

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Forschung	4
2.1	Metallpartikel in Dielektrika: Grundlagen	4
2.1.1	Nicht wechselwirkende Partikel	4
2.1.2	Wechselwirkende Partikel	8
2.2	Plasmonenanregung und Relaxationsmechanismen	9
2.2.1	Relaxationsmechanismen	9
2.2.2	Permanente Veränderungen durch Laserbestrahlung	11
2.3	Spezielle spektroskopische Methoden	12
2.3.1	Ratengleichungen und Sättigungsphänomene	12
2.3.2	Lochbrennspektroskopie	13
3	Experimentelle Grundlagen und Probenpräparation	17
3.1	Die Lasersysteme	17
3.1.1	Das Titan–Saphir–System	17
3.1.2	Das Nd:YLF–System	21
3.2	Analysemethoden	21
3.2.1	Die Spektrometer	21
3.2.2	Elektronenmikroskopische Aufnahmen	22
3.3	Probenpräparation	23
3.3.1	Proben mit sphärischen Metallpartikeln	23
3.3.2	Proben mit nichtsphärischen Silberpartikeln	26
3.4	Experimentelle Aufbauten	28
3.4.1	Einzelimpulsuntersuchungen	28
3.4.2	Homogene Bestrahlung größerer Flächen	29
3.4.3	Zeitaufgelöste Experimente	30
4	Permanente Veränderungen	34
4.1	Experimentelle Ergebnisse	34
4.1.1	Bestrahlung mit einem Laserimpuls	34
4.1.2	Bestrahlung eines Punktes mit einer Serien von Impulsen	40
4.2	Analyse	43
4.2.1	Erste Folgerungen	43
4.2.2	Das Modell	44
4.2.3	Analyse der Einzelimpulsmessung	46
4.2.4	Einstrahlung einzelner Impulse verschiedener Wellenlänge	49

4.2.5	Mehrere Laserimpulse auf einer Stelle: Auswertung	51
4.3	Flächige Bestrahlung	56
4.3.1	Gleichmäßige Bestrahlung bei variierender Impulsenergie	56
4.3.2	Wirkung von elliptisch polarisierten Laserimpulsen	58
4.4	Temperatureffekte	60
4.4.1	Begünstigung von Teilchenbewegung	60
4.4.2	Thermische Behandlung bestrahlter Gläser	63
4.5	Andere Systeme	66
4.5.1	Bestrahlung mit anderen Wellenlängen	66
4.5.2	Mehrfache Bestrahlung mechanisch vorgeformter Proben	68
4.5.3	Goldpartikel in Glasmatrix (Goldrubin)	70
4.5.4	Silberpartikel in Solgel-Matrix	71
4.6	Folgerungen	72
4.7	Technische Anwendungsmöglichkeiten	73
5	Dynamische Untersuchungen	75
5.1	Zeitverhalten bei der Anregung mit einem Impuls	75
5.1.1	Plasmonenrelaxation	75
5.1.2	Anregung mit unterschiedlichen Wellenlängen	81
5.1.3	Langzeitverhalten	82
5.1.4	Analyse	83
5.2	Zeitverhalten bei Anregung mit Impulsfolgen	88
5.3	Zusammenfassung	89
6	Zusammenfassung und Ausblick	90
A	Überschreiten der Zerstörschwelle	i
A.1	Erste Untersuchungen an silberhaltigen Proben	i
A.2	Untersuchungen am silberfreien Glassubstrat	vi
A.3	Eingehendere Untersuchungen	vii
A.4	Zusammenfassung	ix
Dank		xi
Literaturverzeichnis		xiii

Abbildungsverzeichnis

1.1	Universitätswappen	1
1.2	Erzeugung von farbigen Flächen	3
2.1	Spektren von metallischen Nanopartikeln	5
2.2	Teilchengrößenabhängigkeit optischer Spektren	6
2.3	Einfluß der Matrix auf die Lage der Plasmonenresonanz	7
2.4	Spektrale Parameter bei verschiedenen Füllfaktoren	8
2.5	Schema der Plasmonenrelaxation	10
2.6	Niveauschema der Anregung	12
2.7	Schematische Darstellung von Lochbrennspektroskopie	14
2.8	Entwicklung von Lochfrequenz und -breite mit der Breite der Verteilungsfunktion	15
2.9	Einfluß der Sättigung auf die Lochbreite	16
3.1	Titan-Saphir-Anlage	18
3.2	Laserprofil	20
3.3	Spektrometerumbau	22
3.4	Polydisperse Probe: Elektronenmikroskopische Aufnahmen	24
3.5	Monodisperse Probe: Elektronenmikroskopische Aufnahmen	25
3.6	Spektren der Ausgangsproben mit sphärischen Partikeln	26
3.7	Spektren mechanisch verformter Proben	27
3.8	Versuchsaufbau Einzelimpuls	28
3.9	Versuchsanordnung bei der Bestrahlung größerer Flächen	30
3.10	Aufbau der Dynamikexperimente	31
3.11	Langzeitexperiment	33
4.1	Spektren nach Bestrahlung mit einem einzelnen Laserimpuls	35
4.2	Polarisations- und intensitätsabhängig gemessene Spektren	36
4.3	Teilchenverformung in 2 μm Probentiefe	37
4.4	Teilchenverformung in 5 und 15 μm Probentiefe	38
4.5	Elektronenmikroskopische Aufnahme der monodispersen Probe	39
4.6	Verschieden verformte Partikel	40
4.7	Impulszahlabhängige Spektren bei hoher Energie	41
4.8	Impulszahlabhängige Differenzspektren bei niedriger Energie	42
4.9	Darstellung der Anpaßroutine	45
4.10	Anpaßparameter der Einzelimpulsmessung	46
4.11	Entwicklung des isotropen Loches	47
4.12	Analyse nach Laserbestrahlung mit verschiedenen Wellenlängen	50

4.13	Intensitätsabhängige Analyse nach Einstrahlung von 100 Impulsen	53
4.14	100 eingestrahelte Impulse: Parameter der Analyse	54
4.15	Impulsenergievariation bei homogenen Flächen	57
4.16	Einstrahlung elliptisch polarisierter Impulse	59
4.17	Elektronenmikroskopie nach Bestrahlung mit zirkularer Polarisation	60
4.18	Abbildungen einer Glasprobe nach Einstrahlung vieler Impulse	61
4.19	Bestrahlung einer ausgeheizten Probe	64
4.20	Spektrale Auswirkungen der Temperung	65
4.21	Farbeffekte erzeugt durch Bestrahlung mit einem Nd:YLF-Laser	67
4.22	Mehrfache Bestrahlung einer mechanisch gezogenen Probe	69
4.23	Goldrubin	71
4.24	Silberpartikel in einer Sol-Gel-Schicht	72
5.1	Probe für zeitaufgelöste Messungen	76
5.2	Dynamik, intensitätsabhängig	77
5.3	Ultrakurzzeitverhalten der Deformation	79
5.4	Anstieg des Ausbleichens: Anpaßparameter	80
5.5	Zeitverhalten bei unterschiedlichen Wellenlängen	81
5.6	Zeitverhalten über mehrere Nanosekunden	83
5.7	Erklärungsmodell zur Partikelverformung	87
5.8	Dynamik bei Einstrahlung mehrerer Impulse	88
A.1	Abbildungen nach Bestrahlung mit zu hoher Intensität	ii
A.2	Übersicht über Zerstörung der Glasoberfläche	iii
A.3	Feinstruktur der Lochböden	v
A.4	Schäden im Glassubstrat	vii
A.5	AFM-Aufnahmen der Kraterstrukturen	viii
A.6	Detailanalyse mit dem AFM	ix