Kapitel 1

Einleitung

Diodengepumpte Festkörperlaser sind aufgrund ihrer vielfachen Anwendungsmöglichkeiten von großer technologischer Bedeutung. Neue Lasermaterialien sowie Diodenlaser mit hoher räumlicher und spektraler Leistungsdichte sind Gegenstand aktueller Forschung und Entwicklung im Bereich hocheffizienter Festkörperlaser.
Der entscheidende Vorteil von diodengepumpten Festkörperlasern gegenüber lampengepumpten Systemen ist der hohe Gesamtwirkungsgrad. Dies hat eine vergleichsweise geringe thermische Belastung und damit eine gute Strahlqualität auch bei hohen Pump- bzw. Laserleistungen zur Folge. Das Vordringen in höhere Leistungsklassen bei guter Strahlqualität ist wichtig für die Anwendung diodengepumpter Festkörperlaser z. B. zum Schweißen, Schneiden, Beschriften etc. in der Materialbearbeitung. Ein weiterer Vorteil ist, dass aufgrund der geringen Kühlanforderungen eine Miniaturisierung und damit die Herstellung kompakter Lasersysteme für medizinische oder messtechnische Anwendungen möglich ist.
Die Erzeugung ultrakurzer Lichtimpulse im Piko- und Sub-Pikosekunden-Bereich eröffnet weitere Anwendungmöglichkeiten, z. B. für die Untersuchung extrem schneller Prozesse in Biologie, Physik und Chemie [Zew88].
Aufgrund der hohen Spitzenleistung und der guten Strahlqualität lassen sich ultrakurze Lichtimpulse in andere Spektralbereiche konvertieren. Dazu zählt die Erzeugung von sichtbarem Licht aus infraroten Laserimpulsen zur Anwendung in der Laserdisplaytechnologie [Ruf98].
Mit optisch nichtlinearen Modenkopplungsverfahren wie Kerrlinsen-Modenkopplung, Additiv-Puls-Modenkopplung oder dem Einsatz eines sättigbaren Halbleiter-Absorbers lassen sich kompakte und zuverlässige Ultrakurzpuls-Strahlquellen realisieren. Mit dem Verfahren der Kerrlinsen-Modenkopplung konnten die bisher kürzesten Impulse mit einer Dauer von unter 5 fs direkt aus einem Laser erzeugt werden [Bal97]. Um ultrakurze Laserimpulse hoher mittlerer Leistung zu erzeugen, werden sättigbare Absorber auf Halbleiterbasis verwendet [Pas01]. Mit einem sättigbaren Halbleiter-Absorber konnte die bisher höchste mittlere Leistung von 60 W für Impulsdauern im sub-ps Bereich erreicht werden [Inn03]. Zur Unterdrückung der Selbstgüteschaltung des sättigbaren Absorbers war die Wiederholrate der Impulse auf unter

35 MHz limitiert. Höhere Repetitionsraten steigern die Tendenz zur Selbstgüteschaltung, die eine Zerstörung des Halbleiter-Absorbers zur Folge haben kann [Hoe99b].

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung von Ultrakurzpuls-Strahlquellen mit mittleren Leistungen im Multiwatt-Bereich. Die angestrebten Impulsdauern liegen im Bereich < 1 ps bei Wiederholraten von > 80 MHz.

Das zu verwendende Lasermaterial muss anhand seiner thermischen und mechanischen Eigenschaften zur optischen Anregung mit hohen Leistungen geeignet sein. Desweiteren muss die Verstärkungsbandbreite hinreichend groß sein, um sub-ps Impulse erzeugen zu können. Beide Voraussetzungen sind für das Lasermaterial Yb:YAG gegeben. Mit diesem Lasermaterial sind kontinuierlich emittierende Multimode-Laser mit Ausgangsleistungen von über 1 kW realisiert worden [Hon00, Ste00]. Die Verstärkungsbandbreite von ca. 5 nm ermöglicht die Erzeugung von Impulsen mit einer zeitlichen Dauer bis hinunter zu 340 fs [Hoe99].
Ein weiteres vielversprechendes Lasermaterial ist Yb:KGW. Die maximale bisher erreichte Ausgangsleistung betrug für dieses Material 1.3 W [Bru00]. Aufgrund der Verstärkungsbandbreite von 10 nm sind Impulsdauern bis hinunter zu 112 fs erreichbar [Bru00].
Der Nachteil der Materialien Yb:YAG und Yb:KGW sind die niedrigen Werte des Wirkungsquerschnitts für stimulierte Emission. Die damit verbundenen hohen Sättigungsintensitäten machen die Entwicklung einer geeigneten Geometrie zur effizienten optischen Anregung notwendig. Desweiteren müssen die thermische und mechanische Belastung der Laserkristalle modelliert und in der Konzipierung der Lasersysteme berücksichtigt werden.
Das zu verwendende Modenkopplungs-Verfahren muss eine hinreichende Modulationstiefe zur Erzeugung ultrakurzer Impulse liefern. Desweiteren muss die Selbstgüteschaltung auch bei hohen Wiederholraten vollständig unterdrückt sein.
Aus diesem Grund wird ein auf der Additiv-Puls-Modenkopplung (APM) basierendes Verfahren zur Erzeugung der Laserimpulse verwendet. Auf der Basis eines Nd:YAG Lasers konnten mit dem Verfahren der Additiv-Puls-Modenkopplung bereits Impulse mit einer zeitlichen Dauer von 6.6 ps und einer mittleren Leistung von 6 W erzeugt werden [Fal92]. Die Repetitionsrate hatte dabei einen Wert von 82 MHz. Da die APM ein interferometrisches Verfahren zur Erzeugung ultrakurzer Impulse ist, muss im allgemeinen die relative Länge der gekoppelten Resonatoren bis auf Bruchteile der Wellenlänge konstant gehalten werden [Mit86].
Das in dieser Arbeit verwendete modifizierte Verfahren wurde zuerst für einen Nd:YVO_4 Laser demonstriert [Hen01]. Es konnten Impulse mit einer zeitlichen Dauer von 7.6 ps und einer mittleren Leistung von 18 W erzeugt werden. Die Repetitionsrate hatte einen Wert von 165 MHz. Der Impulsbetrieb war dabei selbststabilisierend ohne aktive Regelung der Resonatorlänge.
Um Impulsdauern von < 1 ps zu erreichen, wird die Erzeugung von Solitonen im Bereich negativer Gesamtdispersion angestrebt. Der Wert der benötigten Nettodispersion soll sowohl

auf experimentellem Weg, als auch durch Lösen der Mastergleichung des modengekoppelten Lasers ermittelt werden.