

Kapitel 1

Einleitung

Nach dem experimentellen Nachweis der Lichtverstärkung durch induzierte Emission im Jahre 1960 durch Maiman [Mai60] erfuhren sowohl die Lasertechnik als auch deren Anwendungen eine rasante Entwicklung. Dabei entstanden verschiedenste Lasertypen, die entsprechend ihrer spezifischen Strahlungseigenschaften inzwischen in vielen Bereichen von Wissenschaft und Technik eingesetzt werden.

In der vorliegenden Arbeit wird das spezielle Augenmerk auf Ultrakurzpuls-(UKP)-Lasersysteme gelegt. Die Möglichkeit der Erzeugung von Laserpulsen mit einer Dauer von wenigen Femtosekunden ist dabei besonders für die zeitaufgelöste Untersuchung schnell ablaufender Prozesse von Vorteil [Zew88, Die96].

Femtosekunden-Lasersysteme haben besonders innerhalb der vergangenen zwei Jahrzehnte eine enorme Verbesserung erfahren. Unter Nutzung der 1985 vorgestellten Möglichkeit der Verstärkung ultrakurzer Laserpulse durch die sogenannte „chirped pulse amplification“¹ (CPA) [Str85] lassen sich Spitzenleistungen von mehreren Terawatt im Labormaßstab erzeugen. Dadurch kann der experimentelle Aufwand für die Untersuchung von Vorgängen, die nur bei entsprechend hohen Intensitäten ablaufen, drastisch reduziert werden. Dies ist für nichtlinear-optische Effekte oder für die kontrollierte Erzeugung von Plasmen anwendbar [Sch04].

Die Entwicklung des Ti:Saphir-Lasers und des Prinzips der Modenkopplung durch Selbstfokussierung im aktiven Medium ermöglichte den Übergang vom Farbstoff- zum Festkörpersystem [Spe91]. Aus den einstmals komplizierten und wartungsintensiven Laboraufbauten konnten kompakte, langzeitstabile und kosteneffiziente Strahlquellen entwickelt werden. Dieser Fortschritt macht die UKP-Lasertechnik inzwischen auch für Anwendungen in der industriellen Mikrostrukturierung [Nol97, Bei99, Hai99] und der Medizin [Kön01, Hei02] interessant. Die Vorteile gegenüber der Nutzung von Nanosekunden- oder Dauerstrich-Lasern liegen in den geringen Wechselwirkungszonen mit dem zu bearbeitenden Material [Ihl92, Kor99] sowie dem sehr deterministischen Zerstörverhalten [Len99b]. Unter Nutzung der nichtlinearen optischen Absorption kann besonders in Dielektrika ein örtlich sehr stark begrenzter Bereich bearbeitet werden. Dabei sind Strukturierungen innerhalb der Proben in allen Raumrichtungen möglich [Dav96, Hom96]. Darüber hinaus ist für entsprechend kurze Laserpulse bei der Materialbearbeitung keine Wechselwirkung der Laserstrahlung mit dem ablatierten Material zu beobachten, das die Oberfläche mit

¹Verstärkung dispersionsgestreckter Laserpulse

Geschwindigkeiten von einigen $\mu\text{m}/\text{ns}$ verläßt. Damit kann eine Abschattung der Probe gegenüber der Rückflanke des Pulses (shielding) vermieden werden [Bäu00].

Für die kommerzielle Nutzung von Femtosekunden-Lasern stellt sich verstärkt die Frage nach entsprechenden Anforderungen für die Sicherheit der bedienenden Personen sowie — im Hinblick auf medizinische Anwendungen — auch der Patienten. Zur Klärung dieses Sachverhaltes wurden in zwei aktuellen Forschungsprojekten Laserschutzeinrichtungen für UKP-Lasersysteme untersucht [Wer03,Dau04]. Dabei stellten sich absorbierende Glasfilter als sinnvolle Materialien für den Augenschutz heraus. Deren sicherheitstechnische Tauglichkeit hinsichtlich nichtlinearer optischer Effekte, wie etwa der Absorptionssättigung, wurde in [Len04] ausgiebig dargelegt.

Im Rahmen dieser Arbeit soll anhand von Untersuchungen zur Strahlungsfestigkeit dielektrischer Materialien für Laserpulse von 30 – 500 fs Dauer geklärt werden, welche physikalischen Vorgänge an der Zerstörung von linear absorbierenden Filtergläsern beteiligt sind. Dabei wird ein zum Augenschutz tauglicher, mit Metallionen dotierter Phosphatglasfilter einem vergleichbaren undotierten Basismaterial gegenübergestellt. Als Referenz dient ein in der Literatur bereits hinreichend bekanntes transparentes Silikatglas mit ähnlicher Bandlückenenergie, aber im Vergleich zu den beiden Phosphatgläsern unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung und höherer Schmelztemperatur. Die vorgestellten Messungen umfassen die laserinduzierten Veränderungen durch die Bestrahlung mit Energiedichten unterhalb und oberhalb der Zerstörschwelle. Bei der Anwendung von einzelnen Laserpulsen sowie von Pulszügen mit einer Folgefrequenz von 1 kHz wird der jeweilige Einfluß der Inkubation untersucht.

Für 30-fs-Laserpulse werden an den Glasproben die Abhängigkeiten des Ablationsverhaltens von der Strahlgröße und von der Repetitionsrate ermittelt. Darüber hinaus werden Modifikationen bei Fluenzen unterhalb der Ablationsschwelle, wie die Bildung von Farbzentren, berücksichtigt. In einer Langzeitstudie wird zudem deren Rekombinationsdynamik erforscht.

Anhand von Dünnschichtkomponenten bestehend aus verschiedenen dielektrischen Materialien wird der Einfluß der Bandlücken-Energie auf die laserinduzierte Ablation untersucht.