

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft,
Forschung und Technologie

Abschlußbericht

Förderkennzeichen:

FKZ 13N7214/3

Verbundprojekt:

Grundlegende Untersuchungen zu neuen
Konzepten für Ultrakurzpuls-Laser

Teilvorhaben:

Abstimmbare diodengepumpte Ultrakurzpulslaser im NIR (1.1-1.6 μm):
Modensynchronisation von Cr^{4+} -dotierten Festkörpermateriale

Projektleiter

Dr. Frank Noack

Berichterstatter

Dr. Frank Jäger



Max-Born-Institut

Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und
Kurzeitspektroskopie
Max-Born-Strasse 2A
12489 Berlin

I.	Zusammenfassung	3
II.	Allgemeines	5
1.	Aufgabenstellung.....	5
2.	Vorraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	7
3.	Planung und Ablauf des Vorhabens	7
4.	wissenschaftlicher und technischer Stand	9
5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	12
	Literatur Kap. II.	12
III.	wissenschaftliche Ergebnisse.....	14
1.	Einleitung	14
2.	Theoretischer Teil.....	15
2.1	Mathematische Beschreibung des Resonators.....	15
2.2	Berechnung des nichtlinearen Verlustparameters δ/Γ für drei verschiedene Resonatortypen	17
2.2.1	x,z- Design.....	18
2.2.2	x,z-Design mit nur einem Resonatorarm (L-Design)	20
2.2.3	L-Design mit prismatischen Elementen (kurz: Fujimoto-Design)	23
2.3	GVD-Kontrolle.....	28
2.3.1	Fujimoto-Design mit prismatisch geschnittenem Auskoppler und Laserstab	29
2.3.2	Kombination von Fujimoto-Design und gechirpten Spiegeln / GTI- Spiegeln... ..	31
3.	Experimenteller Teil.....	34
3.1	allg. Voruntersuchungen.....	34
3.1.1	Messungen zur Fluoreszenzanregung von Cr^{4+} -dotiertem Forsterit und YAG ...	34
3.1.2	Messung der Lebensdauer höher angeregter Zustände in Cr:Forsterit	37
3.1.3	Bestimmung der Figure of merit (FOM)	39
3.2	Cr:Forsterit	40
3.2.1	Charakterisierung eines kompakten (220 MHz) modengekoppelten 3-Element Resonators mit Cr:Forsterit als aktivem Medium	40
3.2.2	Temperaturabhängigkeit des fs-Betriebs	45
3.2.3	Erweiterung auf 0.4 - 0.5 GHz durch den Einsatz von gechirpten Spiegeln.....	46
3.2.4	Demonstration eines passiv modengekoppelten Cr^{4+} -Forsterit Oszillators mit einem SESAM als Startmechanismus.....	49
3.2.5	weitere Versuche zum Startmechanismus	52
3.2.5.1	Q.D. dotierte Gläser der Firma Corning Inc./N.Y.	52
3.2.5.2	sättigbare Absorber (s.A.) vom ETL Tsukuba (Dr. T. Itatani)	55
3.3	Versuche mit Cr^{4+} -dotiertem YAG	59
3.3.1	niedrige Dotierung.....	59
3.3.2	hohe Dotierung	62
3.4	Frequenzkonversion	66
	Literatur zu Kap. III.....	67
IV.	Anlagen	

I. Zusammenfassung

Die fs-Technologie umfasst ein sich rasch entwickelndes Teilgebiet der Laserentwicklung und den sich daraus ergebenden Anwendungen. Sowohl der stark boomende Bereich der Telekommunikation, als auch Anwendungsmöglichkeiten in der Umweltmesstechnik, Medizin und in der Materialbearbeitung lassen auf ein großes Zukunftspotential schließen.

Die Verfügbarkeit geeigneter fs-Quellen ist die Grundlage aller weiteren Entwicklungen. Für die Herstellung solcher Quellen müssen geeignete Konzepte hinsichtlich industrieller Nutzbarkeit ausgearbeitet und erprobt werden. Dem Wellenlängenbereich von $(1.1-1.6)\mu\text{m}$, im nahen Infrarot (NIR) kommt eine besondere Bedeutung zu, da er nicht nur das 2. und 3. spektrale Fenster in der Telekommunikation abdeckt, sondern auch Vorteile im Bereich bildgebender Verfahren in der medizinischen Diagnostik (Imaging, Tomographie) und der Materialbearbeitung bietet.

Nicht die Demonstration der Machbarkeit mit aufwendiger Technik, sondern die Entwicklung möglichst einfacher Konzepte für Kurzpulslaser im NIR standen im Vordergrund unseres Projektes. Dazu gehören Leitlinien wie Kompaktheit, Robustheit, Flexibilität, einfache Bedienbarkeit (turn-key), Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit.

Für Kurzpulslaser im Spektralbereich $1.1\mu\text{m} - 1.6\mu\text{m}$ bietet sich der Einsatz von Cr^{4+} -dotierten Hostmaterialien an, in denen ein vierfach koordiniertes Cr-Atom die Rolle des aktiven Laserions übernimmt. Die Herstellung solcher Lasermaterialien ist recht aufwendig, da sich das Cr-Ion auch als zwei- und dreiwertiges Ion (Cr^{2+} , Cr^{3+}) einlagern kann. Insbesondere hohe Dotierungen, die zur Herstellung kurzer Laserkristalle notwendig sind, können nicht ohne weiteres erreicht werden.

Innerhalb des vorliegenden Projektes wurden Cr^{4+} -dotierte Materialien wie Forsterit (Mg_2SiO_4) und YAG hinsichtlich ihres Einsatzes in kompakten, diodengepumpten Kurzpulslasern untersucht. Dabei ging es vorrangig um die Realisierung eines stabilen fs-Impulsbetriebes unter Bedingungen die dem Pumpen mit Laserdioden entsprechen. Darüber hinaus wurden Untersuchungen zu nichtlinearen Verlustmechanismen in Cr^{4+} -dotierten Materialien und zu verschiedenen Varianten des Startmechanismus der Modensynchronisation durchgeführt.

Im Rahmen des Projektes konnte erstmals ein auf Cr:Forsterit basierender, nur aus 3 optischen Elementen bestehender fs-Laser demonstriert werden. Dieser Laser generiert Impulse mit einer Dauer um 160fs und ist im Bereich von $(1220-1300)\text{nm}$ abstimmbar. Durch den Einsatz geschmirpter Spiegel kann dieser fs-Forsterit-Laser in weiten Bereichen der Folgefrequenz variiert werden. Mit Hilfe von in Transmissionsgeometrie eingesetzten, halbleiterbasierten sättigbaren Absorbern (SA), konnte selbststartender Impulsbetrieb initiiert werden, der sich allerdings bisher nicht stabilisieren ließ. Die Herstellung dieser SA ist deutlich einfacher, als die typische Kombination von sättigbarem Absorber und Bragg-Reflektor (**SE**micronductor **S**aturable **A**bsorber **M**irror; SESAM).

Die Untersuchungen an Cr:YAG bestätigten bisher aus der Literatur bekannte Probleme wie das Photobleaching (Abfall der Ausgangsleistung nach kurzer Zeit) zu deren Überwindung

wir gemeinsam mit der Firma FEE erste Versuche durch den Einsatz neuer Co-Dotierungen im Cr:YAG Material begonnen haben.

Die nichtlineare Konversion der Kurzpulsstrahlung erlaubt die Erschließung weiterer Spektralbereiche für Anwendungen, die auf kurzen Impulsen bzw. hohen Spitzenleistungen beruhen. Als Beispiel sei hier nur die Mehr-Photonen Mikroskopie genannt, die gegenüber der „normalen“ Lichtmikroskopie einerseits eine höhere Auflösung aber auch die Untersuchung von Strukturen innerhalb der für das NIR transparenten Probe erlaubt ohne NIR-Meßtechnik einsetzen zu müssen.

Durch Erzeugung der zweiten Harmonischen (SHG) eines fs-Cr:Forsterit-Lasers konnten wir fs-Impulse im sichtbaren Spektralbereich (um 620nm) generieren. Durch Einsatz eines nichtkritisch, über die Temperatur phasenangepassten LBO-Kristalls konnten wir eine Umwandlungsrate von 30% im einfachen Durchgang demonstrieren, ein Wert der sonst nur durch Resonanzüberhöhung in einem zusätzlichen stabilisierten Resonator möglich war.

Erste Untersuchungen zum direkten Pumpen mit einem fasergekoppelten Laserdiodenmodul bei 980nm führten bisher noch nicht zum Erfolg, da zum einen die kurzen, hoch dotierten Cr:YAG-Stäbe prinzipiell nicht als Laserkristall arbeiteten und andererseits die vorhandenen Cr:Forsterit Proben wegen der geringeren Absorption zu lang waren.

Wie sich im Rahmen der Untersuchungen zeigte ist die Schwelle für Modensynchronisation in Cr:Forsterit trotz Optimierung der einzelnen Komponenten deutlich oberhalb 2W, so dass wir mit den 1W-Faserlaser Modulen keinen Kurzpulsbetrieb erreichen konnten.

Da aber auch hier in den zurückliegenden Jahren eine deutliche Weiterentwicklung stattgefunden hat, sind wir der Meinung, dass es mit den im Ergebnis dieses Projektes vorliegenden Resultaten möglich ist, einen kompakten Cr:Forsterit Kurzpulslaser mit einstellbaren Parametern hinsichtlich Folgefrequenz und Wellenlänge und in gewissen Grenzen auch der Impulsdauer aufzubauen. Als kompakte Pumpquelle bieten sich Faserlaser an, die die divergente Strahlung von Laserdioden in ein nahezu ideales gauss'sches Profil umsetzen. Spezielle Halbleiterlaser wie MOPA's scheinen auf Grund der zu geringen Leistung (ca. 1W) für Forsterit nicht geeignet zu sein.