

---

# BestMasters

Mit „BestMasters“ zeichnet Springer die besten Masterarbeiten aus, die an renommierten Hochschulen in Deutschland, Österreich und der Schweiz entstanden sind. Die mit Höchstnote ausgezeichneten Arbeiten wurden durch Gutachter zur Veröffentlichung empfohlen und behandeln aktuelle Themen aus unterschiedlichen Fachgebieten der Naturwissenschaften, Psychologie, Technik und Wirtschaftswissenschaften.

Die Reihe wendet sich an Praktiker und Wissenschaftler gleichermaßen und soll insbesondere auch Nachwuchswissenschaftlern Orientierung geben.

Springer awards „BestMasters“ to the best master's theses which have been completed at renowned Universities in Germany, Austria, and Switzerland. The studies received highest marks and were recommended for publication by supervisors. They address current issues from various fields of research in natural sciences, psychology, technology, and economics. The series addresses practitioners as well as scientists and, in particular, offers guidance for early stage researchers.

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/13198>

---

Kilian Fritsch

Modenkopplung mit  
hochdispersiven  
Spiegeln und neuen  
nichtlinearen Vielschicht-  
Beschichtungen

 Springer Spektrum

Kilian Fritsch  
Garching, Deutschland

Masterarbeit, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2015

BestMasters

ISBN 978-3-658-20515-7

ISBN 978-3-658-20516-4 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-20516-4>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Spektrum

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Spektrum ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

# Inhalt

<b>Abbildungen</b>	<b>VII</b>
<b>Tabellen</b>	<b>IX</b>
<b>Abkürzungen</b>	<b>XI</b>
<b>I Einführung</b>	<b>1</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1 Laser im Allgemeinen . . . . .	5
2.2 Der Kerr-Effekt . . . . .	8
2.2.1 Zeitliche Einflüsse . . . . .	8
2.2.2 Räumliche Einflüsse . . . . .	9
2.3 Dispersionskompensation . . . . .	10
2.4 Modenkopplung . . . . .	11
2.4.1 Solitonische Modenkopplung . . . . .	15
<b>II Hochdispersive Spiegel</b>	<b>17</b>
<b>3 Dispersiver Spiegel und experimenteller Aufbau</b>	<b>19</b>
3.1 Neuer Hochdispersiver Spiegel . . . . .	19
3.2 Experimenteller Aufbau . . . . .	19
3.3 Erzielte Resultate . . . . .	22
3.4 Diskussion . . . . .	24
<b>III Vielschicht Amplitudenmodulator</b>	<b>27</b>
<b>4 Der Vielschicht Amplitudenmodulator</b>	<b>29</b>

---

<b>5 Technische Herausforderungen</b>	<b>33</b>
5.1 Justageverfahren . . . . .	33
5.2 Schadenanfälligkeit . . . . .	34
5.3 Gekrümmte Substrate . . . . .	35
<b>6 Experimentelle Untersuchungen</b>	<b>37</b>
6.1 Modulation durch Endspiegel . . . . .	37
6.1.1 Aufbau . . . . .	37
6.1.2 Ergebnisse . . . . .	39
6.2 MAM und KLM Experimente . . . . .	40
6.3 Thermische Effekte . . . . .	46
<b>7 Fazit und Ausblick</b>	<b>53</b>
<b>Literatur</b>	<b>55</b>
<b>A Laserkopf</b>	<b>59</b>
<b>B Spiegelhalter</b>	<b>61</b>
<b>C Datenarchivierung</b>	<b>63</b>

# Abbildungen

2.1	Schematischer $\text{sech}^2$ -Puls und momentane Frequenz . . . . .	9
2.2	Schematische Darstellung der longitudinalen Resonatormoden verschiedener Ordnungen und ihrer Überlagerung im CW-Betrieb . . .	12
2.3	Schematische Darstellung der longitudinalen Resonatormoden verschiedener Ordnungen und ihrer Überlagerung im ML-Betrieb . . .	13
2.4	Schematische Darstellung des KLM-Mechanismus . . . . .	15
3.1	GDD-Kurve des HD1499 . . . . .	20
3.2	Schematischer Oszillatoraufbau zum Test des HD1499 . . . . .	21
3.3	Vergleich der Emissionsspektren . . . . .	23
3.4	Vergleich der Autokorrelationen . . . . .	23
4.1	Transmissionskurve des MAM für verschiedene Einfallswinkel . . . .	30
4.2	GDD-Kurve des MAM . . . . .	31
4.3	Intensitätsabhängigkeit der Reflektivität einer MAM-Probe . . . . .	31
5.1	Oberfläche einer MAM Probe nach ihrem Einsatz im Fokus der Kavität	34
5.2	Stabilitätssimulation für verschiedene Substratkrümmungen . . . . .	35
6.1	Schematischer Oszillatoraufbau zum Test des MAM durch periodische Modulation . . . . .	38
6.2	Ausgangssignal des Oszillators bei periodischer Modulation des Endspiegels . . . . .	39
6.3	Spektrale Verschiebung durch den MAM bei niedrigen Intensitäten	41
6.4	Schematischer Oszillatoraufbau zur Messung der spektralen Verschiebung beim Übergang vom CW Betrieb in den KLM Betrieb . . . . .	42
6.5	Simulierter Modenradius des Oszillators zur Beobachtung der spektralen Verschiebung . . . . .	44
6.6	Spektrale Verschiebung der Laseremission beim Übergang zwischen CW-Betrieb und ML-Betrieb . . . . .	45
6.7	Verhalten des Ausgangsspektrums des Oszillators bei Variation der Intrakavitätsleistung im CW-Betrieb . . . . .	48
6.8	Aufnahmen von einem HRM und einer MAM-Probe in einem Oszillator mit einer Wärmebildkamera. . . . .	49
6.9	Transmissionskurven des MAM für verschiedene Temperaturen. . .	50

---

A.1	Schematische Darstellung des Scheibenlaserkopfes . . . . .	59
B.1	Modelldarstellung der verwendeten Festkörperspiegelhalter . . . . .	61



# Tabellen

3.1	Spiegelhalterbelegung mit äquivalenter GDD . . . . .	22
3.2	Ergebnisse der Ausgleichsrechnung . . . . .	24
6.1	Ergebnis der Intensitätsabschätzung . . . . .	43
C.1	Dateistruktur der Archivdaten . . . . .	63
C.2	Archivverzeichnisse Latexdateien . . . . .	63
C.3	Archivverzeichnisse Daten und Grafiken . . . . .	64

# Abkürzungen

AC	<b>A</b> utocorrelation, <i>dt.</i> Zeitliche Intensitätsautokorrelation
CPA	<b>C</b> hirped <b>P</b> ulse <b>A</b> mplification, <i>dt.</i> Verstärkung gechirpter Pulse
CW	<b>c</b> ontinuous <b>w</b> ave, <i>dt.</i> „Dauerstrich-“ oder zeitlich konstant abgestrahlte Welle
FWHM	<b>F</b> ull <b>W</b> idth at <b>H</b> alf <b>M</b> aximum, <i>dt.</i> volle Halbwertsbreite
GDD	<b>G</b> roup <b>D</b> elay <b>D</b> ispersion, <i>dt.</i> Gruppenverzögerungsdispersion
GVD	<b>G</b> roup <b>V</b> elocity <b>D</b> ispersion, <i>dt.</i> Gruppengeschwindigkeitsdispersion
HD1499	Interne Bezeichnung für einen neuartigen hochdispersiven Spiegel mit $-10\,000\text{ fs}^2$ GDD pro Reflex
HDM	<b>H</b> ighly <b>D</b> ispersive <b>M</b> irror, <i>dt.</i> hochdispersiver Spiegel
HRM	<b>H</b> ighly <b>R</b> eflective <b>M</b> irror, <i>dt.</i> hochreflektiver Spiegel
IR	<b>I</b> nfrarot
KLM	<b>K</b> err-lens <b>m</b> odelocking, <i>dt.</i> Kerr-Linsen Modenkopplung
MAM	<b>M</b> ultilayer <b>A</b> mplitude <b>M</b> odulator, <i>dt.</i> vielschicht Amplitudenmodulator
ML	<b>M</b> ode <b>L</b> ocking, <i>dt.</i> Modenkopplung
Nd:YAG	<b>N</b> eodym dotiertes <b>Y</b> ttrium- <b>A</b> luminium- <b>G</b> ranat
OC	<b>O</b> utput <b>C</b> oupler, <i>dt.</i> Auskoppelspiegel
SA	<b>S</b> aturable <b>A</b> bsorber, <i>dt.</i> sättigbarer Absorber
SESAM	<b>S</b> emiconductor <b>S</b> aturable <b>A</b> bsorber <b>M</b> irror, <i>dt.</i> Sättigbarer Halbleiterspiegel
SPM	<b>S</b> elf- <b>P</b> hase <b>M</b> odulation, <i>dt.</i> Selbstphasenmodulation

TD	<b>T</b> hin <b>D</b> isk, <i>dt.</i> Dünnscheibe
TEM <sub>00</sub>	<b>T</b> ransversal <b>E</b> lectromagnetic Wave, <i>dt.</i> transversale elektromagnetische Welle nullter Ordnung
Yb:YAG	<b>Y</b> tterbium dotiertes <b>Y</b> ttrium- <b>A</b> luminium- <b>G</b> ranat

## **Zusammenfassung**

In dieser Arbeit werden zwei verschiedene, in Reflexion arbeitende, optische Elemente auf der Basis von dielektrischen Beschichtungen ausgiebig getestet und untersucht. Das erste Element ist ein neuer, hochdispersiver Spiegel mit  $-10\,000\text{ fs}^2$  Gruppenverzögerungsdispersion. Seine Leistungsfähigkeit wird für die Anwendung bei niedrigen Intrakavitätsleistungen durch einen Vergleich mit bekannten Spiegeln nachgewiesen werden. Das zweite Element ist ein neuartiger, auf Nichtlinearität in dielektrischen Schichten basierender Modelocker. Dieser wird in verschiedenen Oszillatorkonfigurationen eingesetzt, um erstmalig Modenkopplung mit diesem zu erzielen. Es wird festgestellt, dass zwar Anzeichen für das Funktionieren der Beschichtung auftreten aber auch thermische Effekte vorhanden sind, welche die Nichtlinearität in der Beschichtung überlagern könnten. Selbsterhaltende Modenkopplung konnte mit diesem Spiegel nicht erreicht werden.