



Institut für Mikrotechnologien (IMtech)
des Fachbereichs Ingenieurwissenschaften
der Hochschule RheinMain

Institutsbericht 2021/2022

INHALT

1. Mitglieder und Mitarbeiter des IMtech	3
2. Wissenschaftlicher Beirat des Imtech	5
3. Profil / Forschungsschwerpunkte	6
3.1 Neues Direktorium des Imtech	6
3.2 Aufgaben und Perspektiven in Forschung und Lehre	7
3.3 Ausstattung: Neue Geräte und Technologien	8
4. Forschungsprojekte / Kooperationen	10
4.1 Metallschäume für Sorptionsfallen zur Gasreinigung	10
4.2 Entwicklung und Integration von kleinen und präzisen MEMS-Mikrosensoren zur selektiven Wasserstoffmessung	12
4.3 Desorptionsmessungen von Beschleuniger-relevanten Oberflächen	13
4.4 Femtosecond laser sulfur hyperdoped black silicon for IR photonic applications	16
4.5 Advanced defect engineering and surface passivation for improving the carrier lifetime in femtosecond laser sulfur hyperdoped silicon	19
4.6 Hochtechnologie und Wirtschaftlichkeit: Studentisches Lernen an einer photonischen Wertschöpfungskette	21
4.7 Diffraktiv-optische Elemente zur Lichtlenkung in transparenten Medien (DiffraLicht)	25
4.8 Kooperation mit NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland (USA)	26
5. Publikationen und Öffentlichkeitsarbeit	29
5.1 Wissenschaftliche Publikationen in Fachzeitschriften und populärwissenschaftlichen Magazinen	29
5.2 Teilnahme an Tagungen und Konferenzen	30
5.3 Dissertationen	31
5.4 Master- und Bachelorarbeiten	32
5.5 Preise und Auszeichnungen	34
5.6 PR-Aktionen, Teilnahme von IMtech oder IMtech-Mitgliedern an der ÖA der Hochschule, Mitarbeit in externen Gremien	34
5.7 Laborposter	37
6. Das Beste zum Schluss	45

1. Mitglieder und Mitarbeiter des IMtech

Professorinnen und Professoren

Prof. Dr. Hans-Dieter Bauer (amtierender Direktor)
Prof. Dr. Markus Bender (stellvertretender Direktor)
Prof. Dr. Andreas Brensing
Prof. Dr. Jörg Heibel
Prof. Dr. Klaus Michael Indlekofer
Prof. Dr. Wolfgang Kleinekofort
Prof. Dr. Stefan Kontermann
Prof. Dr. Silvia Mittler (nicht mehr an der HSRM tätig)
Prof. Dr. Uwe Langbein (im Ruhestand)
Prof. Heinrich Reisinger (im Ruhestand)
Prof. Dr. Bernd Schweizer
Prof. Dr. Günter Stein (im Ruhestand)
Prof. Dr. Friedemann Völklein (im Ruhestand)

Wissenschaftliche und technische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Hans Jürgen Beck, technischer Mitarbeiter (im Ruhestand)
Dr. Mario Dürndorfer (nicht mehr an der HSRM tätig)
Rainer Groß, wissenschaftlicher Mitarbeiter (im Ruhestand)
Jonas Kuhl, Doktorand
Christina Kunz, technische Mitarbeiterin
Ingo Lebershausen, Laboringenieur
Christian Marx, Laboringenieur
Patrick McKearney, Doktorand
Andreas Meier, wissenschaftlicher Mitarbeiter
Simon Paulus, Doktorand
Dr. Heiko Reith (seit 2015 IFW Dresden)
Muhammad Saad Khan, wissenschaftlicher Mitarbeiter
Dr. Sören Schäfer, wissenschaftlicher Mitarbeiter (Postdoc)
Dr. Jana Recht (seit 2018 P&G, Kronberg)
Dr. Matthias Schmitt (seit 2011 Effgen Schleiftechnik, Herrstein)
Martin Sommer, wissenschaftlicher Mitarbeiter
Sven Stille (seit 2008 Leybold Optics, Alzenau)
Dr. M. Wagner (seit 2018 GSI Helmholtzzentrum, Darmstadt)



Abb. 1.1: IMtech-Gruppenbild mit Dame; v.l.n.r. A. Meier, I. Lebershausen, M. Bender, S. Kontermann, H.-D. Bauer, S. Schäfer, C. Kunz, B. Schweizer, J. Kuhl.



Abb. 1.2: Der traditionelle Jahresabschluss: IMtech-Crew beim Weihnachtsessen im Weinhaus Schaab-Louis, Rüsselsheim 2022.

2. Wissenschaftlicher Beirat des Imtech

Prof. Dr. Michael Huth
Goethe-Universität Frankfurt/Main
Physikalisches Institut
michael.huth@physik.uni-frankfurt.de

Dr. Gerrit Stratmann
Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst, Wiesbaden
Gerrit.Stratmann@hmwk.hessen.de

3. Profil / Forschungsschwerpunkte

3.1 Neues Direktorium des IMtech

Die akademische, praxisbezogene Lehre ist seit jeher Kernaufgabe der Fachhochschulen bzw. der Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW), wie man sie heute nennt. „Forschung“, was immer man darunter versteht, zu betreiben, war zwar stets willkommen, nicht jedoch als Dienstpflicht im Hessischen Hochschulgesetz verankert. Seit einigen Jahren gehört die Forschung allerdings auch zum Pflichtkanon der Professor:innen an HAWs. Nun, „die Physik“, wie die Gruppe der Lehrenden in Rüsselsheim gemeinhin genannt wird, welche v.a. die Studiengänge Physikalische Technik, Angewandte Physik und Interdisziplinäre Ingenieurwissenschaften trug und trägt, war schon immer forschungsaffin. Zudem galt ja nach der Einführung des Bachelor/Master-Systems in Deutschland: Master-Studiengänge nur dann, wenn geforscht wird, Forschung nur, wenn auch Master-Studiengänge angeboten werden! Gesagt, getan: Der Master-Studiengang Angewandte Physik wurde sogar erst dann akkreditiert, als Kooperationsverträge mit vier Forschungsinstituten vorgelegt werden konnten. Das Einwerben von Drittmitteln gehörte ab da zum täglichen Brot der professoralen Dozierenden, die sich dem Thema Forschung verpflichtet fühlten! Sie hätten sich wie an einer „richtigen“ Universität fühlen können, hätte sich da nicht bald ein schwerer Geburtsfehler des Systems bemerkbar gemacht: Professorinnen und Professoren an HAWs haben nach wie vor ein Lehrdeputat von 18 SWS zu erfüllen, können nur auf einen vergleichsweise dünnen akademischen Mittelbau aus Doktorandinnen und Doktoranden, zurückgreifen, haben kaum die Unterstützung von Sekretariatspersonal und auch die Zahl technischer und wissenschaftlicher Mitarbeiter war in diesen Zeiten rückläufig! Nicht einmal die Leitung eines Instituts wie des IMtech wird mit Deputatsreduktion honoriert.

So ist es denn nur allzu verständlich, dass Stefan Kontermann, der auf der IMtech-Mitgliederversammlung im Dezember 2019 zum Direktor des IMtech gewählt wurde, sein Amt im Dezember 2021 aufgrund der immensen Arbeitsbelastung niederlegte. Die Fülle der von ihm eingeworbenen Projekte spiegelt sich im vorliegenden Bericht wider. Und auch in der Größe der Photonik-Gruppe, der mittlerweile eine stattliche Anzahl von Laboringenieuren, Doktoranden und sogar Postdocs angehören. Sein Stellvertreter Hans-Dieter Bauer übernahm die IMtech-Leitung zunächst interimswise, bis auf der außerordentlichen Mitgliederversammlung am 30. März 2022 ein neues Direktorium gewählt und am 15. April 2022 vom Dekanat bestätigt wurde. Seither bilden Hans-Dieter Bauer und Markus Bender das Direktorium des IMtech.

3.2 Aufgaben und Perspektiven in Forschung und Lehre

Als besondere, uns allen noch völlig neue Herausforderung kam COVID-19 hinzu. Die Pandemie verlangte eine grundsätzliche Umstrukturierung des Lehrbetriebs. Wo immer möglich, wurden die Lehrveranstaltungen nun vollständig auf die Verwendung von Powerpoint-Präsentationen umgestellt, online abgehalten und zusätzlich vertont, sodass ein Präsenzünterricht umgangen und die Vorlesung von den Studierenden auch mehrfach angehört werden konnte. eBooks wurden angeschafft und „Home Office“ war fortan bei Lehrenden wie Lernenden sehr angesagt, mit allen Vor- aber auch Nachteilen. Trickreichere Lösungen allerdings mussten für Laborveranstaltungen und Praktika gefunden werden - und natürlich für die Prüfungen! Kurz: „Corona“ verursachte deutlichen Mehraufwand, Umgewöhnung und oftmals eine Umstellung der Arbeitsweise. Ganz abgesehen davon, dass auch im privaten Bereich neue und ungewohnte Anforderungen zu meistern waren.

Eine Problematik, die sich den vom IMtech-Personal mitgetragenen Studiengängen (ehemals Physikalische Technik, heute Bachelor Angewandte Physik, Master Angewandte Physik) schon lange entgegenstellt, ist der Rückgang der Studierendenzahlen. Zwar gilt immer „Qualität geht vor Quantität“, aber im Hinblick auf die Forschung „im Hause“, also in den eigenen Labors, sind Bachelor- und Master-Abschlussarbeiten die einzige Möglichkeit, diese voranzutreiben, wenn man nicht erfolgreich (Drittmittel-) Projekte einwirbt, die wenigstens eine Doktorandin oder einen Doktoranden finanzieren. Eine Verstetigung eines Forschungsthemas, wobei die Erfahrungen und das Wissen von Absolvent zu Absolventin weitergegeben werden, ist fast unmöglich, wenn sich die Dauer der Abschlussarbeiten nicht überlappt. Und zudem verlassen viele Kandidatinnen und Kandidaten den Lehrbetrieb, um ihre Abschlussarbeit „extern“ anzufertigen, also in einem Betrieb oder einer Institution außerhalb der Hochschule. Sie sind für die „interne“ Forschung und Entwicklung quasi verloren. Um hier Missverständnisse zu vermeiden: Wenn unsere Studierenden auf diese Weise ihren Neigungen nachgehen können und womöglich ihren zukünftigen Beruf bzw. Arbeitgeber finden, so ist das für alle ein schöner und willkommener Erfolg!

So galt und gilt für die HAWs nach wie vor: Unsere Lehre muss aktuell sein und die Perspektiven unserer Forschungsthemen müssen gleichzeitig Perspektiven für unsere Absolventinnen und Absolventen werden. Wir fangen dabei auch bereits „ganz unten“ an: Indem Professorinnen und Professoren in die Schulen gehen und dort aktiv Werbung machen

für unsere Studiengänge und für das „Studienmodell HAW“. Und indem wir Schülerpraktika an unserer Hochschule durchführen – alles ohne Deputatsermäßigung natürlich.

3.3 Ausstattung: Neue Geräte und Technologien

- Hochleistungs-fs-Lasersystem Amplitude Tangor 100, Wellenlänge 1030 nm, Pulsdauer 800 fs, maximale mittlere Leistung 100 W, maximale Pulsenergie 500 μ J bei 200 kHz, maximale Repetitionsrate 41 MHz (Abb. 3.3.1)
- Kompressionsmodul Amplitude Compress 10, Kompression von 800 fs auf 100 fs, Transmission von 95 % bei 100 W Eingangsleistung (Abb. 3.3.1)
- Laser-Scansystem mit integriertem Strahlformungsmodul Pulsar Photonics Flexible Beam Shaper, maximale mittlere Eingangsleistung 100 W, maximale Scangeschwindigkeit 5.000 mm/s, Strahlformung durch LCoS-Phasenmodulation (Liquid Crystal on Silicon), kamerabasierte Strahllagenstabilisierung (Abb. 3.3.1)



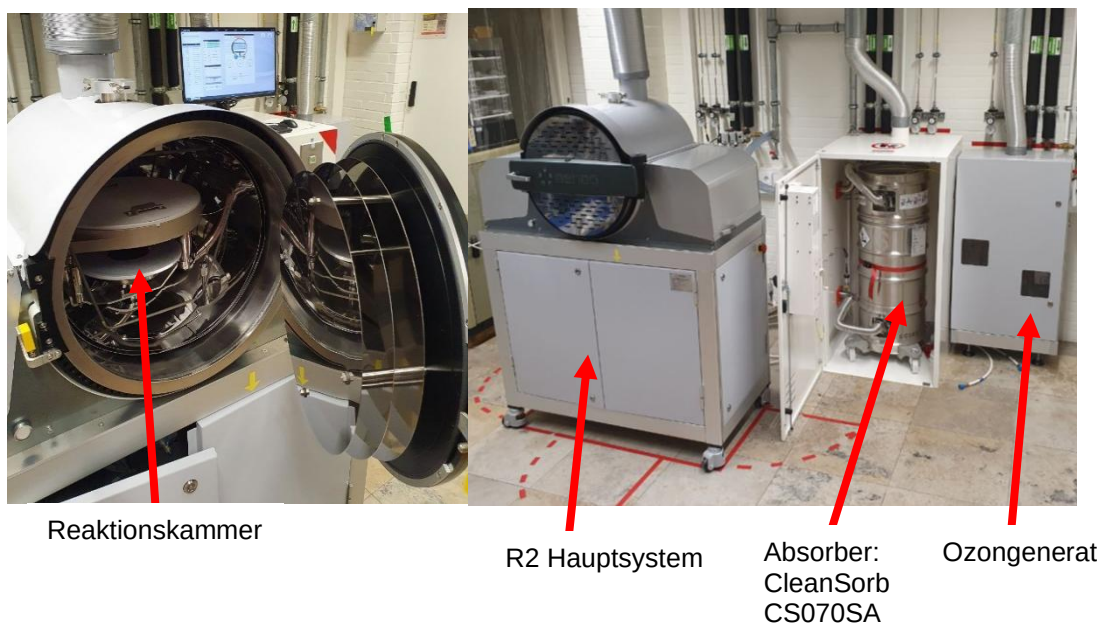
Abbildung 3.3.1: Links: Hochleistungs-fs-Lasersystem mit Kompressionsmodul. Rechts: Scansystem mit integriertem Strahlformmodul

- Amplitude Satsuma Ultrakurzpuls-Laserstrahlquelle mit variabler Repetitionsrate und Pulsdauer; Wellenlänge 1030 nm, mittlere Ausgangsleistung 5 W, minimale Pulsdauer 170 fs, maximale Pulsenergie 10 μ J, maximale Repetitionsrate 40 MHz (Abb. 3.1.2)



Abbildung 3.1.2: Amplitude Satsuma Laser 5W

- Beneq R2-105 Atomic Layer Deposition (ALD) System; Es dient der thermischen Abscheidung von Al_2O_3 – und SiO_2 – Schichten bei Substrattemperaturen von 25 bis 400°C. Reaktionskammer (Durchmesser 300mm, 420mm hoch) für Einzelwafer, 8-fach-Waferkassette und 3D Objekte. Einsetzbare Precursor-Gase: TMA, BDEAS. Ozongenerators für die Abscheidung von SiO_2 .



Reaktionskammer

R2 Hauptsystem

Absorber:
CleanSorb
CS070SA

Ozongenerat

Abbildung 3.1.3.: ALD-System Beneq, installiert in Raum U58

4. Forschungsprojekte / Kooperationen

4.1 Metallschäume für Sorptionsfallen zur Gasreinigung (Markus Bender)

Projektpartner: GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Darmstadt; Mac Panther Materials GmbH, Bremen; ReiCat GmbH, Gelnhausen

Projektlaufzeit: 01.04.2021 – 30.04.2022

Projektförderung: Förderlinie „Forschung für die Praxis“ des HMWK

Im Projekt Metallschäume für Sorptionsfallen zur Gasreinigung (SorpTrap) wurde untersucht, inwieweit Metallschaum-Sorptionsfallen bislang verwendete Zeolith-Fallen ersetzen bzw. deren Anwendungsfelder erweitern können. Hierzu mussten verschiedene Teilaspekte untersucht werden, die in verschiedene Arbeitspakete aufgeteilt waren:

AP1: Untersuchung der Leitwerte anhand verschiedener Probenröhrchen. Neben einem Leerrohr als Referenz wurden sogenannte Sorptionspatronen mit Metallschäumen verschiedener Porengrößen hergestellt. In einem standardisierten Setup wurde der Leitwert mit der Druckabfallmethode gemessen. Abb 4.1.1 zeigt die hergestellten Probenröhrchen, sowie eine kommerzielle Zeolithfalle (links). Rechts dargestellt die gemessenen Leitwerte für viskose und Knudsenströmung. Die nicht dargestellten Werte der beiden kommerziellen Zeolithfallen liegen unwesentlich unter denen der Metallschaumfallen. Somit konnte gezeigt werden, dass Metallschaum-Sorptionsfallen bezüglich des Strömungsleitwertes keinen Nachteil gegenüber herkömmlichen Zeolithfallen haben.

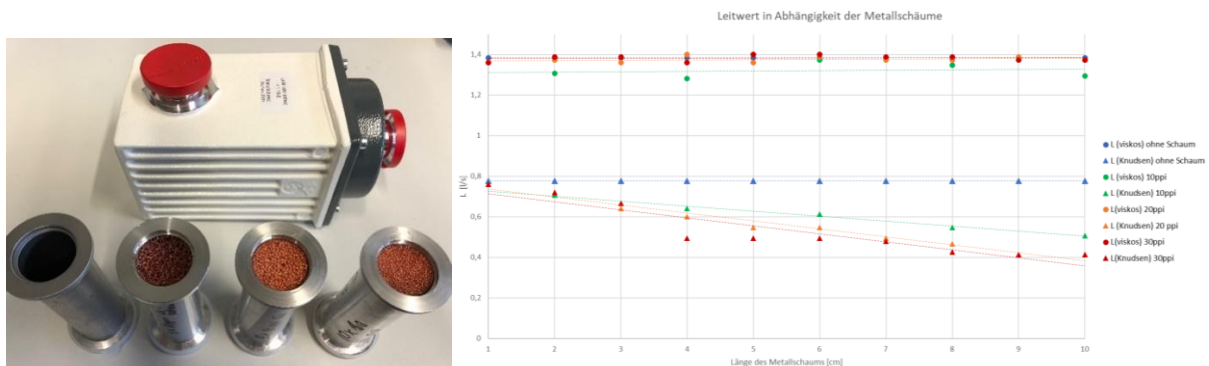


Abb. 4.1.1: Probenröhrchen und Zeolithfalle (links); Leitwertmessung verschiedener Metallschäume (rechts).

AP 2: Temperierung der Sorptionspatronen und Messung der Sorptionseffizienz als Funktion der Temperatur. Die Sorptionspatronen wurden mit Messing-Halbschalen umfasst, welche wiederum mit Kühlröhrchen versehen und an ein Kühlaggregat angeschlossen waren. Damit wurden Temperaturen zwischen +20°C und – 25°C realisiert.

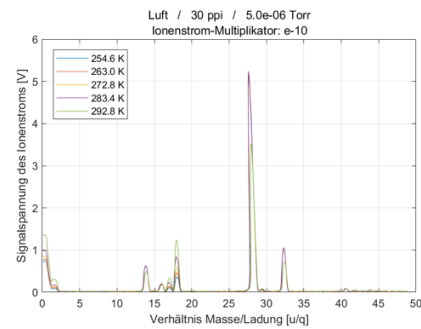


Abb. 4.1.2: Messaufbau zum Temperieren der Kupferschaum-Proberöhrchen (links). Exemplarisches Spektrum, gemessen mit dem 30 ppi Kupferschaum bei Lufteinlass (rechts).

Das exemplarisch dargestellte Spektrum für Luft (Abb. 4.1.2 rechts) zeigt die Sorptionseffizienz für Wasser ($u/q = 18$). Dies kann zu 90% aus dem Restgas gefiltert werden. Es wurden insgesamt drei verschiedene Kupferschäume mit Luft, CO_2 und Ar als Testgas vermessen, jeweils bei fünf verschiedenen Temperaturen. Die Auswertung der Daten ist sehr umfangreich und noch immer nicht abgeschlossen. Die Sorptionseffizienz konnte aber bereits nachgewiesen werden.

AP 3: Vergleichsmessungen mit kommerziellen Zeolithfallen. Die Ergebnisse werden in den anderen Arbeitspaketen beschrieben.

AP 4: Weiterentwicklung der Peltier-gekühlten Metallschaumfalle. Die bereits existierende, kompakte Schaumfalle mit Peltier-Kühlung wurde wieder instandgesetzt und die Kühlung getestet. Der Test verlief jedoch nicht zufriedenstellend, siehe Abb. 4.1.3. Bei 75% der maximalen elektrischen Leistung von 50W pro Element wurde eine Fallentemperatur um die 0°C erreicht. Auch wenn die Gasreinigung bei diesen Temperaturen bereits funktioniert, sind Temperaturen unter -10°C wünschenswert (vgl. Abb. 4.1.3 rechts).

Aufgrund der unbefriedigenden Kühlleistung wurde eine Kühlung entwickelt, die mittels durchströmendem Kühlmedium arbeitet, siehe Abb 4.1.3 rechts. Die Bauteile befinden sich noch in der Fertigung.

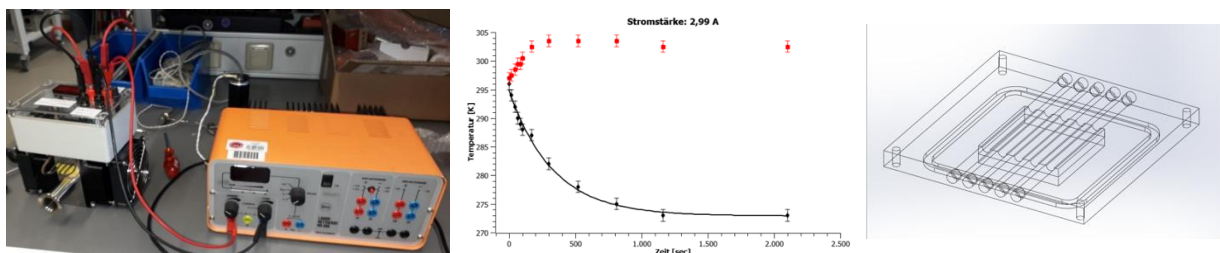


Abbildung 4.1.3: Aufbau zum Testen der Peltierkühlung der Falle (links). Messung der Temperatur von Kalt- und Warmseite bei 3A Strom in den Peltierelementen (Mitte). Neues Kühlkonzept mittels eines von Kühlmedium durchströmten Deckels, der die innere Falle kühlt (rechts).

AP 5: Konzeption eines Messaufbaus zur Gastrennung. Aufbauend auf AP2 konnte ein Konzept zur Gastrennung entwickelt werden. Abb. 4.1.4 zeigt den prinzipiellen Aufbau. Das Testgas durchströmt einen Aufbau aus mehreren Fallen, die von hoher Temperatur (T_1) bis niedrige Temperatur (hier T_n) verlaufen. Entsprechend der Temperaturen wird eine Komponente des Testgases gezielt ausgefroren, die restlichen Komponenten strömen weiter und werden subsequent in den folgenden Fallen ausgefroren. Nach der Trennungsphase werden die horizontalen Ventile geschlossen und die einzelnen Fallen aufgetaut. Danach können die entsprechenden Gaskomponenten an den vertikalen Ventilen abgegriffen werden.

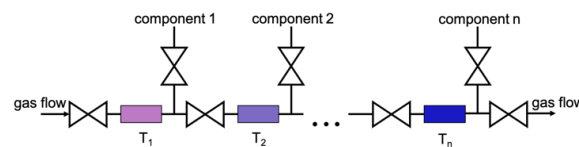


Abbildung 4.1.4: Konzept für eine Apparatur zur Gastrennung basierend auf mehreren kaskadierten temperierten Schaumfallen.

Gesamtfazit: Die verschiedenen Messungen haben gezeigt, dass sich gekühlte Metallschäume prinzipiell zur Gasreinigung eignen und es kann davon ausgegangen werden, dass eine Auftrennung von Testgasen in verschiedene Komponenten möglich ist. Im Vergleich zu Zeolithfallen ist jedoch der technische Aufwand hoch, sodass temperierte Metallschaumfallen Nischen-Produkte bleiben werden, die auf Anfrage gefertigt werden. Während der Projektlaufzeit erreichte uns eine Anfrage eines Geräteentwicklers über die Transferagentur Mitteldeutschland (TransMIT). Das vorliegende Patent zur Peltier-gekühlten Sorptionsfalle (ohne Metallschäume) wurde aktuell auf Deutschland reduziert.

4.2 Entwicklung und Integration von kleinen und präzisen MEMS-Mikrosensoren zur selektiven Wasserstoffmessung (Markus Bender)

Projektpartner: Archigas GmbH, Frankfurt am Main, Prof. Dr. habil. Friedemann Völklein, Niedernhausen

Projektlaufzeit: 01.04.2022 – 31.03.2023

Projektförderung: LOEWE 3: KMU

Die nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung und die geplante Reduzierung der Erdgasabhängigkeit strebt bis 2030 einen deutlich höheren Wasserstoffanteil als Energieträger in den Sektoren Industrie und Mobilität an. Gasgemische müssen in Zukunft

kostengünstig analysiert werden. Dies ist mit der existierenden Gasmesstechnik nur bedingt möglich. Besonders für die Exploration von natürlichen Wasserstoff- und Heliumvorkommen muss die Gasanalyse mehrere Voraussetzungen erfüllen:

- Eine kontinuierliche, stabile Langzeitmessung in unbekannten Gasgemischen durchführen,
- Kostengünstig, langlebig, selektiv und genau sein.

Im gemeinsamen Projekt mit der Firma Archigas GmbH wurde ein Sensor konzipiert, der diese Anforderungen erfüllen soll. Der gemeinsam entwickelte MEMS-Sensor soll bei einer erfolgreichen Validierung des Prototyps in industriellen und wissenschaftlichen Anwendungen in großen Stückzahlen eingesetzt werden.

Zur Drucklegung des vorliegenden Jahresberichtes wurde eine erste Charge der Sensoren hergestellt und die Wafer vereinzelt. Damit ist von 6 definierten Arbeitspaketen AP1 vollständig und die APs 2 und 3 zum Großteil abgeschlossen. Aktuell wird das Packaging der Chips vorbereitet um sie anschließend den Performance-Tests zu unterziehen. Ein dedizierter Messplatz zur Herstellung von Gasgemischen befindet sich im Aufbau (APs 4 und 5). Es wird erwartet, dass Anfang 2023 die erste Serie Sensoren im Standard-Testsystem betrieben wird und Messdaten evaluiert werden.

4.3 Desorptionsmessungen von Beschleuniger-relevanten Oberflächen (Markus Bender)

Desorptionsprozesse verschlechtern das Vakuum in Schwerionen-Beschleunigern. Der durch den Strahl hervorgerufene Druckanstieg wird dynamisches Vakuum genannt [1]. Es beeinflusst die Strahlqualität, vor allem aber die maximale Intensität und Lebensdauer des Ionenstrahls. Bei Stößen mit Restgasmolekülen ändern die Ionen ihren Ladungszustand. Die umgeladenen Ionen folgen in den Ablenkmagneten nicht mehr ihrer Sollbahn und treffen mit ihrer vollen Energie unter streifendem Einfall auf die Strahlrohrwand. Durch den Energieeintrag der auftreffenden Ionen werden große

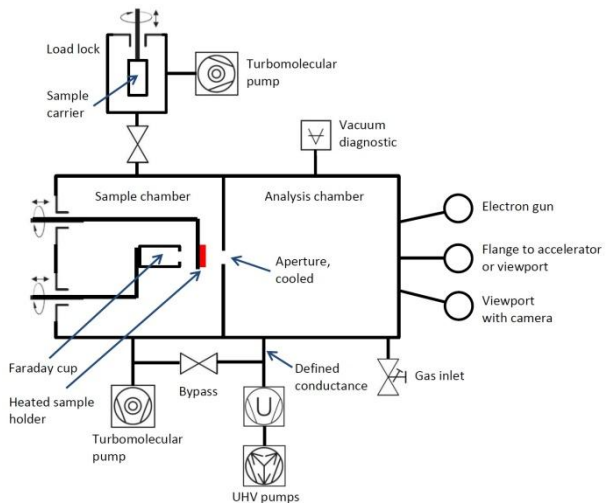


Abb. 4.3.1: Schemazeichnung des Setups zur Desorptionsmessung [3]

Mengen an Gas freigesetzt. Dieser Vorgang wird Ionen-induzierte Desorption genannt. Ein einzelnes Ion kann im schlimmsten Fall mehrere 10.000 Gasmoleküle freisetzen [2]. Dies führt zu lokalen Druckanstiegen im Teilchenbeschleuniger. Es ist ein sich selbst verstärkender Prozess, da die erhöhte Gaskonzentration die Wahrscheinlichkeit für die Umladungsprozesse erhöht. Für zukünftige Beschleuniger wie FAIR, eine Forschungsanlage die aktuell am GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung in Darmstadt gebaut wird, sind Strahlströme geplant, die mehrere Größenordnungen über der Intensität existierender Beschleuniger liegen. Um diese hohen Intensitäten zu erreichen, müssen neue Maßnahmen gefunden werden, um die Ionen-induzierte Desorption zu vermindern. Um Lösungen für dieses Problem zu finden und den Mechanismus der stimulierten Desorption genauer zu untersuchen, haben wir ein neues Setup aufgebaut, mit dem Desorptionsmessungen bei verschiedenen Stimuli durchgeführt werden können. Messungen zur thermischen, Elektronen-induzierten und Ionen-induzierten Desorption sind möglich.

Das Setup besteht aus zwei Vakuumkammern, die durch eine Blende voneinander getrennt sind. An die „Analyse-Kammer“ sind die Vakuumdiagnose (Extraktor-Vakuummeter und Quadrupol-Massenspektrometer), eine 10 keV Elektronenquelle und Flansche u. a. für die Verbindung zum Teilchenbeschleuniger montiert. Der Basisdruck in der Analyse-Kammer beträgt typischerweise $3\text{E-}11$ mbar. In der zweiten Kammer, „Proben-Kammer“ genannt, befinden sich ein fahr- und heizbarer Probenhalter, ein Faraday Cup und die Verbindung zu einer Probenschleuse. Der Aufbau ist schematisch in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt. Für die Desorptionsmessung wird der Probenhalter in direkten Kontakt mit der Blende gebracht. Da die Probenfläche größer als die Blende ist, wird die Blende vollständig verschlossen. Das von der Probenoberfläche desorbierende Gas gelangt dadurch in die Analysekammer, während Gas, das z.B. vom Probenhalter desorbiert in der Probenkammer verbleibt und die Messung nicht beeinflusst. Um während der Messungen zu verhindern, dass sich die Blende aufheizt und selbst Gas desorbiert, ist diese wassergekühlt. Außerdem ist der innere Teil der Blende aus einer Keramik mit geringer Wärmeleitfähigkeit gefertigt.

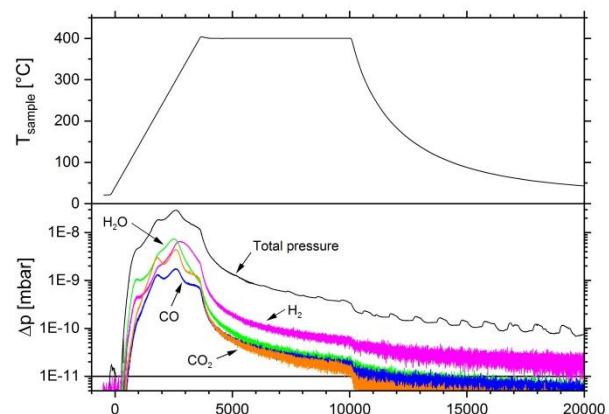


Abbildung 4.3.1: Temperatur und Druckverlauf bei Messung der thermischen Desorption [3]

Zur Messung der thermischen Desorption wird die Probe mit einer linearen Temperaturrampe (6K/min) von Raumtemperatur auf 400 °C aufgeheizt und dabei der Totaldruck und die Partialdrücke gemessen. Abbildung 4.3.1 zeigt den typischen Druckverlauf. Nach dem Aufheizen wird die Temperatur 2-3 h auf 400 °C gehalten. Wenn der Druck um ca. 2 Größenordnungen abgefallen ist, wird der Heizer ausgeschaltet und die Probe kühlt ab. Um die desorbierte Gasmenge quantifizieren zu können, wird der Druck ab einer Starttemperatur von 40 °C über einen Zeitraum von 6000 s integriert. Zur Untersuchung der Elektronen-

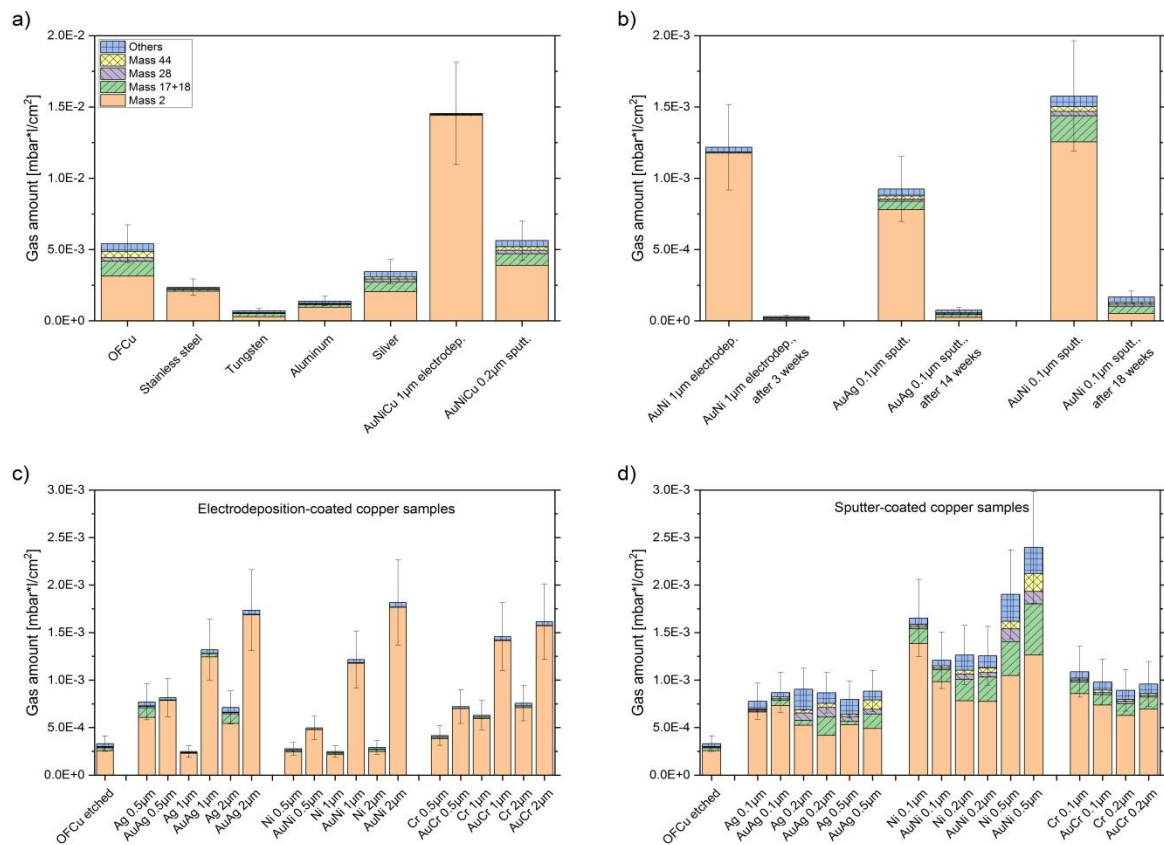


Abbildung 4.3.3: Ergebnisse der Messungen zur thermischen Desorption [3]

induzierten Desorption wird der Druckanstieg bei Bestrahlung der Probe mit 4 keV Elektronen für 5 min gemessen. Der Strahlstrom ($1 \mu\text{A} \pm 5 \%$) wird vor und nach der Probenbestrahlung mit dem Faraday Cup gemessen.

Einige Ergebnisse der thermischen Desorptionsmessungen sind in Abbildung dargestellt. Das desorbierte Gas besteht vor allem aus Wasserstoff, weitere Bestandteile sind H_2O , CO und CO_2 . Es wurden verschiedene Materialien untersucht (Abb. 4.3.3a). Außerdem wurden Goldbeschichtete Kupferproben mit verschiedenen Diffusionsbarrieren (Ag, Cr, Ni) und Schichtdicken für zwei verschiedene Beschichtungsmethoden (Galvanische und Sputter-Beschichtung) verglichen (Abb. 4.3.3c und d). Für einige Probe wurde eine zweite

Desorptionsmessung einige Wochen nach der ersten durchgeführt (Abb. 4.3.3b). Bei der zweiten Messung ist die desorbierte Gasmenge fast eine Größenordnung kleiner als bei der ersten Messung. Das weist darauf hin, dass Ausheizen unter den beschriebenen Bedingungen eine gute ex-situ Vorbehandlungsmethode ist, um nicht-Oberflächen-dominierte Desorption (thermisch und Ionen-induziert) langfristig zu senken, sogar bei Lagerung der Beschleunigerkomponenten an Atmosphäre. Mehr Details zum experimentellen Aufbau und den Messergebnissen sind in [3] zu finden.

Referenzen:

- [1] Bozyk, L.; Spiller, P., Proceedings of IPAC2017, Copenhagen, Denmark (2017) 2201–2204
- [2] M. Bender, Pressure instabilities in heavy ion accelerators in O. B. Malyshev (ed.) Vacuum in Particle Accelerators, Wiley-VCH (2019), ISBN: 978-3-527-34302-7
- [3] Velthaus, V.; Tietz, B.; Trautmann, C.; Völklein, F.; Bender, M., Vacuum. **194** (2021) 110608

4.4 Femtosecond laser sulfur hyperdoped black silicon for infrared photonic applications (Stefan Kontermann)

Projektpartner: InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik, Dresden, Photonics Hub GmbH, Wörrstadt, Aalto University, Dep. Of Electronics and Nanoengineering, Espoo, Finland, Beneq Oy, Thin Film Solutions, Espoo, Finland, ElFys Oy, Black Silicon Photodiodes, Espoo, Finland, Noptel, Optoelectronic Distance and Position Sensor, Oulu, Finland

Projektlaufzeit: 01.05.2020 – 31.12.2023

Projektförderung: BMBF: Internationalisierung von Spitzenclustern, Zukunftsprojekten und vergleichbaren Netzwerken; FKZ: 03INT071AA

Die Funktionalisierung von Silizium ist eine Methode, um neue Materialeigenschaften zu erhalten. Durch Bestrahlung von Silizium mit hochenergetischen fs-Laserpulsen in einer SF₆-haltigen Atmosphäre entsteht gleichzeitig eine Oberflächenstruktur aus bis 20 µm hohen Mikrokegeln, die das Licht zwischen den Kegeln einfängt, und eine oberflächennahe schwefelhyperdotierte Si-Schicht. Diese Hyperdotierung führt zu Energiezuständen innerhalb der Bandlücke von Silizium (bei etwa 1.2 µm), die eine Absorption von Photonen im sub-Bandlückenbereich von nahezu 100% ermöglichen.

Photodetektoren, die im Nahinfrarotspektralbereich (NIR) (1-5 μm) arbeiten, sind für spektroskopische Anwendungen und IR-Wärmebilder von großer Bedeutung, da diese Wellenlängen innerhalb des atmosphärischen Fensters liegen und die Absorption in der Atmosphäre minimal ist. Dieses mit fs-Laserpulsen schwefelhyperdotierte Silizium (fs-hSi) zeichnet sich durch eine hohe Absorption im NIR-Bereich aus und ist daher ein vielversprechendes Material, das teure und häufig schwierig abzuschneidende IR-Sensormaterialien wie InGaAs, InSb oder HgCdTe ersetzen könnte.

Im Rahmen des Projekts werden neben dem Laserprozess zur Herstellung von fs-hSi auch Metallisierungsverfahren zur ohm'schen Kontaktierung von fs-hSi entwickelt und untersucht. Zum Laserprozess wurde eine Parameterstudie durchgeführt, wobei der Einfluss von Spitzenfluenz und Pulsdichte bei der Hyperdotierung untersucht wurde. Die gewählten Parameterkombinationen führen zu einer makroskopisch, d.h. auf einer Millimeterlängenskala, homogenen Oberflächenstrukturierung und Hyperdotierung des Materials. Die Absorption im infraroten Spektralbereich, die Größe und Periodizität der Oberflächenstrukturen, sowie der Anteil von amorphen und polykristallinen Siliziumphasen hängen stark von Laserparametern ab. Der Laserprozess wurde derart optimiert, dass die Absorption im infraroten Spektralbereich und die Kristallinität maximal werden. Drei Parameterkombinationen als Standardparameter für fs-hSi mit geringer, moderater und hoher Oberflächenrauigkeit wurden so definiert.

Tabelle 1: Laserstandardparameter für REM-Aufnahmen von fs-hSi fs-hSi mit geringer, moderater und hoher Oberflächenrauigkeit.

Oberflächenrauigkeit	Pulsdichte N	Spitzenfluenz Φ_0 /J/cm ²
Gering	20	0,6
Moderat	100	1,2
Hoch	500	1,2

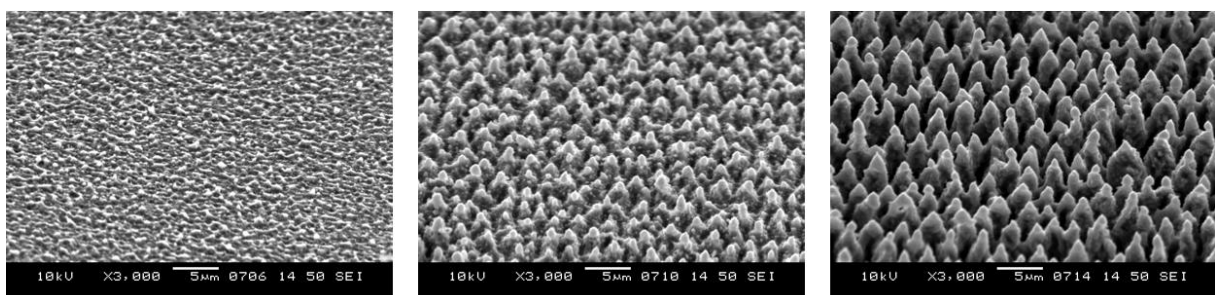


Abbildung 4.4.1: REM-Aufnahmen von fs-hSi, das mit optimierten Laserparametern hergestellt wurde: von links nach rechts geringe, moderate und hohe Oberflächenrauigkeit.

Im Rahmen des Projekts werden die Methoden zur optischen Charakterisierung der fs-hSi Proben verbessert. Hierbei unterstützt der Industriepartner InfraTec mit FTIR¹-Messungen im erweiterten Spektralbereich (1.25–12 µm). Die mikrometerskalige Oberflächenrauigkeit erschwert die genaue Vermessung des schwach absorbierten Lichts, da die induzierte Streuung höhere Anforderungen an den Messaufbau stellt. So sollen im Idealfall beispielsweise auch lateral gestreute Photonen zum Detektor gelangen. Zu diesem Zweck wurde an der HSRM ein Probenhalter gefertigt, der es erlaubt, die Proben innerhalb der Ulbricht-Kugel, welche das hemisphärisch gestreute Licht „einsammelt“, zu positionieren und somit den möglichen Messfehler zu reduzieren. Abbildung 4.4.2 zeigt die 3D-gedruckte Halterung mit einer (1 × 1) cm²-großen fs-hSi-Probe.

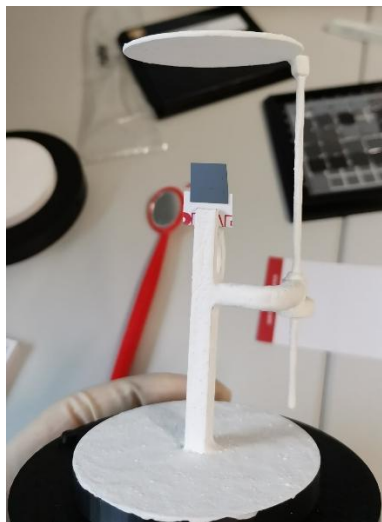


Abbildung 4.4.2: Halter zur Positionierung der zu vermessenden Proben im Zentrum der Ulbricht-Kugel.

Im Zuge der Diskussion der Versuchsergebnisse mit InfraTec wird auch dort an einer Verbesserung der Messmethode gearbeitet. Zur Beschreibung der Absorptionsspektren der fs-hSi-Proben wurde ein analytisches Modell konzipiert und weiterentwickelt. Dieses ermöglicht die optischen Eigenschaften der Proben – Lichtstreuungsvermögen einerseits und reine IR-Absorption andererseits – getrennt voneinander und in Abhängigkeit der Laserprozessparameter zu untersuchen. Die Ergebnisse wurden in der Fachzeitschrift *Journal of Applied Physics* publiziert.

Für die Metallisierung von fs-hSi sowie für die Charakterisierung dessen elektrischer Eigenschaften sowie des Kontaktwiderstands ist die Herstellung von ohmschen Kontakten

¹ Fourier-Transform-Infrarotspektrometer

notwendig. Am IMtech wurde ein IV-Messstand aufgebaut, mit dem eine qualitative Aussage über die Kontakte getroffen werden kann. Erste Metallisierungsexperimente zum Magnetron-Sputtern von Aluminium und einem Chrom-Silber-Schichtsystem haben gezeigt, dass nach einem HF-Dip mit diesem Verfahren ohmsche Kontakte auf fs-hSi erzeugt werden können. Abbildung 4.4.3 zeigt schematisch den Probenaufbau sowie aufgenommene, lineare und deshalb ohmsche, IV-Kennlinien zwischen zwei Vorderseitenkontakten aus gesputtertem Aluminium auf einer stark strukturierten fs-hSi Probe.

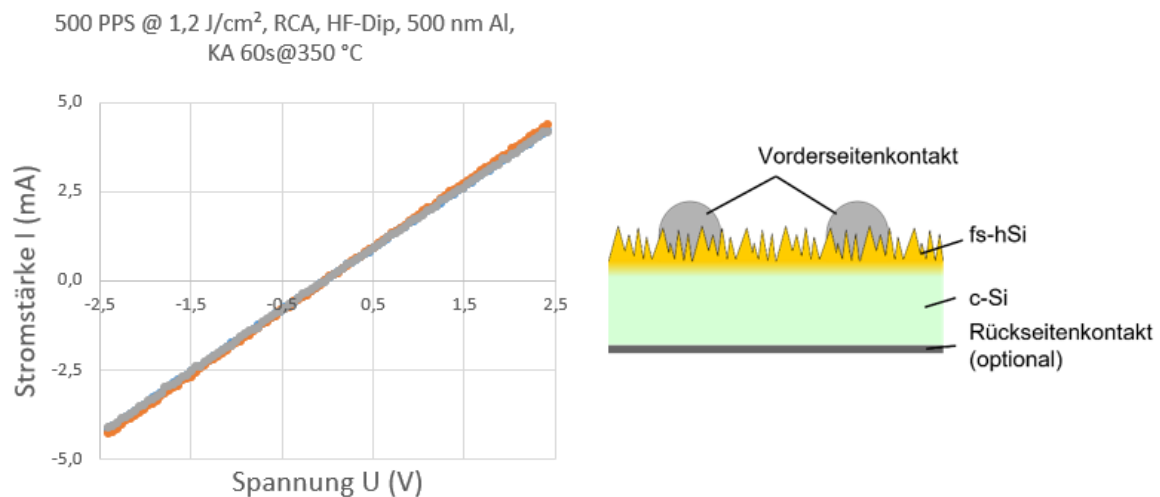


Abbildung 4.4.3: Links: IV-Kennlinie zwischen zwei Al-Kontakten auf stark strukturiertem fs-hSi. Schichtdicke $d = 500 \text{ nm}$. Reinigungssequenz: Organische Lösungsmittel, RCA-Reinigung, HF-Dip (1 %, 5 min). Rechts: Probenschema.

Weiterhin wurde ein Messstand für Van-der-Pauw und TLM-Messungen entwickelt. Aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen und den erarbeiteten Charakterisierungsmethoden werden die Reinigungs- und Metallisierungsprozesse als nächstes im Hinblick auf den Kontaktwiderstand optimiert, um die Ladungsträgerextraktion zu maximieren.

4.5 Advanced defect engineering and surface passivation for improving the carrier lifetime in femtosecond laser sulfur hyperdoped silicon (Stefan Kontermann)

Projektpartner: Georg-August-Universität, Göttingen

Projektlaufzeit: 01.01.2021 - 31.03.2025

Projektförderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft: DFG

Förderungsnummer: 429413061

Durch die Hyperdotierung von Silizium lässt sich die Absorption bis in den Sub-Bandlückenbereich ausdehnen. Daher sind hyperdotierte Halbleiter ein attraktiver Kandidat für Nahinfrarot-Photodetektoren und Zwischenband-Solarzellen. Unter Hyperdotierung versteht man das Einbringen von Dotierstoffen oder Verunreinigungen in ein Halbleitersubstrat, z. B. Silizium, oberhalb der Löslichkeitsgrenze. Ein typisches Hyperdotierungsverfahren sind ultrakurze Laserpulse, die das Substrat lokal bis zu einer Tiefe von einigen zehn bis einigen hundert Nanometern unter der Oberfläche aufschmelzen. Die Hyperdotierung kann genutzt werden, um tief in der Bandlücke von Silizium Störstellenniveaus zu erzeugen.

Langfristig wollen wir verstehen, wie man defekte Oberflächenschichten und schwefelhaltige Defekte vorteilhaft manipulieren kann, so dass die überschüssige Ladungsträgererzeugung unterhalb der Bandlücke bei Infrarot-Beleuchtung in Photovoltaik- und Sensoranwendungen elektronisch nutzbar ist. Im Rahmen des Projekts untersuchen und identifizieren wir geeignete Verfahren zur Beeinflussung schwefelhaltiger Defekte und defekter Oberflächenschichte. Da bei der Femtosekundenlaserbearbeitung mehrphasige Oberflächenschichten entstehen, die amorphe und verschiedene druckinduzierte kristalline Siliziumphasen enthalten, die zu einer nachteiligen Ladungsträgerrekombination führen, erforschen wir Wege, um diese defekten Oberflächenschichten zu kontrollieren, während die Erzeugung von Infrarot-Überschussladungsträgern über schwefelbezogene Energieniveaus erhalten bleibt. Zu den Methoden gehören die Anpassung von Laserbearbeitungsparametern wie Einzelschuss, Pulsfolgen und Doppelpulse, thermisches und Laserpuls-Aufschmelzen, partielles Rückätzen der Oberflächenschicht durch Nasschemie, IBE und RIE sowie die Passivierung der gelaserten Siliziumoberfläche mit Schichten und Stapeln aus SiO_2 und Al_2O_3 .

Bisher wurden weitreichende Untersuchungen zu verschiedenen Nachbehandlungsmethoden durchgeführt mit dem Ziel, die Kristallinität des Materials zu maximieren bei gleichzeitiger Erhaltung der Infrarotabsorption. Dabei wurden auch Experimente in Kooperation mit der Hochschule Darmstadt durchgeführt. Die Ergebnisse der Nachbehandlungsmethoden werden in einer Zeitschrift publiziert. Zur Interpretation der Ergebnisse wurden Materialeigenschaften aus den Absorptionskurven der Nachbehandelten Proben, mittels eines von Dr. Sören Schäfer zuvor entwickelten optischen Modells, extrahiert.

Der Projektpartner UGoe führte außerdem Charakterisierungen des Materials durch. Dazu gehören electron beam-induced current (EBIC) und transmission electron microscope (TEM) Messungen. Beispielhafte Messungen werden in Abbildung 4.5.1 gezeigt.

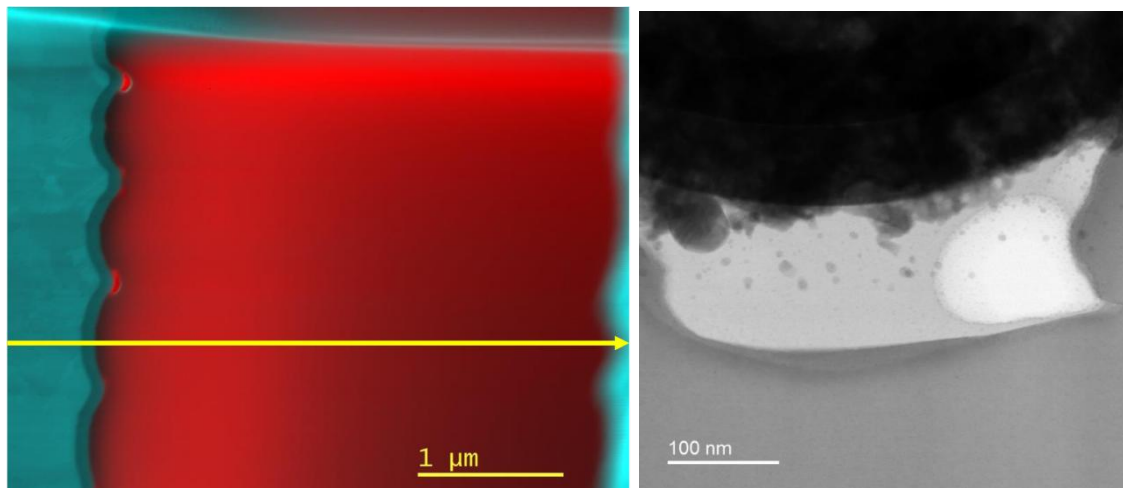


Abbildung 4.5.1: Die linke Abbildung zeigt den Querschnitt einer hyperdotierten Probe. Das Bild eines Rasterelektronenmikroskops (blau) ist überlagert mit dem EBIC Signal (rot). Die Probenoberfläche (links) ist mit Cr-Ag beschichtet. Ein Maximales EBIC Signal wurde bei einem Abstand von 800 nm zur Chromschicht gemessen, was darauf schließen lässt, dass sich dort der pn-Übergang befindet. Das rechte Bild zeigt die bright field scanning transmission microscope (BF-STEM) Aufnahme der gleichen Probe. Die Messungen wurden an der Universität Göttingen durchgeführt.

4.6 Hochtechnologie und Wirtschaftlichkeit: Studentisches Lernen an einer photonischen Wertschöpfungskette (Stefan Kontermann)

Projektpartner: Wiesbaden Business School, Hochschule RheinMain, Prof. Dr. Oliver Kunath

Projektlaufzeit: 28.05.2019 – 31.12.2021

Projektförderung: Gefördert durch zentrale Mittel der Hochschule RheinMain

Das Projekt „Photonische Wertschöpfungskette“ ermöglicht die Ausbildung von Studierenden und Promovierenden der HSRM an photonischen Wertschöpfungsketten. Die Studierenden lernen diese für verschiedene Skalierungsstufen technologisch zu erfassen, damit zu experimentieren und sie insbesondere in Abhängigkeit der Skalierung ökonomisch zu bewerten. Dies wird anhand zweier repräsentativer Beispiele von Femtosekunden (fs)-laserbasierten photonischen Wertschöpfungsketten realisiert, mit welchen neuartige optische und halbleitende Funktionswerkstoffe hergestellt und auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht

werden können. Damit kann der Markterfolg eines fs-laserbasierten Funktionswerkstoffs und dessen Einsatz in einer konkreten industriellen Anwendung ökonomisch bewertet werden.



Abbildung 4.6.1: Photonische Wertschöpfungskette I: Vom Ausgangsmaterial bis zur Anwendung, hier am Beispiel des Halbleiters Silizium, der mit einem fs-Laserprozess zum Funktionswerkstoff "fs-hSi" veredelt wird und als IR-Sensor Anwendung findet.

Die Technologiebasis der mit dem Projekt realisierten photonischen Wertschöpfungsketten in je zwei Skalierungsstufen steht an der HSRM auch über das Projekt hinaus zur Verfügung, um mit fortgeschrittenen Studierenden weitere Funktionsmaterialien zu realisieren und zu bewerten sowie den wissenschaftlichen Nachwuchs über Promotionen im Rahmen von Nachfolgeprojekten auszubilden.



Abbildung 4.6.2: Photonische Wertschöpfungskette B: Vom Ausgangsmaterial bis zur Anwendung, hier am Beispiel von Quarzglas, das mit einem fs-Laserprozess zu einem Phasen-DOE² veredelt wird und als lichtlenkendes Element Anwendung findet.

Die Mitarbeiter der AG-Photonik des Instituts für Mikrotechnologien der Hochschule RheinMain in Rüsselsheim haben die geplanten Investitionen zur Aufskalierung von photonischen Wertschöpfungsketten beschafft, aufgebaut und in Betrieb genommen. Nach der Erarbeitung des Stands der Technik (Stand 06/2020) sowie einer Marktanalyse wurde die Ultrakurzpuls-

² Diffraktives optisches Element

Laserstrahlquelle Tangor 100 und das Kompressionsmodul Compress 10 der Firma Amplitude Systèmes zur Erzeugung von Femtosekundenpulsen bei hohen mittleren Leistungen beschafft. Zudem wurde ein Ultrakurzpuls-Laserscansystem mit dem Strahlformungsmodul Flexible Beam Shaper der Firma Pulsar Photonics GmbH beschafft. Das Gesamtsystem, bestehend aus Laserstrahlquelle, Pulskompressionsmodul, Scansystem und Strahlformmodul, wurde auf dem schwingungsgedämpften optischen Tisch im Femtosekundenlaserlabor installiert und in Betrieb genommen. Alle Systeme wurden durch den Nachweis der geforderten Spezifikationen erfolgreich abgenommen.

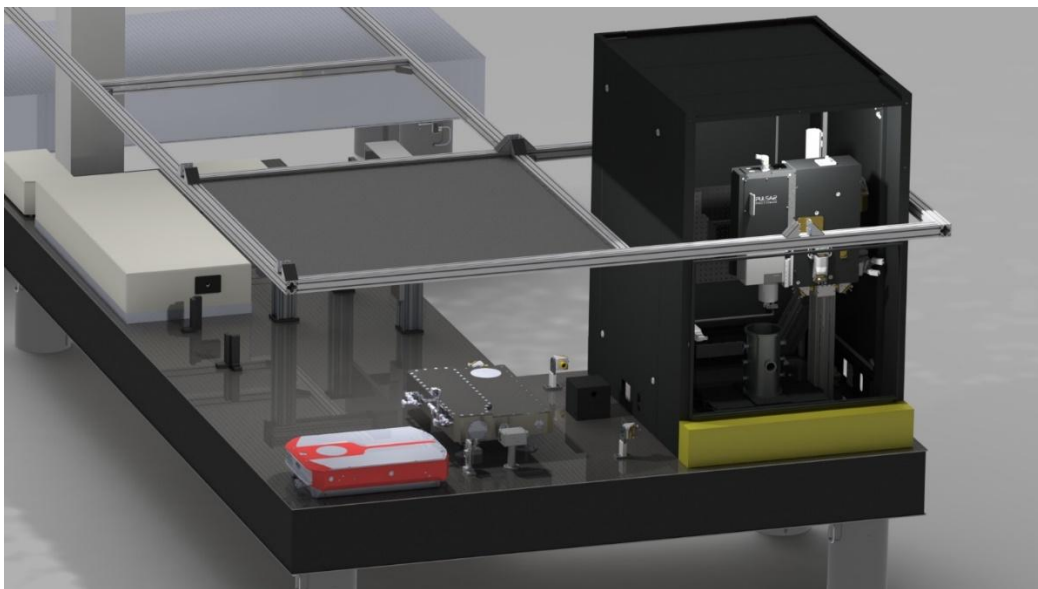


Abbildung 4.6.3: CAD-Modelle der Komponenten des Gesamtsystems auf dem optischen Tisch im Femtosekundenlaserlabor

In ersten Experimenten zur Prozessierung von Black Silicon (Wertschöpfungskette I, erste Skalierungsstufe) wurde der Einfluss der Wellenlänge untersucht, da sich diese zu bisherigen Studien unterscheidet. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde ein Parameterübertrag durchgeführt, wodurch die Vergleichbarkeit zukünftig generierter Forschungsergebnisse zu bisherigen Studien gewährleistet wird.

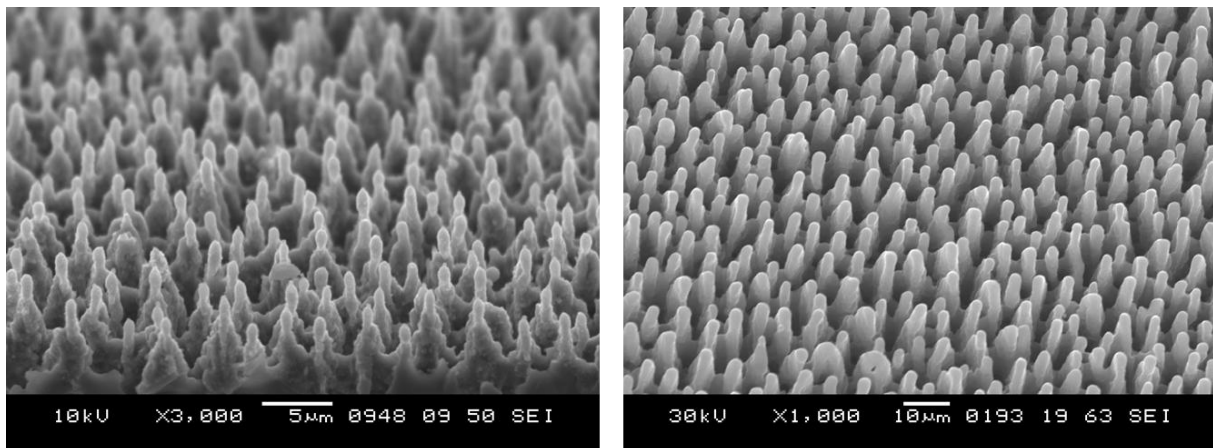


Abbildung 4.6.4: Rasterelektronenmikroskopaufnahmen von Black Silicon, das bei der zentralen Wellenlänge 800 nm (links) und 1030 nm (rechts) prozessiert wurde.

Durch eine erste Prozessoptimierung in der ersten Skalierungsstufe konnte bereits eine Prozessbeschleunigung um Faktor 34 erreicht werden. Der Einsatz des Strahlformmoduls ermöglicht eine weitere Reduzierung der Prozesszeit um Faktor 8. Diese weitere Skalierungsstufe wurde nicht innerhalb der Projektlaufzeit realisiert.

Der Parameterübertrag bei der Brechzahl-Modifizierung in transparenten Medien (Wertschöpfungskette II) wurde ebenfalls erfolgreich durchgeführt und somit die Vergleichbarkeit zu vorangegangenen Arbeiten gesichert. Hierbei wurde durch den Einsatz hoher Repetitionsraten eine Erhöhung der Prozessgeschwindigkeit um Faktor 100 bei Erhalt der Bearbeitungsqualität erreicht.

Mit der im Rahmen des Projekts beschafften Laserstrahlquelle und der zugehörigen optischen Systemtechnik konnte somit die Aufskalierung von Laserprozessen in der photonischen Wertschöpfung realisiert werden. Die Machbarkeit des Technologieübertrags in die Industrie von Ergebnissen der aktuellen Forschungsarbeiten im Bereich der Femtosekundenlaser-Materialfunktionalisierung zur Erzeugung von schwefelhyperdotiertem Black Silicon und zur Brechzahl-Modifikation von transparenten Medien wurde somit demonstriert. Weiterhin ist die Ausbildung von Studierenden im Rahmen von Abschlussarbeiten im Femtosekundenlaserlabor auf dem aktuellen Stand der UKP-Lasertechnik gewährleistet.

4.7 Diffraktiv optische Elemente zur Lichtlenkung in transparenten Medien (DiffraLicht) (Stefan Kontermann)

Projektpartner: LightFab GmbH, Aachen, LightTrans UG, Jena, Hochschule Harz,
Wernigerode

Projektlaufzeit: 01.01.2020 – 31.12.2023

Projektförderung: BMBF: FH-ProfUnt; FKZ: 13FH212PX8

Diffraktiv optische Elemente (DOEs) ermöglichen es, beliebige Lichtmuster mittels Interferenz zu erzeugen. Hierzu wird die Phase des einfallenden Lichtes durch Änderung der optischen Weglänge der einzelnen optischen Teilstrahlen gezielt manipuliert. Fokussierte ultrakurze Laserpulse (UKP) induzieren in transparenten Materialien in der Nähe des Fokus eine Brechzahländerung, welche auf ein kleines Volumenelement (Voxel) beschränkt ist. Die quantitative Bestimmung der geschriebenen Phasenänderung ist somit ein integraler Bestandteil der Herstellung von DOEs mittels Femtosekundenlaserpulsen.

Dies erfolgt im Projekt mittels Phasendifferenzkontrast (Differential Phase Contrast, DPC) Methode. Durch die Aufnahme von gelaserten Bereichen unter verschiedenen Illuminationsmustern lässt sich die Phase berechnen. Das Messergebnis einer Referenzprobe von 1.39 rad ist in Abb. 4.7.1 (a) gezeigt, (b) zeigt die Phase entlang der gelb markierten Schnittlinie. Mit Hilfe dieser Messmethode ist die Optimierung der Phasendifferenz und die gezielte Herstellung von DOEs in transparenten Medien möglich.

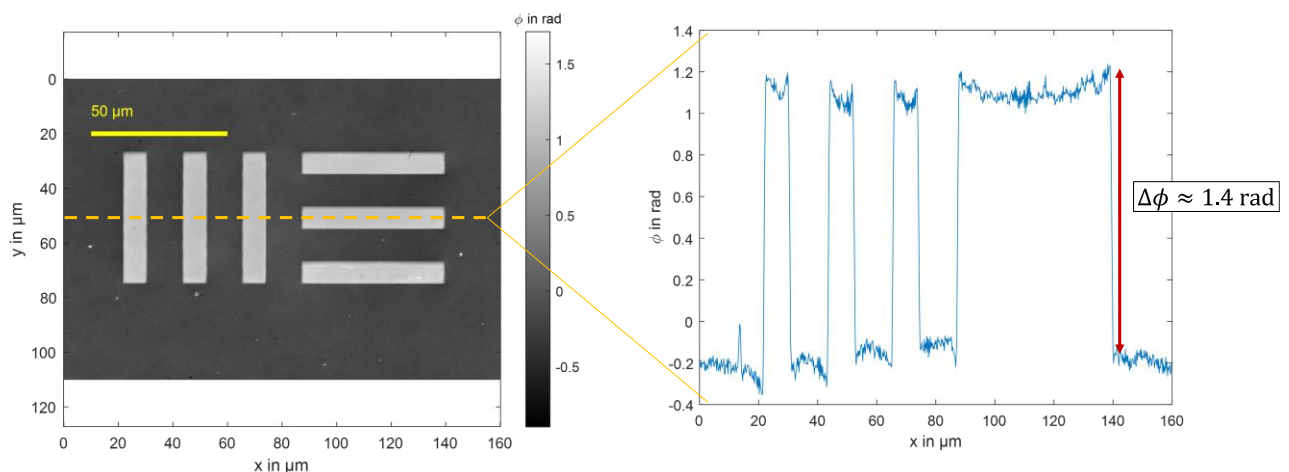


Abbildung 4.7.1: (a) Quantitative Phasenmessung an Phasenreferenzobjekt ($\Delta\Phi \approx 1.39 \text{ rad}$) mittels Phasendifferenzkontrastmethode (DPC – Differential Phase Contrast). (b) Verlauf der Phasendifferenz entlang der gelb markierten Schnittlinie.

Ein weiterer Ansatz zur Erzeugung von lichtlenkenden Elementen in transparenten Medien ist die Erzeugung von schwach reflektierenden Mikrostrukturen mittels Femtosekundenlaserpulsen. Diese erzeugen aufgrund des Brechungsindexunterschiedes zwischen unbehandeltem und gelasertem Material einen Reflex. Durch Anpassen der Fertigungsparameter lässt sich der jeweilige Reflexionsgrad einstellen. Ein Konzept einer Lichtplatte, welches dieses Prinzip nutzt, ist in Abbildung 4.7.2(a) gezeigt. (b) zeigt die reale Probe mit Mikroreflektoren verschiedener Fertigungsparametern unter Kantenbelichtung mit He-Ne-Laserlicht. In der rechten unteren Ecke von Abbildung 4.7.2(b) sind komplexere Geometrien mit Hochschul-Logo gezeigt.

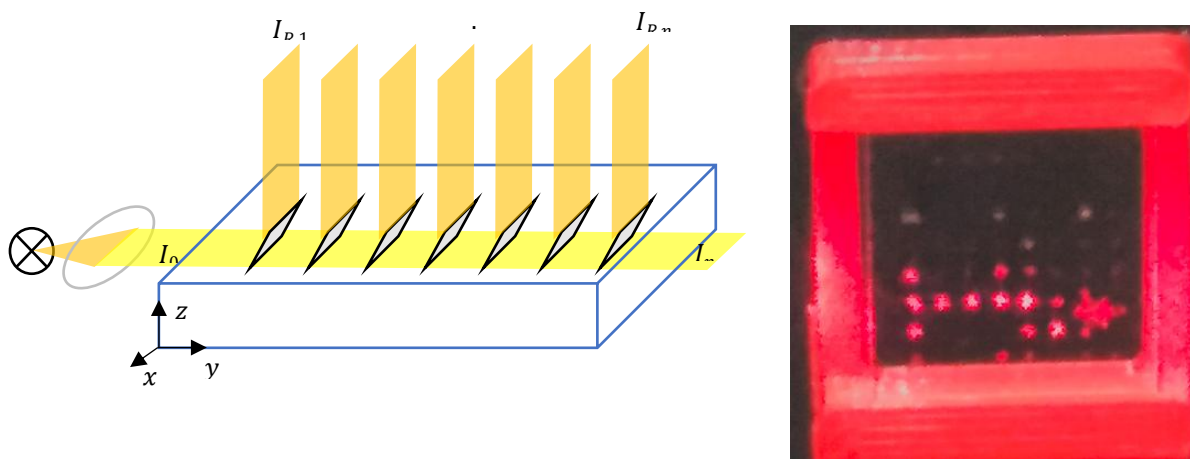


Abbildung 4.7.2: (a) Konzept einer licht emittierenden Platte mittels Mikroreflektoren. (b) Durch Femtosekundenlaser erzeugte Mikroreflektorebenen unter Kantenbelichtung mittels He-Ne-Laserlicht

4.8 Kooperation mit NASA Goddard Space Flight Center (GSFC), Greenbelt, Maryland, USA (Friedemann Völklein)

Wie schon für den **Mars Organic Molecule Analyzer (MOMA)**, der als Massenspektrometriesystem vom Goddard Space Flight Center für die Marsmission gebaut wurde, sollen auch bei der NASA-Dragonfly-Mission zum Saturnmond Titan (Start 2025) im Massenspektrometer wieder IMtech-Vakuumsensoren zum Einsatz kommen. Inzwischen wurden umfangreiche Untersuchungen zur Charakterisierung der Sensorparameter und zur Zuverlässigkeit von den NASA-Kollegen durchgeführt. Ein ausführlicher Bericht (ca. 75 Seiten) zu den Ergebnissen der „zerstörenden“ Analyse wurde im Januar 2022 übermittelt (kann beim Autor eingesehen bzw. angefordert werden). Nach den positiven Resultaten der „zerstörenden“ Analyse konzentrieren sich nun die Zuverlässigkeitstests auf den Einfluss kosmischer Strahlung auf die Sensorparameter. Bestrahlungen mit hochenergetischen Schwerionen wurden bei GSI

Darmstadt durchgeführt. Nach den Strahlexperimenten, die freundlicherweise von Prof. M. Bender organisiert und durchgeführt wurden, konnte keine Degradation der Sensoreigenschaften festgestellt werden. Aktuell werden in einem NASA-Labor Bestrahlungen mit Protonen durchgeführt. Die Strahlungsbelastung ist vor allem im Hinblick auf die lange Nutzungsdauer aller Komponenten der Mission von Bedeutung: Der Flug zum Titan dauert etwa 9 Jahre, danach sollen alle Systeme auf der Titanoberfläche für ca. drei Jahre funktionsfähig sein und Ergebnisse übermitteln. Nach allen bisherigen Untersuchungen ist davon auszugehen, dass die IMtech-Sensoren an der mehr als 10jährigen Reise und Nutzung beteiligt sein werden.

Die Sonde soll im Jahr 2034 auf dem Saturnmond landen. Dragonfly ist eine Drohne, ein Quadrocopter mit doppelten Rotoren, der sich mit einer Geschwindigkeit von 36 km/h über die Titanoberfläche bewegen kann. Während der vorgesehenen Nutzungsdauer wird sie von einer Batterie versorgt, deren Aufladung über einen thermo-elektrischen Generator (TEG) erfolgt. Ein TEG wandelt die beim Zerfall radioaktiver Substanzen entstehende Wärme direkt (ohne bewegliche Teile, nur durch die Kombination p- und n-leitender Halbleitermaterialien) in Elektrizität um. Während der Titannacht, die 8 Nächten auf der Erde entspricht, bleibt die Drohne am Boden und analysiert Proben. Dazu stehen der Sonde ein Massenspektrometer und ein Gamma-Strahlen-Spektroskop für chemische Untersuchungen, diverse meteorologische Instrumente, ein Seismograf sowie die mit Mikroskop und Panoramakamera ausgestattete „DragonCam“ zur Verfügung.

Dragonfly wird am Titan-Äquator in einem „Shangri-La“ genannten Dünengebiet landen, das Ähnlichkeit mit der Landschaft Namibias aufweist. Die Mission startet zunächst in kurzen Flügen und wird sich auf jeweils 8 Kilometer lange Strecken ausdehnen. Ziel der Sonde ist der Selk-Krater mit seinem 90 km Durchmesser. Dort sollen sich die rötlich-braunen Tholine befinden - komplexe organische Makromoleküle, die sich aus Kohlenstoff, Stickstoff und Wasserstoff zusammensetzen und die als Vorformen zur Entwicklung belebter Materie angesehen werden. Frühere Messungen hatten bereits ergeben, dass in dieser Gegend gefrorenes Wasser vorhanden sein könnte, was die Theorie von Titan als Lebensraum untermauern würde.

Titan liegt ca. 10mal weiter entfernt von der Sonne als die Erde, mit Oberflächentemperaturen bis -179 Grad Celsius. Er verfügt über eine Atmosphäre, vorwiegend aus Stickstoff, Kohlenwasserstoffen und anderen organischen Verbindungen, die Ähnlichkeit mit der frühen Erdatmosphäre hat und deren atmosphärischer Druck 50% höher als auf der Erde ist.

Dragonfly stützt sich auf Daten, die im Rahmen der Weltraummission Cassini-Huygens gesammelt wurden. 2005 landete die Sonde Huygens auf dem Titan und sendete Daten von der Oberfläche. Aufgrund der Resultate dieser Erkundungsflüge wurde 2010 an der University of Arizona im Labor die Titan-Atmosphäre nachgebildet und einer starken kosmischen Strahlung ausgesetzt. Es entstanden mit den Aminosäuren Alanin und Glycin die essenziellen Proteingrundbausteine, was Anlass zu neuen Theorien über die Entstehung von Proteinen und Leben auf der Erde gab.

Auf YouTube finden sich einige NASA-Videos zur Dragonfly-Mission, z.B.

- The Science of Dragonfly (NASA-Goddard)
- Announcing a New Mission to Saturn's Largest Moon on this Week (NASA, June 28, 2019)
- Chasing Life on Saturn's Moon: NASA's Dragonfly Mission to Titan
- The Dragonfly Mission to Titan: Exploration of an Ocean World (John Hopkins University, Applied Physics Laboratory)
- Titan: Saturn's Largest Moon – An Alternative Earth?

5. Publikationen und Öffentlichkeitsarbeit

5.1 Wissenschaftliche Publikationen in Fachzeitschriften und populärwissenschaftlichen Magazinen

E. Dartois, M. Chabot, F. Koch, C. Bachelet, M. Bender, J. Bourçois, J. Duprat, J. Frereux, M. Go-dard, S. Hervé, B. Merk, T. Pino, J. Rojas, I. Schubert, and C. Trautmann

Desorption of polycyclic aromatic hydrocarbons by cosmic rays - Implications for PAH inventories under TMC-1 dense cloud conditions

Astronomy & Astrophysics 663, A25 (2022), doi: 10.1051/0004-6361/202243274

M. Ferry, S. Esnouf, F. Leprêtre, C. Cabet, M. Bender, D. Severin, E. Balanzat, Y. Ngono,

Effect of oxygen on gas emitted from polymer irradiated using Swift Heavy Ion beams

Nucl. Instr. Meth B 497 51-58, doi: 10.1016/j.nimb.2021.04.006

C. Länger, P. Ernst, M. Bender, D. Severin, C. Trautmann, M. Schleberger, M. Dürr

Single-ion induced surface modifications on hydrogen-covered Si(001) surfaces - significant difference between slow highly charged and swift heavy ions

New Journal of Physics 23 (2021) 093037, doi: 10.1088/1367-2630/ac254d

V. Velthaus, B. Tietz, C. Trautmann, F. Völklein, M. Bender

Desorption measurements of accelerator-related materials exposed to different stimuli

Vacuum 194 (2021) 110608

S. Schäfer, P. McKearney, S. Paulus, and S. Kontermann

Analytical model for extracting optical properties from absorptance of femtosecond-

laser structured hyperdoped silicon Unravelling the optical properties of femtosecond

laser hyperdoped silicon by analytical modeling of absorptance

Journal of Applied Physics 131 (2022) 243102, doi: 10.1063/5.0094177

David Müllers, Jonas Kuhl, and Stefan Kontermann

Nonparaxial optical transfer function for arbitrary illumination in partially coherent imaging systems and the oblique source application

Journal of the Optical Society A, 39 (2022) 744-758; doi: 10.1364/JOSAA.452462

S. Paulus, P. Mc Kearney, F. Völklein, and S. Kontermann

Obtaining simultaneously high crystallinity and sub-bandgap absorption in femtosecond laser hyperdoped black silicon using ion beam etching

AIP Advances 11 (2021) 075014; doi: /10.1063/5.0044678

Lupu, L.-M.; Wiegand, P.; Holdschick, D.; Mihoc, D.; Maeser, S.; Rawer, S.; Völklein, F.; Malek, E.; Barka, F.; Knauer, S.; Uth C.; Hennermann J.; Kleinekofort W.; Hahn A.; Barka G.; Przybylski M.

Identification and Affinity Determination of Protein-Antibody and Protein-Aptamer Epitopes by Biosensor-Mass Spectrometry Combination

Int. J. Mol. Sci. 2021, 22, 12832; DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms222312832>

Mihoc D, Lupu L, Wiegand P, Kleinekofort W, Müller O, Völklein F, Glocker M.O., Barka F, Barka G, Przybylski M

Antibody Epitope and Affinity Determination of the Myocardial Infarction Marker Myoglobin by SPR-Biosensor Mass Spectrometry

J. Am. Soc. Mass Spectrom. 2021, 32, 1, 106–113

DOI: <https://doi.org/10.1021/jasms.0c00234>

5.2 Teilnahme an Tagungen und Konferenzen (ggf. mit Proceedings-Zitat)

S. Schäfer, P. McKearney, D. Mutschall, S. Paulus, & S. Kontermann

Unravelling the optical properties of femtosecond laser hyperdoped silicon by analytical modeling of absorptance

European MRS Spring Meeting, Virtual conference, 30.05.-03.06.2022 (2022).

J. Kuhl, D. Müllers, I. Lebershausen, S. Kontermann

Quantitative phase measurement of direct laser written waveguides using differential phase contrast

Proceedings 2021 der 122. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Angewandte Optik, Bremen, Germany (2021), ISSN: 1614-8436 – urn:nbn:de: 0287-2021-B026-0

P. Mc Kearney, S. Paulus, S. Kontermann

Obtaining simultaneously high crystallinity and sub-bandgap absorption in

femtosecond laser hyperdoped black silicon using femtosecond laser annealing

European MRS Spring Meeting, Virtual conference 17.-23.04.2021 (2021).

M. Brinkmann, U. Langbein,

Simulation und Vermessung von Optischen Diffusoren,

Proceedings der 121. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für angewandte Optik,
Online-Konferenz, 2020, ISSN: 1614-8436 – urn:nbn:de:0287-2020-P005-9

Matthias Enders, Georg Derscheid, Hans-Dieter Bauer und Birgit Scheppat

**Parallele FTIR-ATR-Spektroskopie und Gravimetrie zur in-situ Charakterisierung
der Reaktionskinetik wasserstoffspeichernder Metallhydrid-Pulver,**

Posterbeitrag zur 122. Jahrestagung der Gesellschaft für Angewandte Optik (DGaO),
Bremen 2021

I. Pantouvakis, C. Warneke, H.-D. Bauer

**Beeinflussung der optischen Eigenschaften von FOTURAN®II durch UV-Belichtung
und Tempern, untersucht mittels Spektrometrie und Interferenzlithographie**

Online-Vortrag zur 122. Jahrestagung der Gesellschaft für Angewandte Optik (DGaO),
Bremen 2021

5.3 Dissertationen

Matthias Enders

**Parallele Infrarotspektroskopie und Gravimetrie zur Entwicklung eines optischen
Füllstandssensors für Metallhydrid-Wasserstofftanks mit NaAlH₄**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften bei der
Technischen Universität Darmstadt eingereicht im Dezember 2022. Erstgutachter Prof. Dr.
Christian Hess, Zweitgutachter Prof. Dr. Hans-Dieter Bauer

5.4 Master- und Bachelorarbeiten

2022

Eine Studie zu den optischen und elektrischen Eigenschaften von fs-hSi,
Fabian Piermaier, Masterarbeit, 2022, Hochschule RheinMain, IMtech

Aufbau und Charakterisierung eines Mehrwellenlängeninterferometers für den sichtbaren Spektralbereich,
Dennis Rosendahl, Masterarbeit, 2022, IMtech in Kooperation mit Ametek GmbH-BU TH Lufos, Weiterstadt

Untersuchung des Einflusses von femtosekunden-Laserpulsen auf die Viabilität von Milchsäurebakterien,
Janno Paulus, Masterarbeit, 2022, IMtech

Diffusion von Wasserstoff durch 3D-gedruckte Edelstähle ,
Mohamed El Ouardi, Masterarbeit, 2022, IMtech

Transferprozesse von Nanopartikeln auf planaren Substraten und mikrostrukturierten Bauteilen,
Philipp Daniel Kaiser, Masterarbeit, 2022, am Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme, Mainz

Untersuchung von Nachbehandlungsverfahren für ultrakurzpuls-schwefelhyperdotiertes Silizium,
Michael Roser, Masterarbeit, 2022, IMtech

Technologieentwicklung und Charakterisierung von MEMS-Gassensoren,
Patrick Römer, Masterarbeit, 2022, mit Archigas, Rüsselsheim

Bestimmung der Ausgasarten verschiedener Materialien,
Philipp Stieber, Bachelorarbeit, 2022, IMtech

2021

Performance Evaluation eines qPlus basierten sSNOM,
Christopher Frick, Masterarbeit, 2021, bei Scientia Omicron, Taunusstein

Anwendung der optischen Beugungstomographie zur Bestimmung der Femtosekunden-laserinduzierten Brechungsindexmodifikation in transparenten Materialien,
David Müllers, Masterarbeit, 2021, IMtech

Laserschweißen transparenter Kunststoffe mit Thulium-Faserlaser,
Mike-Julian Dörr, Masterarbeit, 2021, am Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme, Mainz

Entwicklung und Charakterisierung eines Standard-Laserprozesses für mit Femtosekundenlaserpulsen schwefel-hyperdotiertes Silizium,
Arpiar Keshish Zadeh, Bachelorarbeit, 2021, Hochschule RheinMain, Institut für Mikrotechnologien IMtech

Entwicklung eines Achsensystems auf Optikebene und Integration in eine Lasermikrostrukturierungsanlage,

Tobias Schreiber, Masterarbeit, 2021, bei SCHOTT, Mainz

Aufbau und Test eines mikrofluidischen Chips zur nanopartikel-basierten Spurenstoffanalytik mittels oberflächenverstärkter Raman-Streuung

Niklas Schmidt, Masterarbeit, 2021, am Fraunhofer Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme, Mainz

Feldunterstützte Laser-Mikroperforation von Glas,

Imke Adrian, Masterarbeit, 2021, bei SCHOTT, Mainz

Optimierung eines photolytischen Gasabscheidungsprozesses zur Erzeugung metallischer Nanostrukturen,

Alice Daniele, Bachelorarbeit, 2021, am Fraunhofer Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme, Mainz

Design and Implementation of a Compaction Stress Testing and Assessment Device (LZTB-Bestimmung 2.0)

Bastian Ruf, Masterarbeit, 2021, bei SCHOTT, Mainz

Automatisierte Zellzahl- und Viabilitätsbestimmung von Bakterien mithilfe eines Durchflusszytometers,

Marin Dovoda, Masterarbeit, 2021, am Fraunhofer Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme, Mainz

2020

Entwicklung und Qualifizierung eines eigenständigen Kamera-Messsystems zur automatisierten Erkennung der Fokusslage eines Laserstrahls,

Thomas Maurer, Masterarbeit, 2020, Hochschule RheinMain, in Kooperation mit Primes GmbH, Pfungstadt

Einsatz von Laserstrahlung zur Abtötung von Bakterien in kariösen Läsionen in der Zahnschubstanz und unter Restaurationen,

Marvin Kuhn, Masterarbeit, 2020, Hochschule RheinMain, in Kooperation mit Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein

Bereitstellung von Kennzahlen zur Bestimmung von Konvektionszuständen in einem Industrieofen mittels einer abgewandelten BOS-Methode über eine OPC-UA-Datenübertragung

Marco-Jose Heym, Bachelorarbeit, 2020, bei SCHOTT, Mainz

Laserkantenbearbeitung von Glas und Glaskeramiken

Imke Adrian, Bachelorarbeit, 2020, bei SCHOTT, Mainz

Auslegung und Aufbau eines faserbasierten Refraktometers und eines faserbasierten Trübungssensors

Thorsten Geyer, Bachelorarbeit, 2020, am Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme Mainz

Entwicklung einer chemometrischen Methode

zur Materialerkennung in gemischten Mikroplastiksuspensionen basierend auf Raman-Spektroskopie

Philip Kraft, Bachelorarbeit, 2020, am Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme Mainz

Entwicklung eines nicht-dispersiven Raman-Detektors zur Identifizierung von Mikroplastik in Wasser

Lisa Kohlmann, Masterarbeit, 2020, am Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme Mainz

5.5 Preise und Auszeichnungen

Optence Förderpreis 2021 an Patrick McKearney

Das Kompetenznetzwerk Optische Technologien Optence e.V. vergab seinen Förderpreis 2021 an Patrick McKearney für seine Masterarbeit „Entwicklung und Untersuchung prozessoptimierter Intensitätsverteilungen für die Lasermikrobearbeitung unter Einsatz eines diffraktiven Strahlformungssystems“, entstanden an der Hochschule RheinMain, Institut für Mikrotechnologien IMtech, in Kooperation mit Pulsar Photonics GmbH, Herzogenrath.

Young Scientist Award (YSA) 2021 des CC UPOB an Sven Thoma

Das Kompetenzzentrum Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung e.V. (CC UPOB) honorierte die Masterarbeit „Erfassen und Kompensieren von Wellenlängenfluktuationen mittels einer Referenzzelle aus Glas“ von Sven Thoma mit dem YSA 2021. Die Arbeiten fanden statt an der Hochschule RheinMain, Institut für Mikrotechnologien IMtech, in Kooperation mit Ametek GmbH, BU TH Lufos, Weiterstadt.

5.6 PR-Aktionen, Teilnahme von IMtech oder IMtech-Mitgliedern an der ÖA der Hochschule, Mitarbeit in externen Gremien

KFSI

Prof. Dr. Markus Bender ist Mitglied im Komitee zur Forschung mit nuklearen Sonden und Ionenstrahlen (KFSI) des SNI (Forschung mit Synchrotronstrahlung, Neutronen und Ionenstrahlen an Großgeräten), das die Interessen der Nutzer-Community von Teilchenbeschleunigern / Großgeräten gegenüber dem BMBF vertritt. Dazu gehört u.a. der jährliche nationale Ionenstrahlworkshop.

Hochschul-Informationstag (HIT)

Das **Hessen-Technikum** ist eine Kooperation zwischen hessischen Hochschulen und Unternehmen mit dem Ziel, mehr junge Frauen mit Abitur oder Fachhochschulreife für MINT-Studiengänge zu gewinnen. In diesem Programm absolvieren die Teilnehmerinnen an vier

Tagen pro Woche ein vergütetes Unternehmenspraktikum und durchlaufen an einem Tag in der Woche ein „Schnupperstudium“ in den MINT-Fachbereichen einer Hochschule. Für die Praktika gibt es seitens der Unternehmen eine entsprechende Praktikumsbescheinigung. Junge Frauen erhalten so eine Entscheidungshilfe für ihre Berufsorientierung, indem sie MINT in der Praxis erproben und in der Theorie begreifen. Gefördert wird das Projekt durch den Europäischen Sozialfonds und das Hessische Ministerium für Wissenschaft und Kunst. Im Rahmen dieses Programms absolvierte Frau Kunz ein „Schnupperstudium“ mit 3 Abiturientinnen zum HIT (2.3.2022) am IMtech.



Abb. 5.6.1: Teilnehmerinnen Enrica, Alexandra, Manel im Reinraum des IMtech am 2.3.22.

Ziel des „Schnupperstudentages“ war die Einführung der Teilnehmerinnen in einige Aspekte der Reinraum- und Mikrotechnologie im Rahmen eines Projektes zur Herstellung von Mikrostrukturen auf Silizium- bzw. Glaswafern.

Politischer Jahresempfang im Kurhaus Wiesbaden - „Das Reinraummodell im Kurhaus“

Am 21. Juni 2022 fand der politische Jahresempfang der Hochschule RheinMain statt, der in diesem Jahr ganz im Zeichen des 50-jährigen Jubiläums der Hochschule stand. Zusätzlich zum Programm mit Festrede, Grußworten von Politikern, Preisverleihung und Fachvortrag wurden durch Exponate aus den Fachbereichen Einblicke in den Alltag und die Forschungsaktivitäten der Hochschule vermittelt. Auf Anregung unserer Prodekanin sollten wir einen Eindruck von den spezifischen Arbeitsbedingungen im Reinraum und den dort laufenden Arbeiten zur Mikrostrukturtechnik geben. So entstand durch Initiative von Frau Kunz unser „Reinraummodell“, das gewiss zum ersten und einzigen Mal den Weg in den beeindruckenden Thiersch-Saal des Kurhauses fand. Als „Blickfang“ veranlasste es manche Besucher der

Festveranstaltung, sich in Gesprächen näher über IMtech-Projekte und die ausgestellten Mikrostrukturen zu informieren.



Abb. 5.6.2: Dekan Prof. Dr. Christian Glockner, Prodekanin Prof. Dr. Ulrike Stadtmüller, Prof. Dr. Friedemann Völklein und das „Reinraummonster“ im Friedrich-von-Thiersch-Saal des Kurhauses Wiesbaden am 21.06.2022.

5.7 Laborposter

Im Rahmen der „Verschönerung“ unseres Hochschulgebäudes bzw. für die Verbesserung der „Innenwirkung“ wurden auf Anregung des Dekanats Poster hergestellt, die die Labors des Fachbereichs ING kurz vorstellen. Hier seien einige davon abgedruckt, die das Imtech betreffen.



LABORAUSSTATTUNG



NUTZUNG FÜR DIE LEHRE

Laborpraktikum Vakuumtechnik:
Angewandte Physik, Mechatronik, Medizintechnik,
Interdisziplinäre Ingenieurwissenschaften

- Kinetische Gastheorie
- Methoden und Apparaturen zur Erzeugung von Vakua
- Druckmessung in den verschiedenen Vakuum-Bereichen
- Erzeugung und Charakterisierung von Niederdruckplasmen
- Anwendung von Vakuumanlagen zur Herstellung dünner Schichten (thermische Verdampfung, Magnetron-Sputtern, Hochfrequenz-Sputtern)
- Planung und Konstruktion von Beschichtungsanlagen und Beschichtungsquellen
- Charakterisierung der erzeugten Schichten und Schichtsysteme

NUTZUNG FÜR DIE FORSCHUNG

Kooperationspartner für Universitäten, Hochschulen,
Kleine Mittelständische Unternehmen und Institute

- Forschungsk Kooperation „Dragonfly“ der HSRM (Imtech) mit dem NASA Goddard Space Flight Center (GSFC), Greenbelt, MD (USA)
- Forschungsk Kooperation „Mikrosystemtechnik in der Gasanalytik“ mit Emerson Process Management GmbH & Co. OHG, Hasselroth
- Forschungsprojekte „MIKROVAK“ gefördert durch BMBF (FKZ 17004X10), Förderprogramm FHprofUnt
- Forschungsprojekte „WISE“ gefördert durch BMBF (ZIM)
- Forschungsprojekte „MIDES“ gefördert durch BMBF (FKZ 01M3193E)
- Förderinitiative KMU-innovativ
- Forschungsprojekte „NANOTHERM“ gefördert durch BMBF (FKZ PNT51505)
- Förderprogramm „Forschungsprofil in Neuen Technologien“
- Forschungsförderung LÖWE 3 „KPM“, Entwicklung kleiner, präziser Mikrosensoren zur Spurenanalyse von H_2



Hochschule RheinMain

LABOR FÜR VAKUUMTECHNIK: CHARAKTERISIERUNG IM VAKUUM

LABORMITARBEITER: Dipl.-Ing. Andreas Meier (FH)

LABORLEITUNG: Prof. Dr. Markus Bender

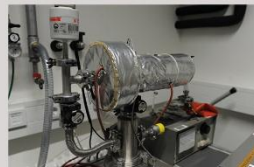
LABORAUSSTATTUNG



Bestimmung der Ausgasraten an Werkstoffen für die Vakuumtechnik:
Welche Gase sind in welchen Mengen in einer Probe gelöst?



Bestimmung des Saugvermögens von verschiedenen Vakuum-Pumpen mit einem genormten Messsystem:
Wie schnell kann eine Vakuum-Pumpe eine Gasart pumpen?



Bestimmung des Permeationskoeffizienten an dünnen Folien:
Wie schnell und in welchen Mengen kann ein Gas durch eine Folie diffundieren?



Bestimmung von Gaszusammensetzungen und Partialdrücken von Gasgemischen:
Welche Gasarten in welchen Mengenverhältnissen finden sich in der Gas-Probe?

NUTZUNG FÜR DIE LEHRE

Laborpraktikum Vakuumtechnik:
Angewandte Physik, Mechatronik, Medizintechnik,
Interdisziplinäre Ingenieurwissenschaften

- Kinetische Gastheorie
- Methoden und Apparaturen zur Erzeugung von Vakua
- Druckmessung in den verschiedenen Vakuum-Bereichen
- Charakterisierung von Phänomenen im Vakuum
- Untersuchung von Adsorption, Absorption und Permeation von Gasen
- Konstruktion und Dimensionierung von Messsystemen und Vakuumanlagen
- Charakterisierung von Materialien und Oberflächenbehandlungen für die Vakuumtechnik

NUTZUNG FÜR DIE FORSCHUNG

Kooperationspartner für Universitäten, Hochschulen, Kleine
Mittelständische Unternehmen und Institute

- Forschungsk Kooperation „Dragonfly“ der HSRM (IMech) mit dem NASA Goddard Space Flight Center (GSFC), Greenbelt, MD (USA)
- Forschungsk Kooperation „Mikrosystemtechnik in der Gasanalytik“ mit Emerson Process Management GmbH & Co. OHG, Hasselroth
- Forschungsprojekte „MIKROVAK“ gefördert durch BMBF (FKZ 17004X10), Förderprogramm FHprofUnt
- Forschungsprojekte „WISE“ gefördert durch BMBF (ZIM)
- Forschungsprojekte „MIDES“ gefördert durch BMBF (FKZ 01M3193E)
- Förderinitiative KMU-innovativ
- Forschungsprojekte „NANOTHERM“ gefördert durch BMBF (FKZ PNT51505)
- Förderprogramm „Forschungsprofil in Neuen Technologien“
- Forschungsförderung LÖWE 3 „KPM“, Entwicklung kleiner, präziser Mikrosensoren zur Spurenanalyse von H₂



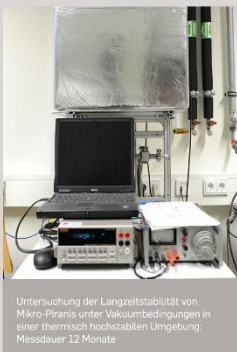
Hochschule RheinMain

LABOR FÜR VAKUUMTECHNIK: VAKUUM ALS WERKZEUG

LABORMITARBEITER: Dipl.-Ing. Andreas Meier (FH)

LABORLEITUNG: Prof. Dr. Markus Bender

LABORAUSSTATTUNG



Untersuchung der Langzeitstabilität von Mikro-Piranis unter Vakuumbedingungen in einer thermisch hochstabilen Umgebung. Messdauer 12 Monate



Untersuchung der physikalischen Kenngrößen von dünnen Schichten aus Metall oder Halbleiter unter Vakuumbedingungen:

Seebeck-Koeffizient,
Elektrische Leitfähigkeit,
Thermische Leitfähigkeit,
Hall-Koeffizient, Ladungsträger-
Konzentration und Ladungs-
träger-Beweglichkeit



Charakterisierung von Drucksensoren unter Vakuumbedingungen, Untersuchung der Empfindlichkeit, der Temperaturstabilität und der thermischen Belastbarkeit.

NUTZUNG FÜR DIE LEHRE

Laborpraktikum Vakuumtechnik:
Angewandte Physik, Mechatronik, Medizintechnik,
Interdisziplinäre Ingenieurwissenschaften

- kinetische Gastheorie
- Methoden und Apparaturen zur Erzeugung von Vakua
- Druckmessung in den verschiedenen Vakuum-Bereichen
- Charakterisierung von physikalischen Kenngrößen unter Vakuumbedingungen
- Planung und Aufbau hochpräziser Messsysteme zur Erfassung physikalischer Kenngrößen
- Konstruktion und Dimensionierung von Vakuumanlagen
- Charakterisierung von Sensoren und Materialien unter Vakuumbedingungen

NUTZUNG FÜR DIE FORSCHUNG

**Kooperationspartner für Universitäten, Hochschulen,
Kleine Mittelständische Unternehmen und Institute**

- Forschungsk Kooperation „Dragonfly“ der HSRM (IMech) mit dem NASA Goddard Space Flight Center (GSFC), Greenbelt, MD (USA)
- Forschungsk Kooperation „Mikrosystemtechnik in der Gasanalytik“ mit Emerson Process Management GmbH & Co. OHG, Hasselroth
- Forschungsprojekte „MIKROVAK“ gefördert durch BMBF (FKZ 17004X10), Förderprogramm FHprofUnt
- Forschungsprojekte „WISE“ gefördert durch BMBF (ZIM)
- Forschungsprojekte „MIDES“ gefördert durch BMBF (FKZ 01M3193E)
- Förderinitiative KMU-innovativ
- Forschungsprojekte „NANOTHERM“ gefördert durch BMBF (FKZ PNT51505)
- Förderprogramm „Forschungsprofil in Neuen Technologien“
- Forschungsförderung LÖWE 3 „KPM“, Entwicklung kleiner, präziser Mikrosensoren zur Spurenanalyse von H₂



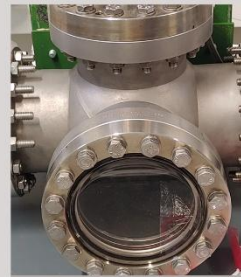
LABORAUSSTATTUNG



Erzeugung schwerer Ionen für die Grundlagenforschung in einer Hohlkathoden-Quelle



Erzeugung von Argon-Ionen für die Oberflächen-Analytik in der Sekundär-Ionen-Massen-Spektroskopie (SIMS)



Entwicklung einer Mikro-Ionen-Quelle für einen zukünftigen Mikro-Ionen-Implanter

NUTZUNG FÜR DIE LEHRE

Laborpraktikum Vakuumtechnik:
Angewandte Physik, Mechatronik, Medizintechnik,
Interdisziplinäre Ingenieurwissenschaften

- Kinetische Gastheorie
- Methoden und Apparaturen zur Erzeugung von Vakua
- Druckmessung in den verschiedenen Vakuum-Bereichen
- Erzeugung und Charakterisierung von Niederdruckplasmen
- Anwendung von Ionen-Quellen zur Oberflächenbearbeitung, zur Materialanalyse und zur Oberflächenmodifikation
- Konstruktion und Dimensionierung von Ionen-Quellen und Vakuumanlagen
- Charakterisierung von Plasmen und Ionen-Strahlen

NUTZUNG FÜR DIE FORSCHUNG

**Kooperationspartner für Universitäten, Hochschulen,
Kleine Mittelständische Unternehmen und Institute**

- Forschungsk Kooperation „Dragonfly“ der HSRM (iMtech) mit dem NASA Goddard Space Flight Center (GSFC), Greenbelt, MD (USA)
- Forschungsk Kooperation „Mikrosystemtechnik in der Gasanalytik“ mit Emerson Process Management GmbH & Co. OHG, Hasselroth
- Forschungsprojekte „MIKROVAK“ gefördert durch BMBF (FKZ 17004X10), Förderprogramm FHprofUnt
- Forschungsprojekte „WISE“ gefördert durch BMBF (ZIM)
- Forschungsprojekte „MIDES“ gefördert durch BMBF (FKZ 01M3193E)
- Förderinitiative KMU-innovativ
- Forschungsprojekte „NANOTHERM“ gefördert durch BMBF (FKZ PNT51505)
- Förderprogramm „Forschungsprofil in Neuen Technologien“
- Forschungsförderung LÖWE 3 „KPM“, Entwicklung kleiner, präziser Mikrosensoren zur Spurenanalyse von H₂



Hochschule RheinMain

LABOR FÜR MIKROSTRUKTURIERUNG

LABORMITARBEITER: Christina Kunz, Andreas Meier

LABORLEITUNG: Prof. Dr. Hans-Dieter Bauer

Reinraumlabor für Photolithographie, Ätzverfahren, Mikrostrukturmesstechnik

LABORAUSSTATTUNG

- Komplette Photolithographie-Linie zum Belackern, Belichten und Entwickeln von 4- und 5-Zoll-Wafern aus Silizium und anderen Materialien
- Verschiedene Anlagen zum Nass- oder Trockenätzen von Mikrostrukturen
- Messverfahren zur vertikalen und lateralen Quantifizierung von Mikrostrukturen
- Aufbau- und Verbindungstechnik
- Laserdirektschreibverfahren für die Herstellung von Photolithographiemasken
- Rasterelektronenmikroskop, Rastertunnelmikroskop, Rasterkraftmikroskop



NUTZUNG FÜR DIE LEHRE

Im Rahmen der Bachelor-Studiengänge „Angewandte Physik“ und „Interdisziplinäre Ingenieurwissenschaften“:

- Laborkurse und Projekte als Vertiefungsveranstaltungen
- Durchführung des „Berufspraktikums“ und des praktischen Teils von Bachelorarbeiten

Im Rahmen der Master-Studiengänge „Angewandte Physik“ und „Medizintechnik“:

- Durchführung von Forschungspraktika und Masterarbeiten

NUTZUNG FÜR DIE FORSCHUNG

- Realisierung neuartiger Mikrostrukturen für Anwendungen in der Sensorik
- Mikro-Nano-Interfacing: Integration von Nanostrukturen in Mikrosysteme
- Zusammenarbeit mit anderen Labors dieser und anderer Hochschulen
- Forschungsprojekte in Kooperation mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie
- Durchführung von kooperativen Promotionen



Hochschule RheinMain

LABOR FÜR TECHNISCHE OPTIK

LABORLEITUNG: Prof. Dr. Stefan Kontermann

LABORMITARBEITER: Ingo Lebershausen, Christian Marx

LABORAUSSTATTUNG



- Spektroskopie von Beleuchtungslicht
- Planare Wellenleiter

- Michelson-Interferometer
- Holographie
- Polarisation und 3D-Kino

- Helium-Neon-Laser
- Fourieroptik
- Fabry-Perot-Interferometer



NUTZUNG FÜR DIE LEHRE

Das Labor für Technische Optik bietet Studierenden der Bachelor-Studiengänge „Angewandte Physik“ und „Interdisziplinäre Ingenieurwissenschaften“ die Gelegenheit, ihre im Physikalischen Grundpraktikum erworbenen Kenntnisse bei der Durchführung und Auswertung von Experimenten in der Optik und Lasertechnologie anzuwenden und zu vertiefen. Des Weiteren besteht für die Studierenden die Möglichkeit, im Labor für technische Optik ihre Berufspraktische Tätigkeit bzw. ihr Forschungspraktikum zu absolvieren.

NUTZUNG FÜR DIE FORSCHUNG

Im Bereich der Forschung wird das Labor zur optischen und elektrischen Charakterisierung von Proben aus dem Femtosekundenlaserlabor genutzt, die dort im Rahmen der Forschungsgebiete Black Silicon und Diffraktive Optische Elemente (DOE) hergestellt werden.



Hochschule RheinMain

LABOR FÜR FEMTOSEKUNDENLASER- ANWENDUNGEN

LABORLEITUNG: Prof. Dr. Stefan Kontermann

LABORMITARBEITER: Ingo Lebershausen, Christian Marx

LABORAUSSTATTUNG

- **Titan-Saphir Femtosekunden-Seedlaser**
SpectraPhysics Mai Tai, 800 nm, 100 fs, 1 mW @ 84 Mhz
- **Titan-Saphir fs-Laserverstärker**
Spectra Physics Spitfire Ace, 800 nm, 100 fs, 7 W @ 10 kHz
- **3D-Mikro-Laserscanner (LightFab)**
mikrometergenaue Strahlpositionierung zur DOE-Herstellung
- **Hochleistungs-Femtosekundenlaser mit Pulskompression**
Amplitude Tangor, 1030 nm, 800 fs /100 fs, 100 W
- **Femtosekundenlaser mit hoher Repetitionsrate**
Amplitude Satsuma, 1030 nm, 220 fs, 5 W, 40 MHz
- **Galvanometerscansystem mit Strahlformung**
Strahlführung zur Erzeugung von Black Silicon



NUTZUNG FÜR DIE LEHRE

Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der fs-Lasermaterial-funktionalisierung eignen sich insbesondere für Forschungspraktika und Abschlussarbeiten im Rahmen des Studiengangs „Angewandte Physik“. Photonik- und Laserkenntnisse sowie das Verständnis der Prozesse, die bei der Wechselwirkung zwischen Licht und Materie auftreten, sind hier von entscheidender Bedeutung.

Beispiele für Abschlussarbeiten:

- Analyse von Charakterisierungsmethoden zur Bestimmung von Brechungsindexmodulation in Gläsern
- Femtosekundenlaser schwefelhyperdotiertes schwarzes Silizium (fs-hSi) für Infrarot-Sensoren

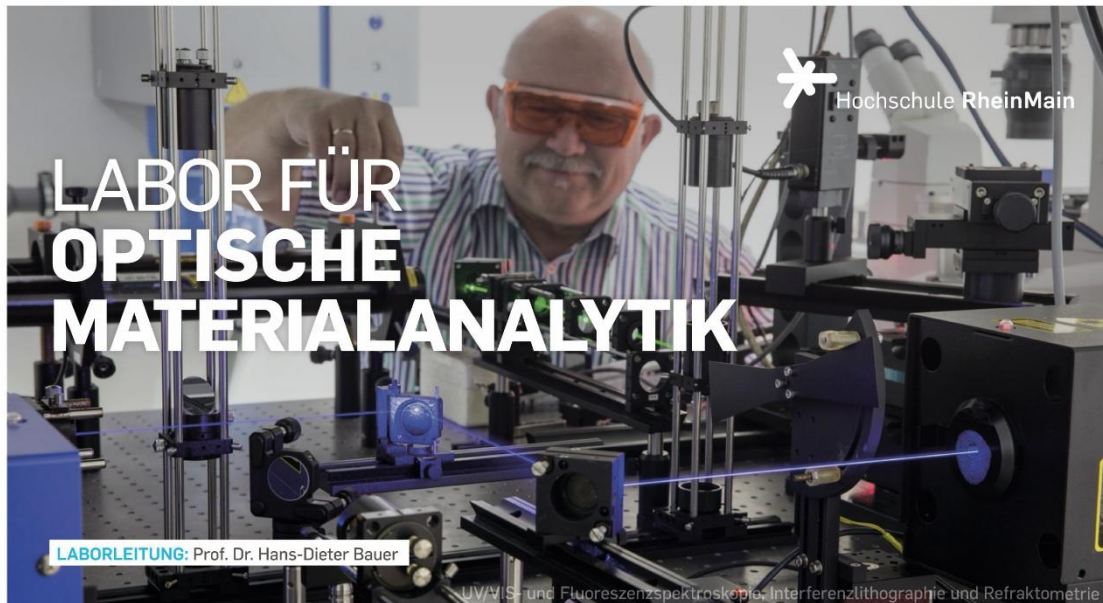
NUTZUNG FÜR DIE FORSCHUNG

Femtosekundenlaser-hyperdotiertes Silizium

Ziel der Forschung in diesem Bereich ist es, die Oberfläche von Silizium durch Laserbestrahlung so zu funktionalisieren, dass sich dessen Absorption im infraroten Wellenlängenbereich erhöht und somit als kostengünstige Alternative für IR-Sensoren und in Solarzellen mit höherem Wirkungsgrad genutzt werden kann.

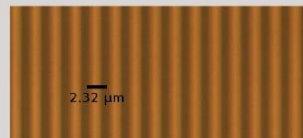
Diffraktive Optische Elemente (DOE)

Im Bereich der DOEs wird der Brechungsindex von transparenten Medien durch Femtosekundenlaserpulse moduliert, um innerhalb des Mediums eine Lichtumlenkung zu erzeugen, sodass seitlich an einer Glasplatte eingestrahktes Licht auf der Fläche des Glases austritt. (Einsatzmöglichkeiten für solche Materialien sind moderne Beleuchtungssysteme und Augmented Reality.)



LABORAUSSTATTUNG

- UV-VIS- und Fluoreszenzspektrometer
- Fasergestützte ATR-Messungen
- Prismen-Refraktometer (3 Wellenlängen)
- Interferenzlithographie (UV/VIS)
- Doppelgoniometer-Messplatz
- Heißprägepresse für Kunststoff-Mikrostrukturen
- Konfokales Profilometer zur Mikrostrukturvermessung



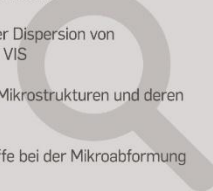
NUTZUNG FÜR DIE LEHRE

- Im Rahmen der Bachelor-Studiengänge „Angewandte Physik“ und „Interdisziplinäre Ingenieurwissenschaften“ können in diesem Labor Projektarbeiten, Berufspraktika und Bachelorarbeiten durchgeführt werden, auch in Zusammenarbeit mit anderen Laboren.
- Im Rahmen des Master-Studiengangs „Angewandte Physik“ ist auch die Durchführung von Forschungspraktika und Masterarbeiten hier möglich.



NUTZUNG FÜR DIE FORSCHUNG

- Vermessung der Transmission und Fluoreszenz von Flüssigkeiten und Festkörpern
- Untersuchung des Verhaltens von photoreaktiven Festkörpern, z. B. photosensitiven Gläsern
- Beeinflussung und Vermessung der Dispersion von Flüssigkeiten und Festkörpern im VIS
- Herstellung einfacher diffraktiver Mikrostrukturen und deren Charakterisierung
- Verhalten transparenter Kunststoffe bei der Mikroabformung



6. Das Beste zum Schluss

Weltumsegler benennen bisher unbekannte Inseln, Zoologen neu entdeckte Tier- und Pflanzenarten. Und das oft nach Menschen, die man damit ehren möchte. In der Physik werden Phänomene, Naturgesetze und Methoden oft ebenfalls nach Personen benannt. Maxwell-Gleichungen, Fermat-Prinzip, Michelson-Interferometer – wer kennt sie nicht. Nun ist auch unserem lieben Kollegen Friedemann Völklein, Mitinitiator und langjähriger Direktor des IMtech, die Ehre zuteilgeworden, dass eine von ihm entwickelte Messmethode nach ihm benannt wurde.

Ehre, wem Ehre gebührt - Herzlichen Glückwunsch!

REVIEW

Thermal Conductivity

A Brief Review on Measuring Methods of Thermal Conductivity of Organic and Hybrid Thermoelectric Materials

Hanfu Wang,* Weiguo Chu,* and Guangming Chen*

Organic and hybrid thermoelectric (OHT) materials have attracted increasing research interest over the past decade. Thermal conductivity measurement plays a critical role in evaluating and improving the thermoelectric performance of various types of these novel materials, ranging from bulks to low-dimensional structures. Commonly used and newly developed techniques for thermal conductivity measurement, most of which have been applied to OHT materials in recent years, are reviewed. They are categorized as steady-state methods, time-domain methods, or frequency-domain methods. The operating principles, merits and limitations, technical issues, and application examples for each technique are also discussed.

measurement methods and to invent new strategies to fulfill the needs of characterizing diverse samples ranging from bulk materials to low-dimensional structures.^[28] For the three properties that are used to determine the ZT value, the characterization of the thermal conductivity usually poses a substantial challenge. This is mainly due to the fact that unwanted heat losses (e.g., from blackbody radiation) and thermal contact resistance (e.g., from the interface between the sample and the temperature sensor) can cause or even bring extra errors to the final results. Measures must be taken



**ADVANCED
ELECTRONIC
MATERIALS**
www.advelectronicmat.de

considered to be a merit for this modification. However, significant error in measuring κ has been found in their studies presumably due to high residual gas pressure remained in their measurement chamber.^[40] This implies that the issues such as heat losses and thermal contact resistance require extremely careful handling when characterizing the small samples.^[38]

2.4. Völklein Method

Völklein et al. have developed a chip-based method to measure the in-plane thermal conductivity of the sub-micrometer thick thin film.^[42–46] The chip (known as λ -chip) includes a rectangular suspended dielectric (e.g., SiN_x) membrane with a thickness of 50 to 100 nm, on which the film specimen can be deposited (**Figure 5a**). A thin metal stripe is created along the long axis of the membrane which serves as both a heater and thermometer. The silicon rim surrounding the membrane acts as a heat sink. All measurements should be conducted in the vacuum environment. The thermal conductivity of the bare membrane needs to be determined first. To do this, a dc current is applied to the metal stripe and the resulted heat will flow through the membrane to the heat sink. At the same time, radiation heat loss will occur from the surfaces of the membrane and the metal stripe. From the temperature rise and the input electrical power, an apparent thermal conductance associated with the chip (G) can be calculated. With certain approximations, it can be shown that the thermal conductance of the membrane due to heat conduction and radiation (G_M) is roughly equal to G .^[44] Since G_M is a function of unknown thermal conductivity $\kappa_{M,\parallel}$ and emissivity ε of the membrane, it is necessary to carry out two measurements with two different membrane geometries so that one may obtain $\kappa_{M,\parallel}$ and ε simultaneously.^[44]

