

"Physik mit kohärenten Strahlungsquellen"

Zielsetzung ist die gemeinsame Bearbeitung von Forschungsfeldern aus dem Forschungsschwerpunkt Laserphysik und Photonik wie die Untersuchung von nichtlinearen Wechselwirkungsprozessen von intensivem FEL-Licht mit Materie und die Echtzeitanalyse dynamischer Vorgänge auf einer Femtosekundenzeitskala bei chemischen Reaktionen, biophysikalischen Prozessen und ultraschnellen, elektronischen und magnetischen Schaltvorgängen.

Unabdingbare Voraussetzung für das geplante Forschungsprogramm ist der Freie-Elektronen-Laser VUV-FEL, der im Laufe des Jahres 2005 in Betrieb gehen wird. Eine Schlüsselrolle im gemeinsamen Forschungszentrum kommt daher den Forschungsaktivitäten am HASYLAB zu, die den Aufbau und die Inbetriebnahme des VUV-FEL betreffen und sich vor allem auch auf die Optimierung der Quelle hinsichtlich Brillanz und Zeitstruktur und die Online-Diagnostik der Laserpulse konzentrieren.

An dem Forschungszentrum sind drei Institute der Universität Hamburg und das HASYLAB bei DESY beteiligt. Derzeit wird die Gründung eines Graduiertenkollegs vorbereitet, an dem Projektbereiche des Forschungszentrums maßgeblich beteiligt sein werden. Die im letzten Jahr im Rahmen der Vorbereitungen auf die Nutzung des VUV-FEL's planmäßig durchgeführten Arbeiten und die erzielten Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst.

Nachdem der Projektstart aus organisatorischen Gründen erst zu Beginn des Jahres 2004 erfolgte, hat sich ein leichter Mittelüberhang für 2004 ergeben, da ein Teil der bewilligten Mittel zwar noch im Jahr 2004 für Beschaffungen festgelegt wurde, aber erst im Jahr 2005 abgerechnet werden wird.

Projektbereich A - Atominjektor mit photonischen Kristallfasern

Zielsetzung

Das Projekt "Atominjektor mit photonischen Kristallfasern" zielt auf die Entwicklung eines flexibel einsetzbaren ultrakalten Gastargets, speziell auch für den Freie-Elektronen-Laser (FEL). Die Verwendung gut lokalisierter ultrakalter Atome als Target verspricht dabei insbesondere eine Erhöhung der Energieauflösung bei Photoionisationsexperimenten um mehrere Größenordnungen gegenüber konventionellen Gastargets oder auch Atomstrahltargets. Eine wesentliche Nebenbedingung besteht darin, die Operation des FEL nur minimal zu beeinflussen, d.h. insbesondere die Vermeidung von elektrischen und magnetischen Feldern sowie geringstmögliche Belastung des Vakuumsystems.

Konzept

Die dem Projekt zugrundeliegende Idee besteht in der räumlichen Trennung von der Präparation der ultrakalten atomaren Ensembles und der Wechselwirkungszone mit dem FEL durch einen neuartigen Atomleiter. Die in Abb. 1 schematisch dargestellte Kombination von einer kompakten Laserkühlapparatur zur Präparation mit einem photonischen Glasfaser-Hohlleiter zum punktgenauen Transfer realisiert einen neuartigen Atominjektor als minimal-invasives Target. Darüber hinaus stellt der Atomleiter auf Basis photonischer-Bandstruktur-Fasern bereits an sich ein völlig neuartiges Konzept im Bereich der Photonik und Laserphysik dar, das viele Parallelen zu anderen atomaren oder photonischen Leiterstrukturen aufweist.

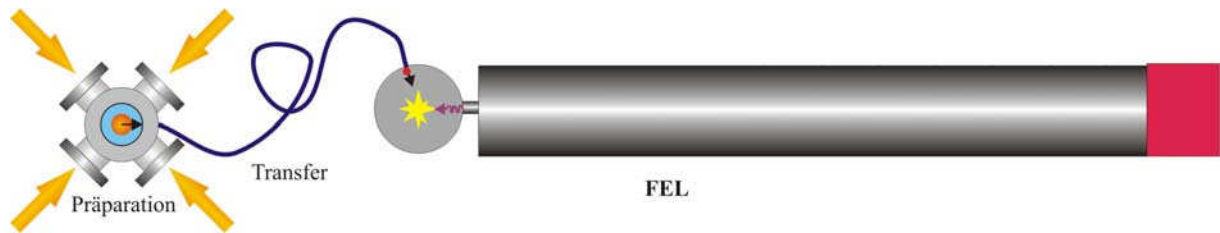
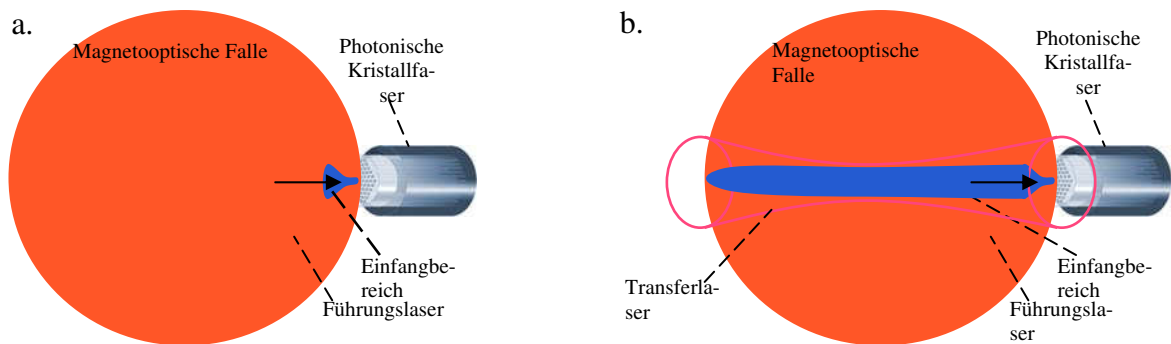


Abb.1: Schematische Darstellung der Atominjektor-Idee am Beispiel einer Anwendung am FEL.

Arbeitsbericht

Am Beginn des Antragszeitraums wurden eine Analyse, numerische Modellierung und Optimierung des Konzeptpotentials basierend auf den umfangreichen Erfahrungen unserer Arbeitsgruppe bei der Manipulation von Atomen mit Laserkühlverfahren und optischen Potentialen [1-3] sowie der Expertise von uns im Führen von Atomen in konventionellen Glaskapillarfaseren [4] durchgeführt. Während der Analyse wurde der Phasenraumüberlapp der ultrakalten Atome in der Präparationszone mit dem Einfangbereich des Atomleiters als kritischer Parameter identifiziert und im Rahmen der Optimierung mit Hilfe eines zusätzlichen Einfang-Laserfeldes um mehrere Größenordnungen gesteigert (siehe Abb. 1). Nach der numerischen Modellierung sollte somit am Ausgang des Atominjektors ein wohldefinierter Atomstrahl von ca. $1\mu\text{m}$ Durchmesser (!), einer kinetischen Energieunschärfe von wenigen neV sowie einer Teilchendichte von bis zu 10^{13} cm^{-3} zur Verfügung stehen! Eine Anpassung des Flusses auf gepulsten Betrieb mit weitestgehend beliebig einstellbarer Repetitionsrate ist dabei ohne Probleme möglich.

Abb. 1: Prinzip der Einkopplung der lasergekühlten Atome in den photonischen Faser-Atomleiter. Die Atome wer-



den im Atomleiter von einem Laserfeld geführt, das ein attraktives Dipolpotential bewirkt. a.: Dieses führt im Überlappbereich hoher Lichtfeldintensitäten mit der magnetooptischen Falle zum Einfang von Atomen, wobei der Einfangbereich durch die starke Divergenz des Lichtfeldes auf einen kleinen Raumbereich beschränkt wird. b.: Die zusätzliche Einstrahlung eines Transferlaserfeldes mit geringer Divergenz kann den Einfangbereich um mehrere Größenordnungen vergrößern.

Im ersten Jahr der Projektförderung wurde eine Labor-Apparatur zur experimentellen Umsetzung und Erprobung des obigen Konzeptes entworfen, die eine hohe Flexibilität für die Optimierung der Systemparameter und zur Evaluierung weitergehender Kühl- und Ladestrategien aufweist. Die Präparation der Atome erfolgt über eine Kombination von einer zweidimensionalen magnetooptischen Falle in einer Zelle mit "hohem" (max. 10^{-8} mbar) Dampfdruck der zu sammelnden Atome (in diesem Fall Rubidium), die einen kalten Atomstrahl zum Laden einer dreidimensionalen magnetooptischen Falle in der differentiell gepumpten Experimentier-Kammer mit einem Vakuum im Bereich von einigen 10^{-11} mbar. Dieser Teil der Apparatur sowie die dafür notwendigen Lasersysteme sind weitgehend analog zu den sehr erfolgreich laufenden Experimenten zur Bose-Einstein Kondensation und zur Erzeugung von entarteten Fermi-Bose Quantengas-Mischsystemen in unserer Arbeitsgruppe, so dass hier ein minimaler Entwicklungsaufwand und minimales Erfolgsrisiko vorhanden sind. Entsprechend den laufenden Experimenten ist eine Kapazität der magnetooptischen Falle zur Präparation von bis zu 10^{10} ultrakalten Atomen/s

zu erwarten, die deutlich über dem dichtelimitierten Maximalfluß im Atomleiter liegt und somit ausreichende Reserven zur Optimierung der Einkopplung bietet (siehe Abb. 2).

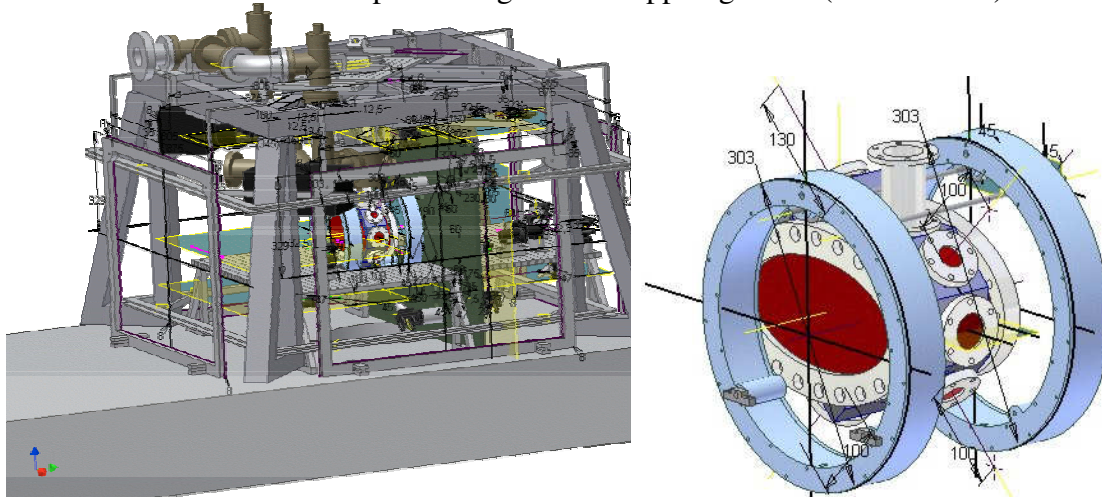


Abb. 2: Autocad-Design der Laborapparatur, mit der die grundlegenden Rahmenbedingungen und Parameterregimes für den geplanten Atominjektor erforscht werden sollen. Im rechten Teil der Abbildung ist ein vergrößerter Ausschnitt der Experimentierkammer zu sehen, in der die dreidimensionale Falle und die Einkopplung in den Atomleiter studiert werden sollen.

Die Experimentier-Kammer wurde neu entworfen, so dass sie eine Aufnahme für eine photonische Kristallfaser als Atomleiter sowie guten optischen Zugang für Dipolfallenlaser und Diagnosstrahlen bietet, mit deren Hilfe der Atomfluß im Targetbereich am Leiterausrang optimiert werden kann. Ein wesentlicher Punkt besteht dabei in der Optimierung der Einkopplung des Führungslichtfeldes für die Atome in die photonische Kristallfaser. Derzeit werden verschiedene Linsen- und Justagesysteme bezüglich ihrer Effizienz und Stabilität getestet. Mit einem einfachen Abbildungssystem konnte eine Einkoppeleffizienz von ca. 30% der Laserleistung erzielt werden, was für erste Versuche ausreichend ist, sich unter Einsatz eines beugungsbegrenzten Spezialobjektivs aber noch mindestens verdoppeln lassen sollte.

Nach Zusammenstellung und Bestellung der Komponenten sind zum jetzigen Zeitpunkt nahezu alle Teile der experimentellen Apparatur vorhanden bzw. in Bearbeitung in der mechanischen Werkstatt des Instituts. Derzeit befinden sich die Lasersysteme für die Laserkühlung im Aufbau, so dass nach den für den Sommer geplanten Vakuumtests im Herbst mit ersten Versuchen zur Atomleitung in photonischen Kristallfasern gerechnet werden kann.

- [1] H. Schmaljohann, M. Erhard, J. Kronjäger, M. Kottke, S. van Staa, J.J. Arlt, K. Bongs and K. Sengstock. *Dynamics of $F=2$ Spinor Bose-Einstein Condensates*. Phys. Rev. Lett. 92, 040402 (2004).
- [2] K. Bongs, S. Burger, S. Dettmer, D. Hellweg, J. Arlt, W. Ertmer, K. Sengstock; *Coherent manipulation and guiding of Bose-Einstein condensates by optical dipole potentials*. Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Série IV, (Physique, Astrophysique), France: Editions Elsevier, 2, n°4, 671-80 (2001).
- [3] K. Bongs, S. Burger, S. Dettmer, D. Hellweg, J. Arlt, W. Ertmer, K. Sengstock; *A waveguide for Bose-Einstein Condensates*. Phys. Rev. A, 63, R 031602 (2001).
- [4] S. Kuppens, M. Schiffer, M. Rauner, G. Workurka, M. Zinner, K. Sengstock, und W. Ertmer. *Atom Guiding in a Blue Detuned Donut Mode*. In TOPS on Ultracold Atoms and BEC, page 102, 1997.

Projektbereich B - Ultraschnelle Dynamik

Ultraschnelle Dynamik an Oberflächen und Grenzflächen ist von zentraler Bedeutung für das Verständnis elementarer chemischer Reaktionen, den Ablauf photochemischer und biophysikalischer Prozesse und die molekulare Elektronik. Wichtige dynamische Vorgänge an Oberflächen und Grenzflächen finden auf extrem kurzen Zeitskala im Femtosekundenbereich (10^{-15} s) statt /1/. Neben stroboskopischen Untersuchungen in der Zeitdomäne durch Ultrakurzzeitexperimente mit konventionellen Lasersystemen, die zu spektakulären neuen Erkenntnissen und Möglichkeiten im Bereich der Femtochemie (Nobelpreis für Chemie; A. Zewail /2/) geführt haben, haben sich in letzter Zeit Experimente mit Synchrotronstrahlungsquellen der dritten Generation als äußerste wertvolle komplementäre Informationsquelle für die Untersuchung ultraschneller dynamischer Prozesse erwiesen, da hier durch die Anregung von Rumpfelektronen elementarspezifische Untersuchungen der Ultrakurzzeitdynamik möglich werden /1,3-5/.

Dabei werden Kohärenzeffekte zwischen Anregung und Zerfall von inneren Elektronen ausgenutzt, um dynamische Phänomene elementspezifisch auf einer Femtosekundenzeitskala zu verfolgen. Die Lebensdauer der elektronisch angeregten Zwischenzustände dient dabei als Zeitreferenz. Während bei konventionellen Laserexperimenten die Zeitauflösung einige Femtosekunden beträgt (kürzlich konnten in Gasphasenexperimente auch kürzere Pulse realisiert werden /6/), konnten mit dieser Technik erstmals Elektronentransferprozesse an Oberflächen im Zeitfenster von einigen hundert Attosekunden untersucht werden /5/.

Für stroboskopische Experimente muss ein ultraschneller Prozess mit einem ersten (pump)-Puls ausgelöst wird und mit einem zweiten, verzögerten (probe)-Puls abgefragt wird. Der Vorteil solcher Experimente am VUV-FEL ist die Möglichkeit dynamische Vorgänge durch die Spektroskopie mit weicher Röntgenstrahlung elementspezifisch untersuchen und die zeitliche Evolution der lokalen elektronischen Struktur beobachten zu können.

Werden solche Experimente mit zwei verschiedenen Lasern, d.h. einem Laser im optischen Spektralbereich und dem FEL durchgeführt, erfordert das eine sehr präzise zeitliche Synchronisation der beiden Laserpulse. Ein optischer Laser, der diese Anforderungen erfüllt und solche Experimente mit einer Synchronisation von etwa 500 fs möglich macht, wird vom HASYLAB in Kooperation mit anderen Institutionen im Rahmen einer europäischen Kollaboration aufgebaut. Damit werden Messungen mit einer Zeitauflösung von etwas besser als einer Pikosekunde möglich.

Wenn man Vorgänge untersuchen will, die auf kürzeren Zeitskalen ablaufen, wie etwa elektronische Relaxationsprozesse an Oberflächen oder auch die nukleare Dynamik, die mit schnellen Ladungstransferprozessen in molekularen Systemen gekoppelt ist, so muss daher ein anderer Ansatz gewählt werden. Das Synchronisationsproblem lässt sich vermeiden, wenn die beiden Pulsen (pump- und probe) von ein und demselben FEL Puls abgeleitet werden. Bei diesem Verfahren, das ein Standardverfahren in der konventionellen Ultrakurzzeitspektroskopie mit optischen Lasern ist, wird der Puls aufgespalten. Ein Teil des Pulses wird als pump-Puls verwendet, während der andere Teil nach Verzögerung über eine variable Verzögerungsstrecke als probe-Puls benutzt wird. Derzeit existiert allerdings kein Strahlteiler für den weichen Röntgenbereich mit dem solche Experimente durchgeführt werden können.

Im Rahmen des Projekts entwickeln wir daher einen Strahlteiler mit integrierter Verzögerungsstrecke für den weichen Röntgenbereich. Die Realisierung des VUV-Strahlteilers soll auf der Basis von Transmissionsgittern und Spiegeln erfolgen (s.Abb. 1), die unter extrem streifenförmigen Einfall beleuchtet werden. Ein essentieller Punkt für die Funktion dieses Strahlteilers mit integrierter Verzögerungsstrecke ist neben der Konzeption der optischen Elemente, der mechanische Aufbau, der hohe Stabilität bei einer Genauigkeit im sub- μ m Bereich aufweisen muss. Dieser Aufbau wird derzeit im Rahmen des Projekts von einem wissenschaftlichen Mitarbeiter in enger Zusammenarbeit mit einem Ingenieur bei HASYLAB konzipiert und soll im nächsten Jahr fertig gestellt werden und anschließend in ersten Testexperimenten an dem von uns gemeinsam mit HASYLAB aufgebauten Monochromatorstrahlrohr charakterisiert werden. Der Aufbau des

hochauflösenden Monochromators verläuft planmäßig und wird Mitte 2005 abgeschlossen sein. Danach erfolgt das „Commissioning“ mit der FEL-Strahlung.

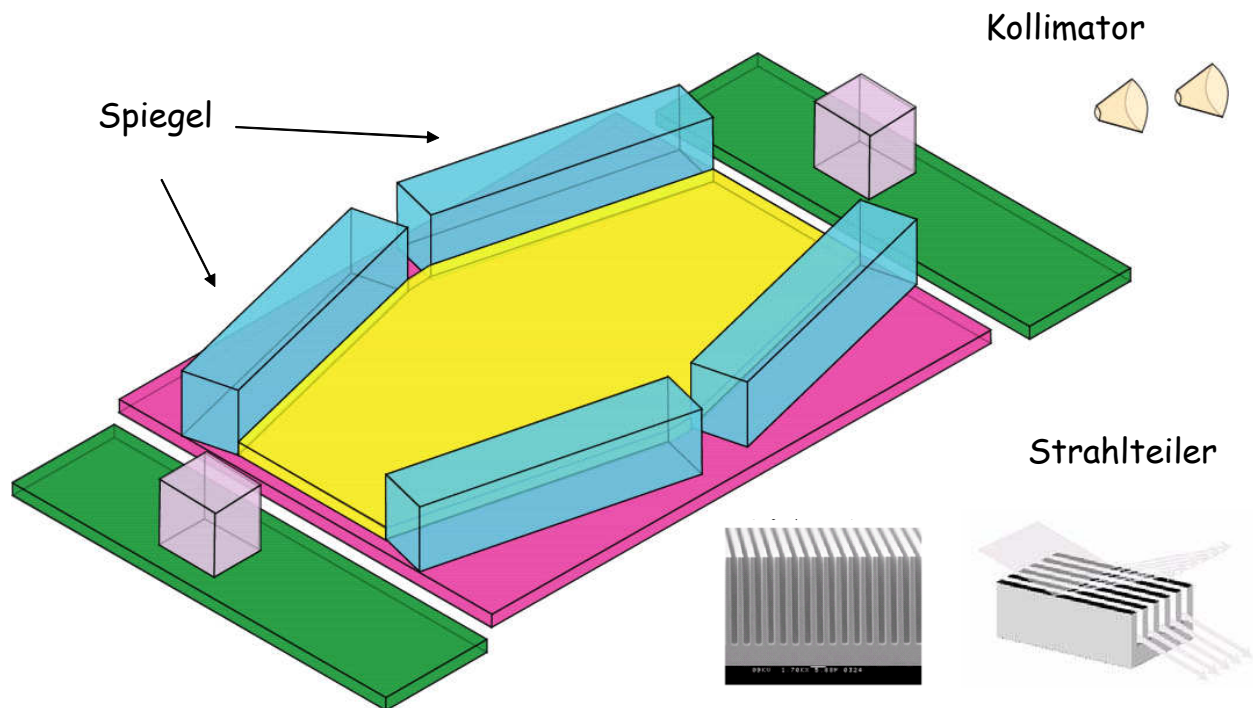


Abb. 1: Schematische Darstellung des VUV-Autokorrektors mit den als Transmissionsgitter ausgelegten Strahlteilern, die in Si-Technologie hergestellt werden.

Die konzeptionellen Vorarbeiten an dem VUV-Autokorrektor sind im letzten Jahr im Rahmen des Projekts mit Hilfe von Ray-Tracing Simulationen abgeschlossen worden. Die Transmissionsgitter, die auf Si-Basis hergestellt werden sollen, sind dabei unter Berücksichtigung der Kohärenzeigenschaften der FEL-Strahlung unter expliziter Einbeziehung der Wellenfronten optimiert worden. Derzeit läuft die Konstruktionsphase und Mitte des Jahres 2005 soll die Fertigung begonnen werden.

Referenzen

- 1) W. Wurth and D. Menzel, Chem. Phys. 251, 141 (2000), and references therein.
- 2) A.H. Zewail, J.Phys.Chem. A 104, 5660 (2000).
- 3) P.A. Brühwiler, O. Karis, and N. Mårtensson, Rev.Mod.Phys. 74, 703 (2002), and references therein.
- 4) J. Schnadt et al., Nature 418, 620 (2002).
- 5) A. Föhlisch et al., submitted to Nature.
- 6) M. Hentschel et al., Nature 414 (2001); M. Drescher et al., Nature 419, 803 (2002).

Projektbereich C „FEL / Materie Wechselwirkung“

Die in diesem Projektbereich definierten Ziele sind die Strukturierung von optischen Materialien mittels Laserpulsen zur Herstellung von laseraktiven Wellenleitern. Dabei wird hauptsächlich auf die Materialklasse der oxidischen kristallinen Dielektrika (Sesquioxide und Granate) zurückgegriffen, da sich diese als laseraktives Medium bewährt und etabliert haben. Um die Vorteile des FEL-Lasers bei der Materialstrukturierung später nutzen zu können wurden bisher eine Reihe von Voruntersuchungen bezüglich der Schichtherstellung (Basis für die planaren und strukturierten Wellenleiter) und der Strukturierung durchgeführt.

Die Schichtherstellung erfolgte dabei mittels der Methode der Pulsed Laser Deposition. Diese Technik ermöglicht unter sehr genau definierten und reproduzierbaren Bedingungen epitaktisches Schichtwachstum mit hoher Genauigkeit. So ist das Wachstum von kristallinen und amorphen Schichten mit Dicken vom Nano- bis in den Mikrometerbereich möglich. Um die Qualität der Schichten besser einordnen zu können, wurden Vergleichsschichten durch Elektronenstrahlverdampfung (EBV) hergestellt [1].

Besonders wichtig für epitaktisches Schichtwachstum ist die Anpassung der Kristallgitter des Substrates und der zu wachsenden Schicht. Für die untersuchten Sesquioxidschichten kann eine Gitteranpassung durch Wachstum entlang der $\langle 111 \rangle$ -Richtung auf (0001)-orientierten Saphirsubstraten erfolgen. Die Anpassungsbedingung $3 \times a(\text{Al}_2\text{O}_3) \approx \sqrt{2} a(\text{SE}_2\text{O}_3) - a$ bezeichnet dabei die Gitterkonstante des jeweiligen Systems – liefert für Y_2O_3 einen Fehler von etwa 4.8%. Durch das Herstellen von Schichten aus Mischsystemen der Sesquioxide, die Gitterfehlanspassungen betragen bei Lu_2O_3 und Sc_2O_3 nur 2.8% bzw. -2.5%, lassen sich gitterangepasste Systeme realisieren, bei denen keine Fehlanpassungen vorliegt. So zeigt z.B. eine $\text{Lu}_{0.92}\text{Sc}_{1.08}\text{O}_3$ -Schicht auf $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ein nahezu perfektes Aufwuchsverhalten, was durch die Röntgenstrukturanalyse (XRD und SXRD) und die Lumineszenzmessungen (Emissions- und Anregungsmessungen) eindeutig gezeigt wurde [2]. Für die Realisierung von wellenleitenden Strukturen sind ferner unterschiedliche Brechungsindizes n von entscheidender Bedeutung, wobei für die Führung von Licht in der Schicht $n_{\text{Substrat}} < n_{\text{Schicht}}$ gelten muß. Eine Bedingung, die mit $n_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 1.76$ und $n_{\text{SE}_2\text{O}_3} \geq 1.9$ für die untersuchten Schichtsysteme erfüllt ist. Um einen noch größeren Brechungsindexunterschied zwischen Substrat und Schicht für das wellenleitende System zu erzielen, dies ist besonders wichtig wenn man auch photonische Kristallstrukturen herstellen möchte, wurden auch Quarz-Substrate mit einem Brechungsindex von $n = 1.54$ verwendet. Dabei sind die Systeme Y_2O_3 , $\text{Y}_{1.5}\text{Sc}_{0.5}\text{O}_3$ und $\text{Y}_{0.2}\text{Lu}_{1.8}\text{O}_3$ hinsichtlich ihrer Gitteranpassung auf (0001)-Quarz untersucht worden. Auch hier sollte das Wachstum der Schichten in $\langle 111 \rangle$ -Richtung gemäß der oben genannten Beziehung erfolgen [3].

In beiden Fällen wurden dünne Schichten im Bereich von 5nm bis 1.2µm per Pulsed Laser Deposition hergestellt und dann mittels Fluoreszenzspektroskopie (Emissions- und Anregungsmessungen), Röntgenbeugung (XRD, SXRD) und Rasterkraftmikroskopie (AFM) charakterisiert [4,5,6]. Erste Ergebnisse zeigen, dass kristallines Wachstum der Schichten in (111)-Richtung möglich ist und durch das Mischen von Sesquioxiden gitterangepasste Systeme realisierbar sind. Die PLD-Schichten weisen dabei eine deutlich bessere optische Qualität auf als vergleichbare mit der EBV-Technik hergestellte Schichten.

Bevor die Strukturierung an den Schichten in Angriff genommen wird, um die gewünschten Streifenwellenleiter bzw. photonische Strukturen zu erhalten, wurden Wellenleiterexperimente an planaren Strukturen durchgeführt. Dabei konnte Wellenleitung sowohl in den mit der EBV hergestellten amorphen Strukturen ($\text{Nd}:\text{Y}_2\text{O}_3$ ($d = 1\mu\text{m}$) auf $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ mit und ohne Al_2O_3 -Deckschicht (s. Abb. 1)) als auch in den kristallinen PLD-Schichten ($\text{Eu}:\text{Y}_2\text{O}_3$ (1.2µm) auf $\alpha\text{-}$

SiO₂ und Nd:Sc₂O₃ (3μm) auf α-Al₂O₃ mit Al₂O₃-Deckschicht) gezeigt werden. Neben einer weiteren Charakterisierung (z.B. Verlustmessungen) sollen in der folgenden Projektphase auch Wellenleiter aus den gitterangepassten Systemen hergestellt werden [7,8,9].

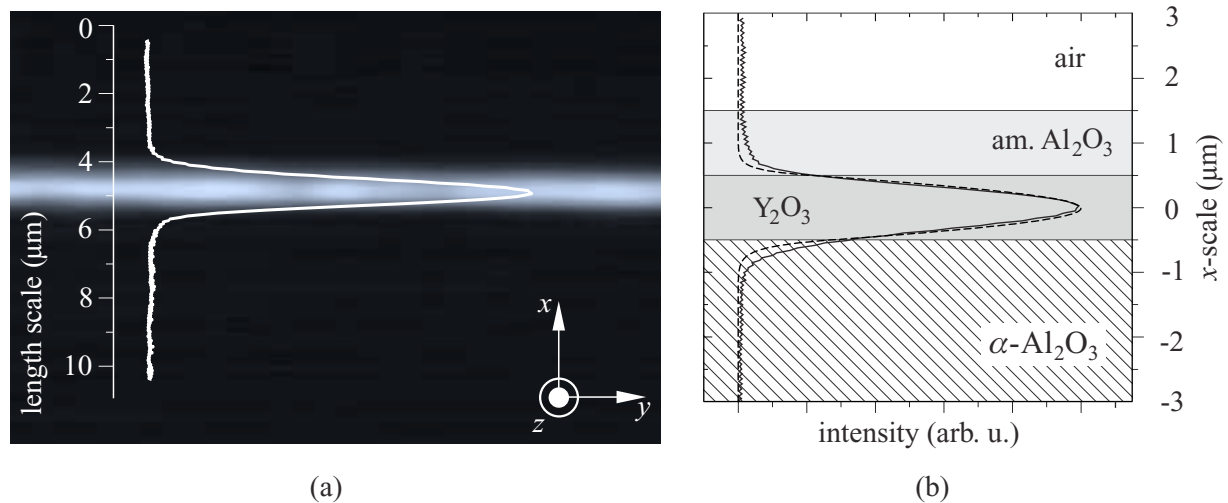


Abb. 1: Intensitätsverteilung in einem 1μm dicken Y₂O₃ Wellenleiter: (a) experimentell aufgenommenen Intensitätsverteilung verglichen mit der in (b) gezeigten theoretischen Berechnung der Grundmode.

Hinsichtlich der Strukturierung der Materialien stehen die Experimente noch am Anfang. Es wurden allerdings schon erste Ablationsversuche mit einem fs-Ti:Saphir-Laser (fs/ps-Pulse bei 775nm und Pulsenergien ≤ 0.8 mJ bei einer Pulsfrequenz ≤ 1kHz) und Lu₂O₃, Sc₂O₃ und YVO₄ Einkristallen durchgeführt, um einen Einblick in die Wechselwirkung von fs-Strahlung mit den zu strukturierenden Dielektrika zu bekommen. Zur Auswertung der entstandenen Materialschäden werden zur Zeit die Methoden der optische Mikroskopie, der Rasterkraftmikroskopie und der DIC-Mikroskopie verwendet. Erste Ergebnissen hierzu werden in den nächsten Zwischenbericht eingehen.

Referenzen

- [1] S. Bär, S. Ehlert, H. Scheife, K. Petermann, G. Huber. *Epitaktisches Schichtwachstum - Herstellung von kristallinen dielektrischen Schichtsystemen mittels Pulsed Laser Deposition*. Physik Journal - Best of, 10 (2004), 31
- [2] Lutz Rabisch, Sebastian Bär, Günter Huber. *EBV-Deposited Sesquioxide Films on α-Al₂O₃*. Conference of the European Materials Research Society (E-MRS), Strasbourg, Poster A2/P.24 (2004).
- [3] S. Ehlert, S. Bär, L. Rabisch, Y. Kuzminykh, H. Scheife, G. Huber. *Epitaktisch gewachsene dünne PLD-Sesquioxidschichten auf Quarz*. Verhandlungen zur Frühjahrstagung der DPG (FG Dünne Schichten), Berlin, Vortrag DS5.2 (2005).
- [4] S. Bär, G. Huber, J. Gonzalo, A. Perea, M. Munz. *Pulsed Laser Deposition of Eu:Y₂O₃ thin films on (0001) α-Al₂O₃*. Applied Physics A, Online First, DOI 10.1007/s00339-004-3029-8 (2004).
- [5] S. Bär, G. Huber, J. Gonzalo, A. Perea, A. Climent, F. Paszti, M. Munz. *Eu-doped Yttria and Lutetia Thin Films grown on Sapphire by PLD*. Conference of the Materials Research Society (MRS), San Francisco, Poster (2004).
- [6] S. Bär, Y. Kuzminykh, H. Scheife, G. Huber, J. Gonzalo, M. Munz. *Europium-doped Yttria and Lutetia Thin Films grown on Sapphire by Pulsed Laser Deposition*. EPS-QEOD Europhoton Conference, Lausanne, Poster ThC3 (2004).
- [7] Y. Kuzminykh, S. Bär, H. Scheife, G. Huber, V. Apostolopoulos, M. Pollnau. *Waveguiding thin Y₂O₃ films grown on sapphire substrates*. EPS-QEOD Europhoton Conference, Lausanne, Poster ThC2 (2004).
- [8] B. Neubert, S. Bär, Y. Kuzminykh, H. Scheife, G. Huber. *Rare-Earth-Doped Yttria Waveguides Grown by Pulsed Laser Deposition*. Advanced Solid State Photonics (ASSP), Wien, Poster MB31 (2005).
- [9] Y. Kuzminykh, B. Neubert, S. Bär, A. Kahn, H. Scheife. *Optisch Aktive Sesquioxidwellenleiter*. Verhandlungen zur Frühjahrstagung der DPG (FG Quantenoptik und Photonik), Berlin, Vortrag Q66.6 (2005).

Projektbereich D- HASYLAB

DESY stellt die Infrastruktur des Vakuum-Ultraviolet Freie-Elektronen-Lasers (VUV-FEL) für die Forschung des Helmholtzforschungszentrums zur Verfügung. Im Besonderen zeichnet das HASYLAB Team verantwortlich für den Ausbau der Experimentierhalle mit insgesamt fünf Nutzermessplätzen, einer allgemeinen Infrastruktur für die Nutzer und geeigneter Photonendiagnostik, die den VUV-FEL Strahl für jeden einzelnen Photonenpuls parallel zum Nutzerexperiment charakterisieren kann. Selbstverständlich unterstützt DESY dabei auch den Aufbau der hochauflösenden Monochromator-Beamline mit zwei Experimentierplätzen, die von der Universität Hamburg entwickelt werden.

Im Jahr 2004 wurde die Installation der Beschleunigerkomponenten an der Tesla Test Facility bei DESY abgeschlossen und mit der Inbetriebnahme des VUV-FEL begonnen. Ende 2004, direkt nach der Inbetriebnahme des Undulators mit Elektronenstrahl, hat die HASYLAB Gruppe mit der Inbetriebnahme der FEL-Photonendiagnostik im Beschleunigertunnel mit Hilfe der spontanen Undulatorstrahlung begonnen, und diese im Januar 2005 erfolgreich zur Charakterisierung der ersten FEL-Strahlung bei 32 nm Wellenlänge eingesetzt. Strahlintensität, Serien von Wellenlängen-Spektren und Doppelspalt-Beugungsbilder zur Bestimmung der Kohärenz wurden gemessen. Die Diagnostikeinheiten werden seitdem routinemäßig zur Optimierung des VUV-FEL benutzt.

HASYLAB hat im Jahr 2004 die Auslegung der Experimentierhalle für den VUV-FEL, der Beamlines zu den fünf geplanten Experimentierstationen und der Photonendiagnostik abgeschlossen und mit deren Aufbau begonnen. Für das Strahlverteilungssystem wurden neue Spiegelkammern und Vakuumsysteme sowie Photonendiagnostik entwickelt. In die Beamlines werden an verschiedenen Positionen sichtbare Lasersysteme eingebaut, die die Vorjustage der Beamlines und Experimente unabhängig von der FEL-Strahlung erlauben. Um Untersuchungen ultraschneller Prozesse im Femtosekundenbereich zu ermöglichen, stellt DESY ein externes wellenlängen-durchstimmbares Femtosekunden-Lasersystem für die Nutzer zur Verfügung, das in 2004 in der Experimentierhalle installiert wurde. Designs und Konstruktion der Strahlführung vom Laser zu den Experimentierplätzen einschließlich Delay-Lines, Optik und Vakuumsystem wurden in 2004 abgeschlossen, und gegenwertig wird das System zusammen mit den FEL-Strahlführungen aufgebaut. Gleichzeitig wurden verschiedene Techniken zur Synchronisation des optischen Lasers mit dem VUV-FEL entwickelt und aufgebaut, die in 2005 im Rahmen der Inbetriebnahme des FEL getestet werden.

Die Arbeiten an den ersten zwei Beamlines, der Diagnostik sowie der notwendigen Infrastruktur werden im Frühjahr 2005 abgeschlossen. Zwei weitere Beamlines werden bis Ende 2005 fertig gestellt. Im Besonderen unterstützt DESY auch den Aufbau der hochauflösenden Monochromator-Beamline, die von der Universität Hamburg entwickelt und im Frühjahr 2005 als eine der ersten zwei Beamlines aufgebaut wird, im Bereich Vakuumtechnik und Photonendiagnostik. Für verschiedene Aufgaben in diesen Arbeitsfeldern wurden ein wissenschaftlicher Mitarbeiter und ein Ingenieur, die aus dem Helmholtzzentrum finanziert wurden, eingesetzt. Gleichzeitig wurde auch der Aufbau des VUV-FEL selbst abgeschlossen und mit der Inbetriebnahme sehr erfolgreich begonnen.

Da der Ausbau der Experimentierhalle in erheblichen Maß in 2005 realisiert wird, werden die Sachmittel des Jahres 2004 im Jahr 2005 verwendet werden. Erste Nutzerexperimente, an denen auch die Partner des Helmholtz-Forschungszentrums beteiligt sind, sind für Juni 2005 geplant. Im August 2004 hat DESY einen "VUV-FEL Users Workshop on technical issues of first experiments" durchgeführt, an dem sich ca. 60 Vertreter aller ersten Nutzerexperimente und 20 DE-

SY Mitarbeiter aus den Bereichen HASYLAB und Beschleunigerentwicklung und -betrieb beteiligt haben.