen, wie man es aus den Extinktionsspektren schließen kann

Aus den detaillierten Untersuchungen der Intensitätsabhängigkeit des Effektes (Ref. 10) folgt weiterhin, dass für den Übergang von prolater zu oblater Teilchenform eine gut definierte, weitgehend von der Zahl der eingestrahnten Impulse unabhängige Intensitätsschwelle von $2 \text{ TW}\cdot\text{cm}^{-2}$ gibt. Bei Intensitäten deutlich oberhalb dieser Schwelle wurde schon bei Einzelschüssen eine Zerstörung der Nanoteilchen beobachtet, die bei Erhöhung der Anzahl von

Laserimpulsen auf einer Stelle auch schon bei zunehmend niedrigeren Intensitäten auftritt.

Kürzlich wurden analoge Untersuchungen zur Form der Nanoteilchen nach Bestrahlung mit Laserimpulsen mit zirkularer Polarisation durchgeführt. Hier war bekannt, dass Spektren S^z isotrop sindⁱⁱⁱ. Die Spektren S^x zeigen aber einen deutlichen Dichroismus, aus dem geschlossen werden kann, dass die Nanoteilchen Disken (oder zumindest Teilchen mit einem um die Äquatorialebene zentrierten Hof kleinerer Teilchen) sind; dabei ist die Symmetrieachse jetzt durch den k-Vektor der eingestrahlten Impulse gegeben.

Um die zugrunde liegenden Prozesse mit Hilfe deren Dynamik besser zu verstehen, wurde ein neuartiges Zwei-Impuls Experiment aufgebaut, wie es in Abb. 5 skizziert ist.

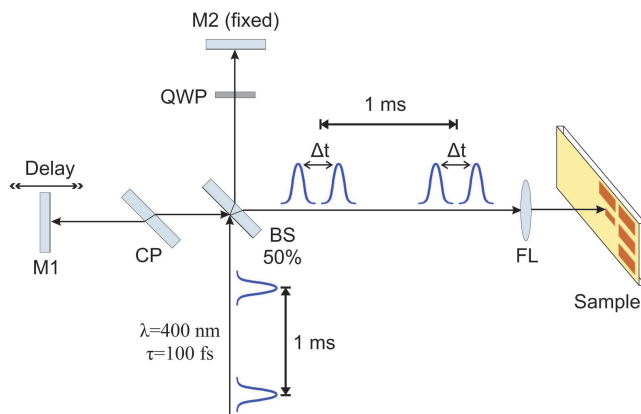


Abb. 5

Schematischer Aufbau des zwei-Impuls Experimentes; BS Strahlteiler; M1,M2 Spiegel; CP kompensator; FL Linse; QWP $\lambda/4$ Platte (bei Bedarf)

In diesem Aufbau wurden jeweils Felder mit ähnlichen Parametern wie oben beschrieben bestrahlt, jedoch wurde die Energie eines Impulses auf ein Impulspaar mit einstellbarer Verzögerungszeit Δt zwischen den beiden Impulsen verteilt. Anschließend wurden die dauerhaft geänderten Extinktionsspektren polarisationsabhängig vermessen und als Funktion von Δt ausgewertet. Abb. 6 zeigt einige Beispiele, bei denen die beiden Impulse die gleiche Polarisationsrichtung hatten (Polarisation des Messlichtes parallel zu der des Lasers). Man erkennt deutlich dass die Lage der rot-verschobenen Absorptionsbande stark von der Verzögerungszeit Δt abhängt.

ⁱⁱⁱ M. Kaempfe, G. Seifert, K.-J. Berg, H. Hofmeister, H. Graener, Eur. Phys. J. D, 16, 327 (2001)

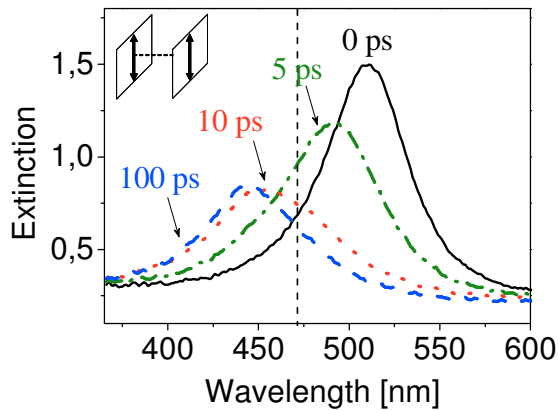


Abb. 6

Extinktionsspektren nach Bestrahlung mit Impulspaaren, die unterschiedlich gegeneinander verzögert waren (nur die parallel polarisierten Spektren sind gezeigt)

Für die Analyse der diversen Serien von Spektren wurden die spektralen Momente der entstandenen Banden berechnet und gegen die Verzögerungszeit aufgetragen. Speziell das erste Moment (Position der Bandenmaximums) und die Bandenintegrale (nulltes Moment) lieferten hochinteressante zeitliche Entwicklungen. Wie Abb. 7 zeigt, geschieht ein für großen Dichroismus entscheidender Prozess innerhalb der ersten 5-10 Pikosekunden. Von besonderem Interesse ist dabei die Beobachtung, dass bei Bestrahlung mit Impulspaaren, die orthogonal polarisiert sind, der zweite Impuls die Vorzugrichtung bestimmt (Abb. 7b).

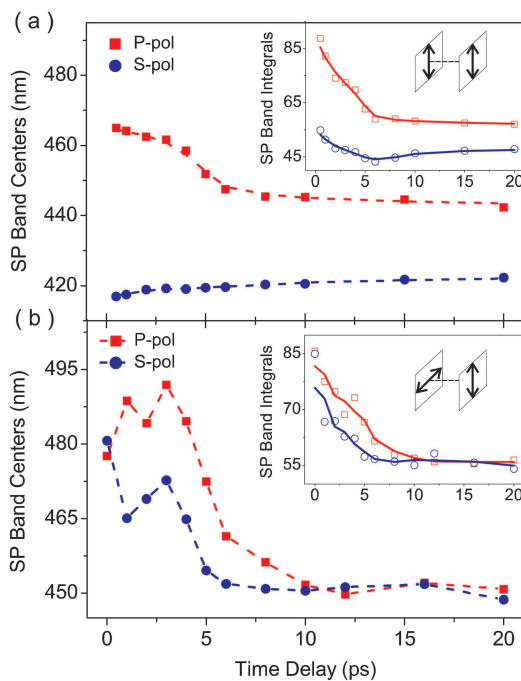


Abb. 7

- a) Position der Bandenmaxima (und Bandenintegrale als Inset) bei Bestrahlung mit parallel polarisierten Impulspaaren als Funktion der Verzögerung
- b) dto. bei senkrecht zueinander polarisierten Impulspaaren

Diese Beobachtungen konnten schlüssig mit Hilfe eines erweiterten Zwei-Temperatur- Modells erklärt werden: schon der erste Impuls erhöht die Elektronentemperatur noch innerhalb der Impulsdauer von 100fs auf bis zu $\approx 10^4$

K. Die Elektron–Phonon Kopplung verteilt nun die Energie auch auf die Gitterfreiheitsgrade des Nanoteilchens und kühlt so das Elektronensystem mit einer Zeitkonstante von wenigen Pikosekunden. Durch deren transient sehr hohe Elektronentemperatur hat ein relativ großer Teil der Elektronen genügend Energie, um in das Leitungsband des umgebenden Glases zu gelangen. Bei diesem Prozess können zeitlich zwei Bereiche unterschieden werden: während des Impulses treibt das elektrische Wechselfeld (verstärkt durch Nahfeldeffekte) Elektronen während einer Periode mehrere Nanometer weit in das Glas – dies geschieht ausschließlich in Polarisationsrichtung des Feldes. Die Elektronen können dann in Potentialmulden des Glases gefangen werden und erzeugen so eine anisotrope Ladungsverteilung. Nach dem Impuls ist nur noch eine thermische und damit isotrope Emission von Elektronen möglich, die in der Folge auch eine isotrope Emission von Ag-Ionen aus dem ionisierten Nanopartikel nach sich zieht. Diese Ionen werden gemäß der anisotropen Verteilung von Elektronen im Glas bevorzugt an den Polen der Partikel (d.h. entlang der Polarisationsrichtung des Lasers) neutralisiert, und diffundieren schließlich in der aufgeheizten Umgebung des Partikels schnell zum Zentralteilchen zurück und lagern sich dort wieder an, so dass dieses eine prolata Form erhält. Trifft nun kurz nach dem ersten Impuls ein zweiter das Teilchen, so erhöht dieser die Elektronentemperatur zusätzlich, d.h. das elektrische Feld des zweiten Impulses findet mehr Elektronen mit Energien oberhalb der Leitungsbandkante des Glases vor. Das ist dann die Ursache dafür, dass dieser zweite Impuls die anisotrope Vorzugsrichtung (im Falle von orthogonal polarisierten Impulsen) bestimmt. Die Zeitskalen auf denen man die Änderungen in Abb. 7 beobachtet, sind durch die Elektron – Phonon Kopplung gegeben.

Abschließend kann zum Teilprojekt B8 festgestellt werden, dass mit den Ergebnissen dieser letzten Antragsperiode ein sehr weit reichendes Verständnis der physikalischen Prozesse bei der laserinduzierten Nanopartikel-Verformung in Glas erzielt werden konnte. Auch wenn verschiedene Details noch einer Klärung bzw. eines Beweises bedürfen, liegt nun doch ein so weit schlüssiges und selbstkonsistentes Bild für die ablaufenden Mechanismen und deren Dynamik vor, dass eine gezielte Prozessoptimierung im Hinblick auf den technologischen Einsatz dieses Verfahrens bzw. der damit herstellbaren optischen Elemente möglich ist.

Erste Schritte in Richtung auf technische Anwendungen hin waren der Fokus des Transferprojektes T3. Eine besonders reizvolle Möglichkeit für den Einsatz der laserinduzierten Doppelbrechung liegt im Bereich mikrostrukturierter Polarisations-elemente, die mit anderen Verfahren bisher nicht oder nur mit wirtschaftlich nicht vertretbarem Aufwand hergestellt werden können. Eine Idee, die dabei in Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern verfolgt wurde, ist der Bau einer polarisierenden Maske für eine CCD-Kamera. In diesem Zusammenhang sind zwei Fragen bearbeitet worden: (1) Bei welchen Wellenlängen lässt sich ein für Anwendungen hinreichender Polarisationskontrast erzielen? (2) Lassen sich mit dem Verfahren hinreichend kleine Strukturgrößen erzielen, um z.B. einen wohl definierten Polarisator für jeden einzelnen Pixel einer CCD-Kamera per Laserbestrahlung "schreiben" zu können?

Zur ersten Frage: Abb. 8 zeigt Extinktionsspektren (Beobachtungspolarisation parallel zur Bestrahlungspolarisation; p-Banden), bei denen im Wesentlichen nur die Bestrahlungswellenlänge variiert wurde. Man erkennt deutlich, dass die (Rot-)Verschiebung der Extinktionsbande mit zunehmender Laser-Wellenlänge immer größer wird, wobei die maximale Extinktion jedoch abnimmt. Bei weiterer Vergrößerung der Bestrahlungswellenlänge auf z.B. 800 nm kann gar keine Veränderung der Probe mehr beobachtet werden.

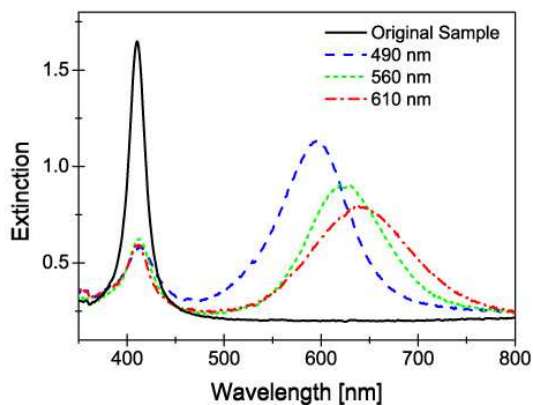


Abb. 8

Extinktionsspektren nach Bestrahlung mit Laserimpulsen verschiedener Wellenlänge

Es konnte jedoch gezeigt werden, dass die für einige Anwendungen notwendige Verschiebung der Extinktion in den nahen IR-Bereich erreichbar ist, wenn die Proben mehrfach mit aufeinander folgend zunehmenden Laserwellenlängen bestrahlt werden. Abb. 9 zeigt ein Beispiel hierfür: Im ersten Schritt wurde durch Bestrahlung mit $\lambda = 535$ nm die p-Bande nach ca. 550 nm verschoben; eine zweite Bestrahlung mit Impulsen bei $\lambda = 670$ nm (die die Ausgangsprobe nicht verändern würden) verschiebt die Bande weiter nach 750 nm. Die im Inset von Abb. 9 gezeigte Elektronenmikroskopaufnahme eines zweimal bestrahlten

Teilchens beweist ein Aspektverhältnis von größer als 3, wie man es nach den Spektren auch erwarten würde.

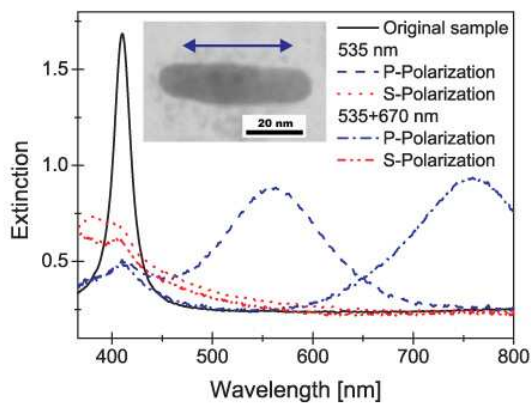


Abb. 9

Extinktionsspektren nach aufeinander folgender Bestrahlung mit Laserimpulsen zunehmender Wellenlänge

Inset: TEM-Aufnahme eines durch zweimalige Bestrahlung stark verformten Ag-Nanopartikels

Der erreichte Polarisationskontrast von 10:1 ist für erste Anwendungen ausreichend; eine Steigerung auf bis zu 100:1 konnte schon prinzipiell gezeigt werden. Dazu müssen Gelbläser mit einer höheren Nanoteilchen-Konzentration bestrahlt werden.

Abb. 10 zeigt einen ersten Versuch einer Polarisationsmaske für eine CCD-Kamera. Hierzu wurde ein Feld von insgesamt 100×100 Punkten mit einer Einzelpunktgröße von $10 \mu\text{m}$ so bestrahlt, dass insgesamt 4 quadratische, um jeweils $10 \mu\text{m}$ horizontal bzw. vertikal gegeneinander versetzte Raster von 50×50 Punkten (Mittenabstand $20 \mu\text{m}$) mit unterschiedlichen Polarisationsrichtungen (0° , 45° , 90° und 135°) entstanden. Betrachtet man dieses Array jetzt mit unterschiedlichen Polarisationsrichtungen, so ergeben sich die in Abb. 10 gezeigten Strukturen, die exakt den Erwartungen entsprechen. Eine Erprobung dieser Maske ist bei den Industriepartnern in Vorbereitung.

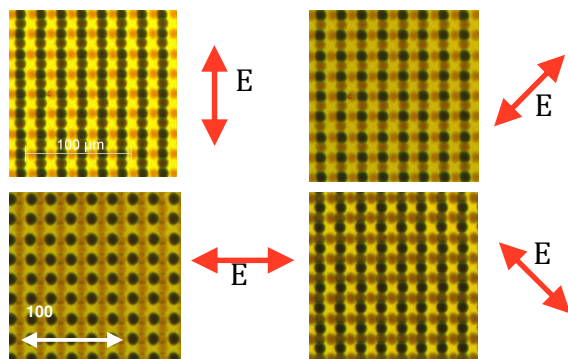


Abb. 10

Mikroskopaufnahme einer regelmäßigen Polarisationsmaske mit 4 verschiedenen Polarisationsrichtungen

Ein weiterer möglicher Anwendungsaspekt ist die Ausnutzung der nichtlinearen optischen Eigenschaften nanopartikel-dotierter Gläser. Abb. 11 zeigt ein erstes Ergebnis eines z-Scan-Experimentes, das für diesen Zweck aufgebaut wurde;

zunächst wurde bei offener Blende der Imaginärteil von $\chi^{(3)}$ untersucht. Die beiden Messkurven wurden mit Femtosekunden-Laserimpulsen bei einer Wellenlänge von 800nm an einer ca. 1mm dicken Glasscheibe aufgenommen, die auf einer Seite in einer ca. 5 μ m dicken Schicht direkt unter der Oberfläche Silbernanopartikel enthält. Interessanterweise hängt das Ergebnis der nichtlinearen Transmissionsmessung für diese spezielle Art von Proben von der Richtung ab, aus der die Laserimpulse auf die Probe eingestrahlt werden: kommen die Pulse von der Seite, in der die Nanopartikel eingelagert sind, ist die beobachtete maximale Transmissionsänderung deutlich kleiner als im Falle einer Bestrahlung von der Rückseite (pures Glas) aus. Dieser Effekt ist umso stärker ausgeprägt, je höher die Konzentration der Nanopartikel in der oberflächennahen Schicht ist.

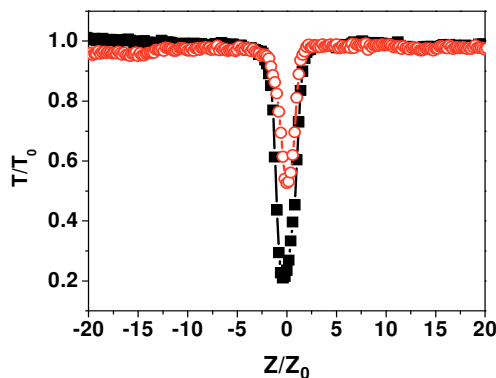


Abb. 11

Relative Transmissionsänderung aus einem z-Scan-Experiment an Glas mit Metallnanopartikeln in einer dünnen Oberflächenschicht; rote Kreise: Bestrahlung von der Partikelseite aus; schwarze Quadrate: Bestrahlung von der Glasseite aus.

Um diese Beobachtung zu erklären, ist es hilfreich, die für die Ausbreitung des Lichtes durch die Probe in dem experimentellen Aufbau gültige Differenzialgleichung numerisch zu lösen. Das Ergebnis einer solchen Rechnung mit ähnlichen Parametern wie in dem in Abb.11 gezeigten Fall ist in Abb.12 dargestellt: strahlt man von der Partikelseite aus ein (gestrichelte Linie), fällt die Intensität zunächst stark durch die Zweiphotonen-Absorption an der Plasmonenresonanz der Partikel ab. Auf dem Weg durch das pure Glas sind mindestens drei Photonen nötig, um eine nichtlineare Absorption zu erzeugen; nach der Gesamtdicke von 1mm hat die Intensität des Lasers gegenüber der nach 5 μ m schon stark geschwächten Intensität nur noch wenig abgenommen. Kommt dagegen das Licht aus der anderen Richtung, wirkt auf der gesamte Glasdicke von 1mm eine höhere Intensität mit entsprechend höherer Drei-Photonen-Absorption. Die anschließende 2-Photonen-Absorption in der Partikelschicht ist aber eine Nichtlinearität 2. Ordnung, die auch bei der gesunkenen Intensität noch stark wirksam ist und am Ende zu einer niedrigeren Ausgangsintensität führt als es aus der anderen Richtung der Fall war.

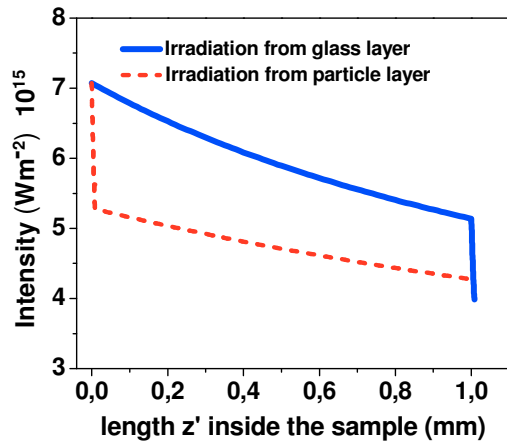


Abb. 12

Numerische Berechnung zur Transmission einer Glasprobe mit einer dünnen Schicht unter einer Oberfläche, die metallische Nanopartikel mit einer 2-Photonenresonanz enthält, während das Glas nur eine nichtlineare Absorption via 3-Photonen-Resonanz ermöglicht.

Dieser in der Literatur so bislang noch nicht diskutierte Effekt bietet den Ansatzpunkt, eine optische Diode zu bauen, die das intensive Licht ultrakurzer Impulse in einer Einstrahlrichtung weitgehend unterdrückt, in der gegenläufigen Richtung jedoch ohne wesentliche Schwächung durchlässt. Das damit aufgestoßene Tor zu technologischen Anwendungen konnte im SFB nicht mehr im Detail verfolgt werden, soll jedoch ein Schwerpunkt der Forschungsarbeiten in Fachgruppe Optik bleiben.

Liste der aus dem Teilprojekt seit der letzten Antragstellung entstandenen Publikationen

a) Begutachtete Veröffentlichungen

1. "Evolution of poling-assisted bleaching of metal-doped nanocomposite glass with poling conditions ", O. Deparis; P.G. Kazansky, A. Podlipensky, A. Abdolvand, G. Seifert, H. Graener, *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 261109 (2005)
2. "Electric field-assisted formation of percolated silver nanolayers inside glass ", A. Abdolvand, A. Podlipensky, G. Seifert, O. Deparis, P.G. Kazansky, H. Graener, *Opt. Exp.* **13**, 1266 (2005)
3. "Metallodielectric 2D photonic structures made by electric field microstructuring of nanocomposite glasses", A. Abdolvand, A. Podlipensky, S. Mathias, F. Syrowatka, U. Gösele, G. Seifert, H. Graener, *Adv. Mat.*, **17**, 2983 (2005)
4. "Modelling of optical properties of silver-doped nanocomposite glasses modified by electric field-assisted dissolution of nanoparticles". J. Sancho-Parramon, A. Abdolvand, A. Podlipensky, F. Syrowatka, G. Seifert, H. Graener, *Appl. Opt.*, **45** (2006) 8874
5. "Surface-enhanced Raman spectroscopy employing monodisperse nickel nanowire arrays", G. Sauer, G. Brehm, S. Schneider, H. Graener, G. Seifert, K. Nielsch, J. Choi, P. Göhring, U. Gösele, P. Miclea, R.B. Wehrshon, *Appl. Phys. Lett.*, **88**, 023106 (2006)
6. "Silver-doped nanocomposite glass as a base material for fine metallodielectric microstructuring", A. Abdolvand, A. Podlipensky, S. Mathias, F. Syrowatka, G. Seifert, H. Graener, *Proceedings of SPIE Vol. 6195, "Nanophotonics"*, Eds.: D.L. Andrews, J.-M. Nunzi, A. Ostendorf (2006)
7. "Poling-assisted bleaching of soda-lime float glasses containing silver nanoparticles with a decreasing filling factor across the depth", O. Deparis; P.G. Kazansky, A. Podlipensky, A. Abdolvand, G. Seifert, H. Graener, *J. Appl. Phys.*, **100**, 044318 (2006)
8. "Optical Properties of Photonic/Plasmonic Structures in nanocomposite Glass", H. Graener, A. Abdolvand, S. Wackerow, O. Kiriyyenko and W. Hergert, *phys. stat.sol. (a)*, **204**, 3838 (2007)
9. "Optical 3D Shape Analysis of Metallic Nanoparticles after Laser Induced Deformation", A. Stalmashonak, G. Seifert and H. Graener, *Opt. Lett.*, **32**, 3215 (2007)
10. "Intensity-driven, femtosecond laser induced transformation of Ag nanospheres to anisotropic shape", A. Stalmashonak, A. Podlipensky, G. Seifert, H. Graener, *Appl. Phys. B*, published online (2008) DOI 10.1007/s00340-008-3309-7
11. "On the use of localized Plasmon polaritons in solar cells", Florian Hallermann, Carsten Rockstuhl, Stephan Fahr, Gerhard Seifert, Stefan Wackerow, Heinrich Graener, Gero v. Plessen, Falk Lederer, *phys. stat. sol.*, **205**, 2844 (2008)

b) *Eingereichte Veröffentlichungen (mit Datum der Einreichung)*

12. "Ultrafast dynamics of silver nanoparticle shape transformation studied by femtosecond pulse-pair irradiation", A. Akin Unal, A. Stalmashonak, G. Seifert, H. Graener, submitted Nov. 2008
13. "Optimization of laser-induced dichroism in composite glass with silver nanoparticles", A. Stalmashonak, G. Seifert, H. Graener, submitted Jan. 2009

c) *Nicht begutachtete Veröffentlichungen*

14. "Effective medium models for metal-dielectric composites: an analysis based on the spectral density theory" Jordi Sancho-Parramon, Salvador Bosch, Amin Abdolvand, Alexander Podlipensky, Gerhard Seifert, and Heinrich Graener. Proceedings of SPIE Vol. 5963, p, 556-566 "Advances in Optical Thin Films II"; Eds.: Claude Amra, Norbert Kaiser, H. Angus MacLeod (2005)
15. "Production of dichroitic 3D structures by fs laser irradiation in composite glass containing Ag nanoparticles", G. Seifert, A. Podlipensky, A. Abdolvand, H. Graener, Proceedings of SPIE 2006, Vol. 6106, "Photon Processing in Microelectronics and Photonics V", Eds.: T. Okada, C.B. Arnold, M. Meunier, A.S. Holmes, D.B. Geohegan, F. Träger, J.J. Dubowski (2006)
16. "Ultrafast Deformation Dynamics of Silver Nanoparticles in Glass Induced by Femtosecond Laser Pulses", G. Seifert, A. Podlipensky, J. Lange, H. Hofmeister, H. Graener, Proceedings of SPIE 2006, Vol. 6118, "Ultrafast Phenomena in Semiconductors and Nanostructure Materials X", Eds.: K.-T. Tsen, J.-J. Song, H. Jiang (2006)
17. "Silver-doped nanocomposite glass as a base material for fine metallodielectric microstructuring", A. Abdolvand, A. Podlipensky, S. Matthias, F. Syrowatka, G. Seifert, H. Graener, Proceedings of SPIE, Volume: 6195 Pages: V1950-V1950 (2006)
18. "Femtosecond shape transformation dynamics of silver nanoparticles in glass ", A. Akin Unal, A. Stalmashonak, G. Seifert, H. Graener, Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering, Volume 7032, 703225 (2008)
19. "Optimization of dichroism in laser-induced transformation of silver nanoparticles in glass", A. Stalmashonak, A. Akin Unal, G. Seifert, H. Graener, Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering, Volume 7033, 70331Z (2008)

5.3. Bewilligte Mittel für die laufende Förderperiode

Das Teilprojekt B8 wurde im Sonderforschungsbereich von 07/1998 - 12/2008 gefördert.

Haushalts-jahr	Personalmittel	Sachmittel	Investitionsmittel	Gesamt
2006	41.400 €	3.000 €	10.000 €	54.400 €
2007	41.400 €	3.000 €	5.000 €	49.400 €
2008	41.400 €	3.000 €	-	44.400 €
Summe	124.200 €	9.000 €	15.000 €	148.200 €

Das Teilprojekt T3 wurde im Sonderforschungsbereich von 01/2007 - 12/2008 gefördert.

Haushalts-jahr	Personalmittel	Sachmittel	Investitionsmittel	Gesamt
2007	85.800	6.000	36.000	127.800
2008	85.800	6.000	--	91.800
Summe	171.600	12.000	36.000	219.600

5.3.1. Personal im Teilprojekt B8

	Name, akad. Grad, Dienststellung	engeres Fach des Mitarbeiters	Institut der Hochschule oder der außer-univ. Einrichtung	im SFB tätig von (Monat/ Jahr) bis (Monat/ Jahr)	Entgeltgruppe
Grundausstattung					
wissenschaftl. Mitarbeiter (einschl. Hilfskräfte)	Graener, Heinrich, Prof. Dr.; Univ.-Prof. Lange, Jens, Dr.; wiss. Mitarbeiter	Exp. Physik Exp. Physik	FG Optik FG Optik	10/1996 – 12/2008 01/2003 – 12/2008	
nichtwissenschaftl. Mitarbeiter	Otten, Ingrid Laborantin		FG Optik	10/1996 – 12/2008	
Ergänzungsausstattung					
wissenschaftl. Mitarbeiter (einschl. Hilfskräfte)	Ünal, A. Akin Warth, Achim	Exp. Physik Exp. Physik	FG Optik FG Optik	2005 – 2008 2005 – 2008	
nichtwissenschaftl. Mitarbeiter					

Personal im Teilprojekt T03

	Name, akad. Grad, Dienststellung	engeres Fach des Mitarbeiters	Institut der Hochschule oder der außer-univ. Einrichtung	im SFB tätig von (Monat/ Jahr) bis (Monat/ Jahr)	Entgeltgruppe
Grundausrüstung					
wissenschaftl. Mitarbeiter (einschl. Hilfskräfte)	Graener, Heinrich, Prof. Dr.; Univ.-Prof.	Exp. Physik	FG Optik	01/2007 – 12/2008	
	Dr. G. Seifert, PD, Oberass.	Exp. Physik	FG Optik	01/2007 – 12/2008	
	Lange, Jens, Dr.; wiss. Mitarbeiter	Exp. Physik	FG Optik	01/2007 – 12/2008	
nichtwissenschaftl. Mitarbeiter	Otten, Ingrid Laborantin		FG Optik	01/2007 – 12/2008	
Kooperationspartner					
3.7.1.3 wissenschaftl. Mitarbeiter ¹⁾ (einschl. Hilfskräfte)	1. A. Volke 2. Dr. G. Heine 3. Dr. Thomas Rainer 4. Dr. Frank Redmann	Technologie der Gelb- und Blauglas- herstellung		CODIXX AG CODIXX AG Boraglas Boraglas	
3.7.1.4 nichtwissenschaftl. Mitarbeiter ¹⁾	1. Hr. Müller 2. Frau Heimrich	Techn. Mitarbeiter		CODIXX AG Boraglas	

Ergänzungsausstattung					
wissenschaftl. Mitarbeiter (einschl. Hilfskräfte)	Stalmashonak, Andrei	Exp. Physik	FG Optik	08/2006 – 12/2008	
	Mohan, Sabitha	Exp. Physik	FG Optik	10/2007 – 12/2008	
	Lebek, S. (stud. HK)	Exp. Physik	FG Optik	09/2007 – 12/2007	
	Skrzypczak, U. (stud. HK)	Exp. Physik	FG Optik	01/2008 – 06/2008	
	Friedrich, J. (stud. HK)	Exp. Physik	FG Optik	05/2008 – 07/2008	
	Rositzka, C. (stud. HK)	Exp. Physik	FG Optik	09/2008 – 11/2008	
	Werth, A. (wiss. HK)	Exp. Physik	FG Optik	08/2008 – 10/2008	
	Mergner, M. (stud. HK)	Exp. Physik	FG Optik	08/2008 – 09/2008	
Stedel, F. (stud. HK)	Exp. Physik	FG Optik	08/2008 – 11/2008		
nichtwissenschaftl. Mitarbeiter	Seidel, Christine Technische Mitarbeiterin		FG Optik	01/2007 – 12/2008	