



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

Institutsbericht 2023/2024

INHALT

1. Mitglieder des IMtech	3
2. Wissenschaftlicher Beirat des IMtech	5
3. Aktuelles aus dem IMtech	6
3.1 Personelles	6
3.2 REQUAS am IMtech	10
3.3 Die Rolle des IMtech im neuen Studiengang Angewandte Ingenieurwissenschaften	14
3.4 QTECH-Initiative	15
3.5 Dissertationen immer wichtiger	16
4. Forschungsprojekte / Kooperationen	18
4.1 Diffraktiv optische Elemente zur Lichtlenkung in transparenten Medien (DiffraLicht)	18
4.2 Femtosecond laser sulfur hyperdoped black silicon for infrared photonic applications (FemtoBlack)	21
4.3 Advanced defect engineering and surface passivation for improving the carrier lifetime in femtosecond laser hyperdoped silicon	26
4.4 Halbleiter-Mikroelektronik mit IMtech-Technologie	30
4.5 Reduktion der Gasabgabe von Beschleuniger-Vakuum-Materialien	31
4.6 Bestimmung der Bindungsstärke von Antikörper-Peptidkomplexen	34
4.7 Verbesserung der MRT-Bildgebung des Sehnervs	34
4.8 Zellversorgung in Hohlfasern-Bioreaktoren	35
4.9 Hydrodynamisches Verhalten von Gefäßstenosen	37
4.10 Primäre Photoreaktionen bei der UV-Strukturierung von FOTURAN II®	38
4.11 Hydrierungsgrad und optische Eigenschaften bei LOHCs	39
4.12 KleinPhi	43
4.13 Mikro-Nano-Interfacing für MEMS-integrierte Sensorik (MINIMISE)	44
5. Publikationen und Öffentlichkeitsarbeit	46
5.1 Wissenschaftliche Publikationen in Fachzeitschriften und populärwissenschaftlichen Magazinen	46
5.2 Teilnahme an Tagungen und Konferenzen	48
5.3 Dissertationen	48
5.4 Master- und Bachelorarbeiten	49
5.5 Teilnahme an PR-Aktionen, Messeauftritte	51

1. Mitglieder des IMtech

Professorinnen und Professoren

Prof. Dr. Hans-Dieter Bauer (amtierender Direktor)

Prof. Dr. Markus Bender (stellvertretender Direktor)

Prof. Dr. Andreas Brensing (derzeit Vizepräsident für Forschung, Entrepreneurship und Wissenschaftskommunikation)

Prof. Dr. Jörg Heimel

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. Friedhelm Völklein (angeblich im Ruhestand)

Aktive wissenschaftliche und technische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Jonas Kuhl, Doktorand

Ingo Lebershausen, Laboringenieur

Jan Leitloff, technischer Mitarbeiter

Christian Marx, Laboringenieur

Patrick McKearney, Doktorand

Andreas Meier, wissenschaftlicher Mitarbeiter

Simon Paulus, Doktorand

Muhammad Saad Khan, wissenschaftlicher Mitarbeiter

Dr. Sören Schäfer, wissenschaftlicher Mitarbeiter (Postdoc)

Martin Sommer, wissenschaftlicher Mitarbeiter

Wissenschaftliche und technische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Ruhestand

Hans Jürgen Beck, ehem. technischer Mitarbeiter

Dr. Mario Dürndorfer

Rainer Groß, ehem. wissenschaftlicher Mitarbeiter

Christina Kunz, ehem. technische Mitarbeiterin

Dr. Heiko Reith (seit 2015 IFW Dresden)

Dr. Jana Recht (seit 2018 P&G, Kronberg)

Dr. Matthias Schmitt (seit 2011 Effen Schleiftechnik, Herrstein)

Sven Stille (seit 2008 Leybold Optics, Alzenau)

Dr. M. Wagner (seit 2018 GSI Helmholtzzentrum, Darmstadt)



Kandidaten, Doktoranden, Mitarbeiter, Professoren... wir sind IMtech! (nicht vollzählig)

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@hmkw.hessen.de

3. Aktuelles aus dem IMtech

3.1 Personelles

Das IMtech „verliert“ seine Reinraumfee!

Seit dem 1. August 2023 befindet sich Frau Christina Kunz, technische Mitarbeiterin am Fachbereich Ingenieurwissenschaften der Hochschule RheinMain, im – mehr als wohlverdienten! – Ruhestand.

Christina Kunz genoss eine Ausbildung zur Physiklaborantin bei SCHOTT in Mainz und kam danach am 1. Dezember 1994 direkt an die Fachhochschule Wiesbaden, wo sie im damaligen Fachbereich Physikalische Technik die Lehre im Physik-Praktikum gemeinsam mit Walter Salamon unterstützte.



„Ausstand“ Ende Juli 2023: Nur ungern entlassen (von links) Friedemann Völklein, Markus Bender, Hans-Dieter Bauer und Stefan Kontermann „ihre“ Christina Kunz (Mitte) in den Ruhestand.

Immer schon darauf bedacht, Neues kennen zu lernen, ergriff sie die Gelegenheit, sich um die Stelle der technischen Mitarbeiterin im Reinraumlabor der Physikalischen Technik zu bewerben. Der von Prof. Dr. Friedemann Völklein geplante und eingerichtete Reinraum wurde noch nicht lange auch schon zur Ausbildung von Studierenden genutzt und der zum 1. Januar 2001 neu berufene Prof. Dr. Hans-Dieter Bauer erhielt mit Frau Kunz eine hoch motivierte Mitarbeiterin. Seither wird die Lehrveranstaltung „Labor Mikrostrukturierung“ regelmäßig angeboten, erst noch im Diplom-, später dann im Bachelorprogramm des Fachbereichs. Auch bei der Gründung und Ausgestaltung des Instituts für Mikrotechnologien (IMtech) war Frau Kunz von Anfang an dabei. Der Reinraum, dem ihre akribische Sorgfalt galt, kann ohne Zweifel als das „Herz“ des Instituts bezeichnet werden: Kaum ein Projekt läuft ab, ohne dass Prozesse und Einrichtungen des Reinraums genutzt werden. Entsprechend hoch ist der Aufwand, dort alles am Laufen zu halten. Und dafür garantierte Christina Kunz. Sie kümmerte sich beständig um die gesamte Organisation der Reinraumnutzung. Sie sorgte dafür, dass immer genug der vielfältigen Chemikalien, Gase, Lösungsmittel und Laborgerätschaften vorhanden waren, sprach mit externen und internen Handwerkern und Servicemitarbeitern Wartungs- und Liefertermine ab, koordinierte die Nutzung durch Kooperationspartner, Lehrveranstaltungen, Abschlusskandidaten, und Doktoranden. Auch erledigte sie all die komplexen Ver- und Entsorgungsarbeiten rund um den Reinraumbetrieb. Insbesondere war sie dem Laborleiter immer eine große Hilfe, wenn es um die Wahrung von Sicherheitsvorschriften ging. Hier nahm sie es besonders genau. Und wenn die Lehre auch nicht ihre eigentliche Aufgabe darstellte, so wurde allen Studierenden, die im Reinraum arbeiteten, sehr schnell klar gemacht, dass „Safety First!“ hier von zentraler Wichtigkeit ist. Dieser ihrer Umsicht ist zu verdanken, dass in nun fast 25 Jahren Reinraumbetrieb niemand auch nur minimal zu Schaden kam.

Ihre Fähigkeit, den Überblick zu behalten, wurde insbesondere in den Semestern strapaziert, als Kurse der FH Frankfurt den Laborkurs absolvierten und bis zu 20 Studierende den kaum 40qm großen Reinraum „bevölkerten“. Doch mit dem ihr eigenen Gespür, wo und an welcher Apparatur jetzt gleich wieder etwas schief zu gehen droht und mit ihrer notfalls alle anderen Anwesenden locker übertönenden Stimme konnte sie die allermeisten Katastrophen verhindern.

Nicht unerwähnt bleiben darf die Freude am ästhetischen Gestalten, die Christina Kunz auszeichnet. Einen kleinen Eindruck davon haben alle bekommen, die über Jahre hinweg, immer gegen Jahresende, einen IMtech-Kalender in ihrem Postfach vorfanden. Viele Projekte, die im Reinraum liefen, wurden auf diese ganz unwissenschaftliche Weise einem kleinen Publikum nahegebracht, bei dem sich IMtech damit bedankte und denen das Institut ein gutes neues

Jahr wünschte. Auch unter dem Mikroskop gefundene Fehlerchen, Eigentümlichkeiten oder ob der Vergrößerung einfach bizarr wirkende Strukturen wurden plötzlich zu ganz eigenen kleinen Kunstwerken.

Vom Nachfolger, der bereits gefunden wurde und die Stelle am 1. Januar 2024 angetreten hat, kann und darf nicht im Mindesten erwartet werden, dass er schon nach kurzer Zeit die Lücke auszufüllen imstande ist, die Christina Kunz hinterlässt. Sie hat Maßstäbe gesetzt. Und die Dozenten und Mitarbeiter, die mit ihr arbeiteten, dürfen sich glücklich schätzen.

Wir wünschen „unserer“ Christina Kunz alles Gute! Möge sie Ihren Ruhestand, vor allem die Stunden mit der Familie und ihrem geliebten Garten genießen. Wir werden sie vermissen. Einen letzten Wunsch haben wir noch: Bitte vorsichtshalber immer telefonisch erreichbar bleiben....!

Hans-Dieter Bauer

für die gesamte IMtech-Crew

Die neue Reinraumfee: Jan Leitloff



Neuer technischer Mitarbeiter, verantwortlich für den reibungslosen Betrieb des Reinraumlabor, ist Jan Leitloff, geboren am 6. 5. 1988 in Arnstadt, Thüringen. Er absolvierte von 2004 bis 2007 eine Ausbildung zum Physiklaboranten bei der SCHOTT AG in Mainz. Danach durchlief er bis 2011 mehrere nationale Stationen im SCHOTT-Konzern, u.a. auch SCHOTT Solar. Bis 2020 arbeitete er dann als Physiklaborant bei der Heraeus Noblelight GmbH in Hanau und ging dann als technischer Mitarbeiter zum Fraunhofer IWKS, ebenfalls in Hanau.

Seit 2. 1. 2024 ist er an der HSRM und erledigt Beschaffungstätigkeiten, überwacht Wartungs- und Reparaturarbeiten sowie die nötige Schreibearbeit

rund um den Reinraum. Insbesondere aber unterstützt er den Laborleiter bei Angelegenheiten

der Arbeitssicherheit und bei der Durchführung der Laborkurse. Auch die technische Betreuung von Abschlussarbeiten gehört dazu. Wo irgend möglich, arbeitet er sich in neue Gerätschaften und Programme ein, um in Zukunft auch bei wissenschaftlichen Projekten mithelfen zu können.

In seiner Freizeit ist er Bassist in einer Band, Stilrichtung Metal. Zu seinen Hobbies gehört es folgerichtig, bei Konzerten aufzutreten wie auch solche zu besuchen. Natürlich verbringt er seine Freizeit am liebsten mit Freundin und Freunden und geht gerne wandern.

Wenn er auch schon seit anderthalb Jahren seinen Dienst im IMtech versieht: Es ist nie zu spät ihm alles Gute hier an der HSRM zu wünschen!

Sie werden den Laden rocken!

Hans-Dieter Bauer



3.2 REQUAS am IMtech

An dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Bund-Länder-Programm „FH-Personal“ geförderten Projekt REQUAS (Kooperative Rekrutierungs- und Qualifizierungslinien) nimmt auch die HSRM teil. Hierbei kooperiert die Hochschule mit ausgewählten Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft, nämlich dem Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD, dem Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF (beide Darmstadt) und dem Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM (Mainz). Von diesem innovativen Programm zur Gewinnung und Entwicklung von Fachhochschulprofessorinnen und –professoren profitieren alle Seiten – und auch das Imtech.

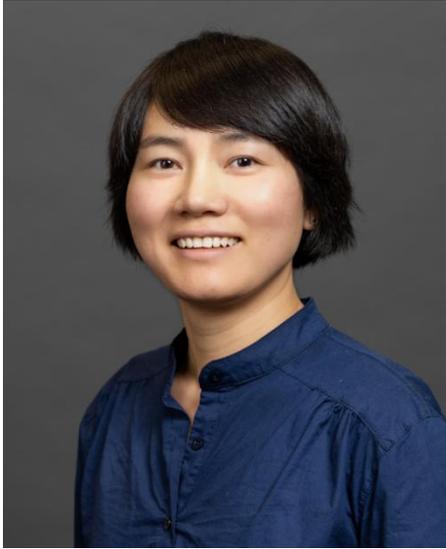
In insgesamt drei sog. RQ-Linien mit unterschiedlicher Schwerpunktsetzung („PostDocs“, „Senior Researcher“ und „Gender Equality“) und mit Fokus auf die Fachbereiche Ingenieurwissenschaften (ING) und Design Informatik Medien (DCSM) werden in REQUAS bis ins Jahr 2027 an der HSRM insgesamt 12 Wissenschaftler:innen auf die Aufgaben und Anforderungen einer HAW-Professur vorbereitet sowie die formalen Voraussetzungen für eine Berufungsfähigkeit geschaffen.

Dies geschieht, indem die Wissenschaftler:innen in Forschung und Lehre an der Hochschule RheinMain (HSRM) eingebunden werden und gleichzeitig Praxiserfahrung an den beteiligten Fraunhofer-Instituten (FhI) sammeln können. Flankiert wird diese Stellenkombination durch spezifische Schulungen an der HSRM und an den FhI sowie durch die individuelle Begleitung durch erfahrene Professor:innen der HSRM als Mentor:innen.

Je nach Qualifizierungslinie starten die Wissenschaftler:innen dabei als wissenschaftliche Mitarbeiter und wechseln zu einem späteren Zeitpunkt auf eine befristete HAW-Vertretungsprofessur (Post Docs- bzw. Praxisqualifikationslinie, Laufzeit: 5 Jahre) oder beginnen direkt auf einer befristeten HAW-Vertretungsprofessur (Senior Researcher- bzw. Nebentätigkeitslinie, Laufzeit: 3 Jahre; Gender Equality- bzw. Frauenförderlinie, Laufzeit: 4 Jahre). Während der Laufzeit der einzelnen Qualifizierungslinien sind die Wissenschaftler:innen sowohl an der HSRM als auch an den beteiligten FhI mit unterschiedlichen Stellenanteilen beschäftigt.

IMtech bzw. vor allem auch die Studiengänge Angewandte Physik (Bachelor und Master) sind derzeit die Teilzeit-Heimat von drei REQUAS-Gästen, die hier kurz vorgestellt werden sollen.

Professor Dr. Xiangping Li



Frau Dr. Li ist Expertin für Mikrofluidik und bisher insbesondere in der diagnostischen Forschung aktiv. Derzeit ist sie Gruppenleiterin Präzisionsmikrofluidik am Fraunhofer IMM in Mainz. Ihre Interessen gelten dabei vor allem der personalisierten Behandlung im Falle von Pandemien und seltenen Krankheiten. Sie nutzt hierzu unterschiedliche PCR-Plattformen (quantitative PCR, Tröpfchen-PCR, digitale PCR, wiederverwendbare PCR), außerdem Organ-on-Chip Setups (Gehirn-on-Chip, Gelenk-on-Chip, Leber-on-Chip, Lunge-on-Chip) sowie Sensoren (BioMEMS, Mikroelektroarrays, Wearables).

Sie war von 2015-2018 Doktorandin bei KIST Europe & Universität des Saarlandes, Saarbrücken, und wechselte dann als Postdoc in die dortige Gruppe Experimentalphysik, wo sie bis 2021 arbeitete. Nach einem kurzen Gastspiel bei MBA - European Management, ebenfalls an der Universität des Saarlandes, wechselte sie 2021 als Postdoc zu IMT & PVZ, Technische Universität Braunschweig. Seit 2023 ist sie im Rahmen des REQUAS-Programms (Gender Equality Linie) Vertretungsprofessorin an der HSRM.

Hier bringt sie ihre Expertise in Mikrofluidik in bestehende Lehrveranstaltungen zur Mikrosystemtechnik ein und unterstützt Prof. Bauer bei der Durchführung des Labors für Mikrostrukturierung, indem sie Vorlesungsteile sowie praktische Übungen zu den Themen Mikrostruktur-Design und Mikrofluidik beisteuert. Mittelfristig wird sich so die Aktualität und Attraktivität dieses Laborkurses steigern. Auch ein eigenes Labor zur Mikrofluidik anbieten zu können ist ein Ziel von Frau Li. Des Weiteren sammelt sie Erfahrung im alltäglichen Hochschulbetrieb durch Beratung und Betreuung von Studierenden, Teilnahme an Gremiensitzungen und Hochschulveranstaltungen und bei der Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen.

Dr. Sören Schäfer



Herrn Dr. Schäfers Fachgebiet ist die Photonik – und davon viele Facetten. Ihn interessieren insbesondere die Licht-Materie-Wechselwirkungen, vor allem unter Benutzung von Lasern und im Hinblick auf Anwendungen im Bereich Photovoltaik und Sensorik.

Nach seinem Physikstudium an der Philipps-Universität Marburg ist er 2012 an das Institut für Solarenergieforschung (ISFH) in Hameln gewechselt. Dort hat er bis 2021 im Bereich Silizium-Photovoltaik geforscht und über neuartige Lichteinfangstrukturen für Hocheffizienzsolarzellen

auf Siliziumbasis 2018 an der Leibniz-Universität Hannover promoviert. Sein Tätigkeitsfeld erstreckte sich von der praktischen Prozessentwicklung und Charakterisierung von Halbleiterstrukturen bis zur Modellbildung und Simulation. Als eine wichtige Schlüsseltechnologie im Bereich der Effizienzsteigerung von Solarzellen hat sich neben den sogenannten passivierenden Kontakten die Bearbeitung der Proben mit Ultrakurzpulslasern erwiesen.

Über diese thematische Anknüpfung ist er schon 2021 als Postdoc ans IMtech gewechselt. Ziel des Forschungsprojektes in der AG Photonik von Prof. Kontermann war es unter anderem herauszufinden, inwiefern durch den Beschuss von Silizium in einer dotiergashaltigen Atmosphäre mit ultrakurzen Laserpulsen im Femtosekundenbereich das optische Absorptionsvermögen von Silizium vergrößert werden kann. Das ist eine Grundvoraussetzung dafür, dass günstiges Silizium perspektivisch auch als optischer Detektor, eine Art „Mini-Solarzelle“, für Spektralbereiche angewendet werden kann, für die bisher eher teurere Materialsysteme zum Einsatz kommen. Seit Mitte 2022 ist Dr. Schäfer im Rahmen von REQUAS als Dozent auch in der Lehre engagiert, wo er insbesondere Lehrveranstaltungen der Profs. Kontermann und Bauer zu den Themen Optik, Photonik und Laserphysik - im Bachelor- und Master-Studiengang Angewandte Physik – ganz oder teilweise übernimmt. Parallel ist er am Fraunhofer IMM in Mainz beschäftigt, wo er thematisch im Bereich der MEMS-Sensorik arbeitet.

Professor Dr. Michael Baßler



ist Physiker und Bereichsleiter für Diagnostik am Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme (IMM) in Mainz. Seit 2025 ist er auch Sprecher des neu gegründeten Fraunhofer Leistungszentrums Einzelzelltechnologien. Seit Oktober 2024 ist er zusätzlich im Nebenberuf tätig als Gastprofessor an der Hochschule RheinMain.

Nach seiner Promotion an der Universität Erlangen-Nürnberg war er in leitenden Positionen in Industrie und Forschung tätig, u. a. am Palo Alto Research Center (PARC) in Kalifornien und bei der Thermosensorik GmbH.

Am Fraunhofer IMM ist er seit 2009 und hat dort unter anderem mittels einer Förderung durch einen renommierten ERC Starting Grant ein neues Arbeitsgebiet aufgebaut. Im Zentrum seiner Arbeiten steht die Miniaturisierung und Automatisierung mikrofluidischer Systeme für die medizinische Diagnostik. Sein besonderes Interesse gilt der Entwicklung innovativer Technologien zur Zählung, Sortierung, Vereinzelung und Analyse einzelner Zellen – mit Anwendungen in der Tumor- und Pharmaforschung. Zu den jüngsten Entwicklungen in seinem Verantwortungsbereich zählen mikrofluidische Kartuschen zur Analyse biochemischer Blutparameter, ultraschnelle Point-of-Care PCR-Lösungen, miniaturisierte mikrofluidische Sensorsysteme zur Flüssigkeitsdetektion und Analytik sowie mikrofluidische Lösungen zur Dispensierung einzelner Zellen in minimalem Tropfenvolumen mit höchster Positioniergenauigkeit („Zelldruck“). Langfristig verfolgt er die Vision eines 3D-Zelldrucks für die regenerative Medizin, mit dem Ziel, komplexe organähnliche Strukturen aus verschiedenen Zelltypen aufzubauen. In enger Kooperation mit medizinischen Partnern plant er den Aufbau eines Forschungslabors zur Hochdurchsatz-Einzelzellanalytik, das die Brücke zwischen biomedizinischer Fragestellung und technologischer Umsetzung schlägt.

Nicht unerwähnt bleiben soll hier, dass auch ein „Eigengewächs“, nämlich Dr. Matthias Enders, zu den REQUAS-Gästen an der HSRM gehört, wenn auch nicht am IMtech beheimatet. Herr Enders hat seinen Bachelor- wie auch seinen Master-Abschluss an der HSRM gemacht und bei Profs. Scheppat und Bauer auf einem Thema zur Wasserstoffsensorik bzw. über ein Sensorprinzip bei Feststoffspeichersubstanzen gearbeitet und im Rahmen einer kooperativen Promotion seine Dissertation angefertigt. (Siehe dazu auch Kapitel 3.4 und die letzten Jahresberichte.)

Herr Dr. Enders ist am Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, Darmstadt, angestellt und unterstützt an der HSRM vornehmlich das AZARE-Projekt. Darüber hinaus übernimmt er Lehrveranstaltungen von Prof. Scheppat, die zum Ende des Sommersemesters 2025 in den Ruhestand geht, zumindest bis zum Amtsantritt ihres Nachfolgers.

3.3 Die Rolle des IMtech im neuen Studiengang Angewandte Ingenieurwissenschaften

Zur Zeit befindet sich der Fachbereich Ingenieurwissenschaften im Umbruch. Das gesamte Bachelor-Lehrangebot, z.Zt. immerhin 14 Studiengänge und einige Studienrichtungen, darunter auch duale Versionen, sollen zu einem einzigen(!) Studiengang Angewandte Ingenieurwissenschaften zusammengefasst werden, der dann mit entsprechend vielen Studienrichtungen ausgestattet sein wird. Im Zuge dieser Zusammenlegung werden alle Module mit 5 CP versehen, so dass jedes Semester formal aus sechs Modulen besteht. Anpassung und Vereinheitlichung soll dazu führen, dass deutlich mehr Module als bisher für mehrere Studienrichtungen genutzt werden können und ein Wechsel zwischen den Studienrichtungen erleichtert wird.

Das Vorhaben ist nicht unumstritten. Erleichtert es den Studierenden die Studienwahl? Wie sieht es mit der Profilbildung innerhalb der Studienrichtungen aus? Wie bewirbt man einen solchen Mammutstudiengang nach außen? Sind Module wirklich so gestaltbar, dass sie mehrere ganz verschiedene Studienrichtungen adäquat „bedienen“?

Ein deutliches Anwachsen der Zahl von Modulen, die in allen Studienrichtungen belegt werden müssen, verlangt nach Kürzung oder gar Streichung von bisherigen Studieninhalten. Gerade solche Lehrveranstaltungen, die „nur noch“ für eine Studienrichtung durchgeführt werden müssten, kann sich eine Studienrichtung nur noch in geringer Anzahl leisten. Und bei der geringen Anzahl von Studierenden im bisherigen Studiengang Angewandte Physik kann man sich kaum mehr größere Wahlmöglichkeiten *innerhalb* der Studienrichtung erlauben. Nichtsdestotrotz hält das Kollegium daran fest, die profilbildenden Kompetenzfelder Mikrotechnologie, Photonik und Energie weiterzuführen, verpflichtend für alle Studierenden der Studienrichtung AP und wählbar für Studierende anderer Studienrichtungen. (Der Studiengang Interdisziplinäre Ingenieurwissenschaften mit der hauptsächlich vom AP&MED-Kollegium getragenen Studienrichtung Medizintechnik wird im übrigen aufgelöst in eine Studienrichtung Medizintechnik und eine Studienrichtung Mechatronik.)

Mit Lehrveranstaltungen zu Quantentechnologie und Mikrofluidik werden in die zukünftige Studienrichtung AP auch neue, innovative Lehrinhalte aufgenommen, die die Attraktivität des AP-Studiums erhöhen sollen. Steht für das letztgenannte Fachgebiet Prof. Dr. Xiangping Li (siehe



3.2), so hat bei erstgenanntem Dr. Susanna Gallas (Bild) bereits einen großen Beitrag geleistet. Ihre Lehrveranstaltung Quantentechnologie hat in der Vergangenheit nicht nur bei Studierenden der AP „gepunktet“. Seit Sommersemester 2025 bietet sie auch ein Labor zum selben Thema an. Schließlich hat, was so hochwissenschaftlich klingt, bereits zu etlichen Anwendungen geführt: Die Quantenkryptographie hilft, digitale Informationen zu verschlüsseln und führende HiTech-Unternehmen sind dabei, erste Quantencomputer zu realisieren. Auch in der Sensorik setzt die Quantentechnologie vielversprechende Akzente. Im QT-Labor können die Studierenden selbstständig Experimente

durchführen, deren Titel aufhorchen lassen: Bombentest, Quantenradierer und Einzelphotonen-Interferometer!

3.4 QTECH-Initiative

Ende 2024 hat das IMtech weitere konkrete Aktivitäten zum Thema „Quantentechnologien und Mikroelektronik“ begonnen. Dabei werden Ideen aufgegriffen, die bereits seit Längerem in der Diskussion waren, und das nicht nur am Fachbereich ING: Das Kernstück bildet eine fachbereichsübergreifende Kooperation mit dem Wiesbadener Fachbereich DCSM (Design, Informatik, Medien), exakter mit der Fachgruppe Technische Informatik dort. Vordringliches Ziel dieser Kooperation ist die Akquise von Projekten, um gemeinsame Forschung an obigen Themen zu betreiben. Parallel dazu sollen ein neuer, CMOS-fähiger Reinraum (in Rüsselsheim) und Peripherielabore aufgebaut und ausgerüstet werden, in denen Chipfertigung (im Kleinstmaßstab) und Forschung zur Quantentechnologie möglich sein sollen. Der Zeithorizont muss hier wohl mit ca. sieben Jahren angesetzt werden, wobei die Reinraumrealisierung am IMtech deutlich schneller von statten gehen soll.

Die anzustrebenden Projekte sollen vor allem die Bereiche Cybersecurity, Quantenkryptographie, Deep Tech, Digitale Autonomie u.ä. betreffen. QTECH bringt Kompetenzen der Technischen Informatik (DCSM) und der Physik (IMtech) zusammen und benötigt außerdem Expertise aus den Bereichen Elektrotechnik, Umwelttechnik und Maschinenbau, um im Bereich

Quantentechnologien und Mikroelektronik durch einen interdisziplinären Ansatz dazu beitragen zu können, die digitale Souveränität Deutschlands zu sichern und Quantentechnologien in die Anwendung zu bringen. Hierdurch sollen Innovationen im Bereich Chiptechnologie, Cybersecurity, Sensorik und Quantenkommunikation ermöglicht werden. Als technologische Basis sollen eine CMOS-Prozesskette für elektronische Signalübertragung und eine erweiterte Prozesskette für siliziumkompatible photonische Signalübertragung zur Anbindung von Qubits an CMOS-Strukturen realisiert werden.

Personell wird dabei am FB ING bereits vorhandene Expertise (Prof. Dr. Jochen Rau, Dr. Susanna Gallas) eingebunden und es soll eine wieder zu besetzende Professur (Nachfolge Prof. Bauer ab Wintersemester 2026) neu ausgerichtet werden. Größere Um- und Neubaubemühungen am Campus Rüsselsheim (das E-Gebäude betreffend), die sich bereits in der Planungsphase befinden, kommen der QTECH-Initiative dabei entgegen, gerade hinsichtlich des dafür nötigen Reinraumes.

3.5 Dissertationen immer wichtiger

Anwendungsbezogene Forschung und Entwicklung gehören zu den Aufgaben der Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HHG §4(3)). Forschung benötigt natürlich Forscher. Professorinnen und Professoren mit 18 SWS Lehrverpflichtung sind deshalb immer auf der Suche nach geeigneten jungen Menschen, die mithelfen, ihre Ideen im Bereich F&E zu verwirklichen. Die Studierenden, die an der HSRM ausgebildet werden, zukünftige Ingenieure, ob Bachelor oder Master, können an Forschungsprojekten ihre Kompetenzen vervollständigen und abrunden. Jedoch sind solche Abschlussarbeiten zeitlich relativ knapp bemessen und auch hinsichtlich der Durchdringungstiefe kann man von den Kandidatinnen und Kandidaten meist nicht erwarten, dass sie ein Forschungsprojekt essentiell voranbringen – Ausnahmen bestätigen die Regel. Zudem bevorzugen traditionell viele Studierende eine externe Abschlussarbeit, bei einem Unternehmen, einem Institut oder einer Behörde außerhalb der Hochschule. Und Doktorand:innen? Schafft man es, ausreichend Drittmittel für ein Forschungsprojekt einzuwerben, so können diese auch dazu dienen, Doktorandinnen und Doktoranden für z.B. drei Jahre zu entlohnen. Doch nur, wenn eine Professorin oder ein Professor einer Universität das Erstreferat übernimmt. Mit solchen kooperativen Promotions ist IMtech immer gut gefahren, jedoch ist diese Lösung – gegenüber einem „eigenen“ Promotionsrecht – unbefriedigend.

Diese Situation scheint sich allmählich zu verändern. Die HSRM strebt nun, nachdem das Promotionsrecht für sozialwissenschaftliche Studienrichtungen in Wiesbaden eingeführt

wurde, auch für den Fachbereich Ingenieurwissenschaften das Promotionsrecht an. Ein entsprechendes Promotionszentrum, das von forschungsstarken Lehrenden getragen werden wird, ist im Aufbau. IMtech-Professoren sind an der Ausgestaltung beteiligt.

Gerade IMtech führt bisher bereits mit Erfolg kooperative Promotionen durch. Gerade aus dem Master-Studiengang Angewandte Physik erwachsen leistungsstarke Absolventinnen und Absolventen, die eine Weiterqualifizierung durch Promotion anstreben. Mit den meisten so entstehenden Promotionen hat die HSRM leider nichts mehr zu tun. Hin und wieder kann jedoch die eine oder andere Absolventin oder ein Absolvent für eine Dissertation in einem von IMtech eingeworbenen Projekt gewonnen werden. Der Nestor des IMtech, Professor Dr. Friedemann Völklein, hat als Doktorvater einige Promotionsarbeiten am IMtech betreut. Wir hoffen, dass diese Aktivität ausgebaut und vertieft werden kann, sobald das o.g. Promotionszentrum seine Arbeit aufnimmt. Dann wird es sicher häufiger die Gelegenheit geben, auf eine frisch „gebackene“ Doktorin oder einen Doktor anzustoßen, wie es Anfang 2024 der Fall war bei Dr. Matthias Enders, an dessen Promotionsprojekt IMtech zumindest teilweise beteiligt war (Abb. unten).



Geschafft! Der frischgebackene Doktor Matthias Enders mit Doktorvätern und -mutter, Hans-Dieter Bauer und Birgit Scheppat von der HSRM sowie Christian Hess von der TU Darmstadt, kurz nach dem bestandenen Rigorosum.



Verena Velthaus nach dem Rigorosum (siehe 5.3).

4. Forschungsprojekte / Kooperationen

4.1 Diffraktiv-optische Elemente zur Lichtlenkung in transparenten Medien (DiffraLicht)

(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. Eine der hervorgegerufenen Änderungen im anisotropen Bereich sind "single nano slits" (SNS), dt. Einzelnanospalten, welche die gleiche Linienform wie die in *Abbildung 4.1.1* gezeigte Nanogitterstruktur aufweisen, aber nur aus einer einzigen Linie bestehen.

Durch gezieltes Stapeln der SNS Strukturen lassen sich Flächen anistropen Änderung erzeugen. An diesen erfolgt auf Grund des Brechzahlunterschieds zum Substratmaterial ein Reflex. Je nach Orientierung kann so das Licht umgelenkt werden. Ein Substrat mit eingebrachten Nanoebenen ist in *Abbildung 4.1.3* unter verschiedenen Hintergrundbelichtungen gezeigt, die Kameraeinstellungen sind bei allen Bildansichten gleich. Der von links einfallende Laserstrahl wird an den jeweiligen Ebenen teilreflektiert, eine Streuung oder eine Teilreflektion senkrecht zur Laserstrahlrichtung ist nicht sichtbar.

Abbildung 4.1.4 zeigt in (a) ein Substrat mit Mikroreflektorebenen, welche das links eingebrachte Licht aus der Substratebene herausreflektieren. Aufgrund der verschiedenen Fabrikationsparameter sind die Teilreflektionen unterschiedlich ausgeprägt und die jeweiligen Reflektionen sind weiterhin wellenlängenabhängig. Dies ist in (b) für je einen roten, grünen und blauen Farbraum gezeigt. Durch gezieltes Anpassen des Intensitätsspektrums kann somit eine Weißlichtleiterplatte als Beleuchtungselement realisiert werden, welche im nicht belichteten Zustand eine hohe Transparenz aufweist.

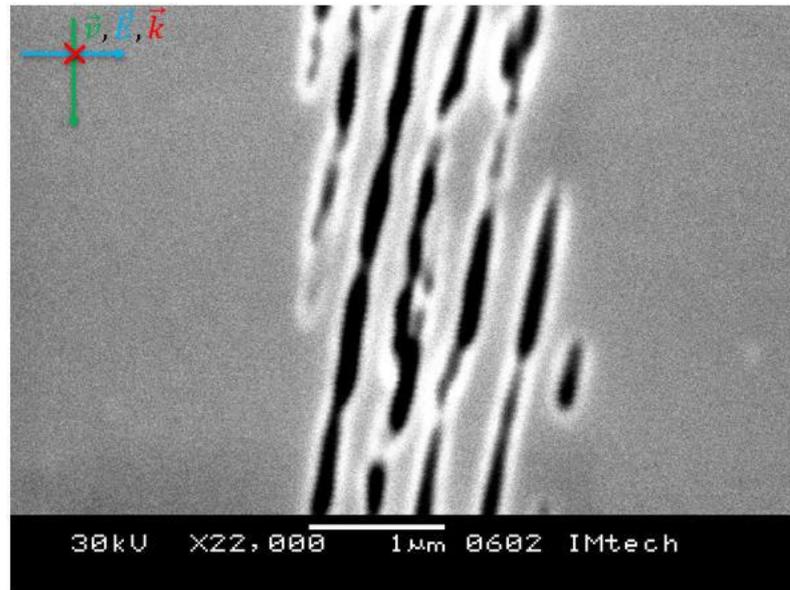
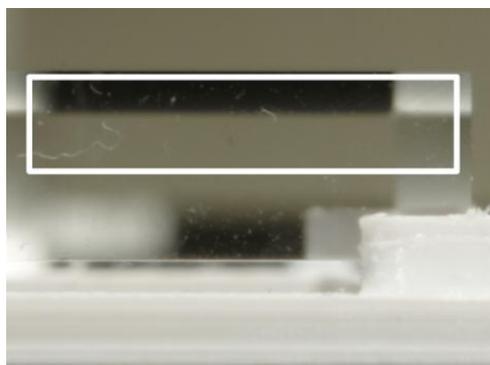
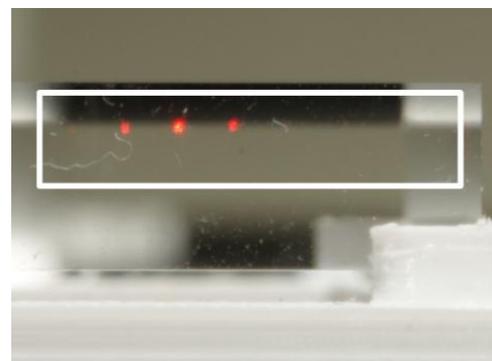


Abbildung 4.1.1: Rasterelektronenmikroskopaufnahme von anisotropen Nanogitterstrukturen in Quarzglas, dunkle Bereiche sind mittels selektivem Ätzen entfernt worden. Diese Bereiche weisen vor dem Ätzen einen verringerten Brechungsindex auf.

Durch Anordnen der SNS-Strukturen lassen sich Flächen anistropen Änderung erzeugen. An diesen erfolgt auf Grund des Brechzahlunterschieds zum Substratmaterial ein Reflex. Je nach Orientierung kann so das Licht umgelenkt werden. Ein Substrat mit eingebrachten Nanoebenen ist in Abbn. 4.1.2 und 4.1.3 mit verschiedenen Hintergrundbeleuchtungen gezeigt, die Kameraeinstellungen sind bei allen Bildansichten gleich.

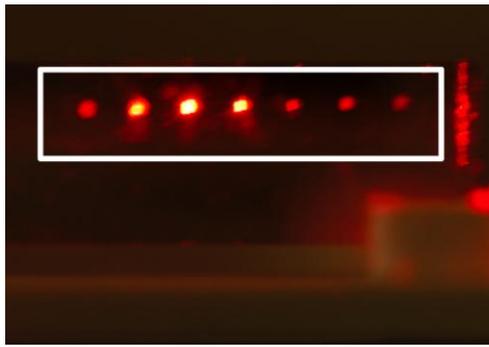


(a)

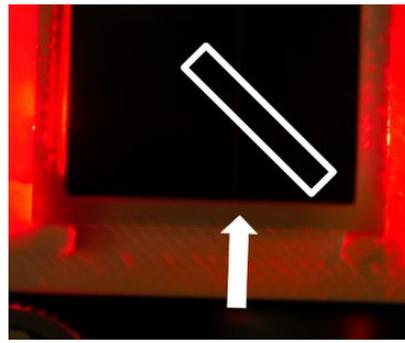


(b)

Abbildung 4.1.2: Probe im (a) nicht angestrahlten Zustand, (b) angestrahlten Zustand, die Laserstrahlmitte befindet sich auf der mittleren sichtbaren Ebene und erzeugt den sichtbaren Intensitätsunterschied. Der markierte Bereich enthält im gesamten Bereich Reflektionsstrukturen.



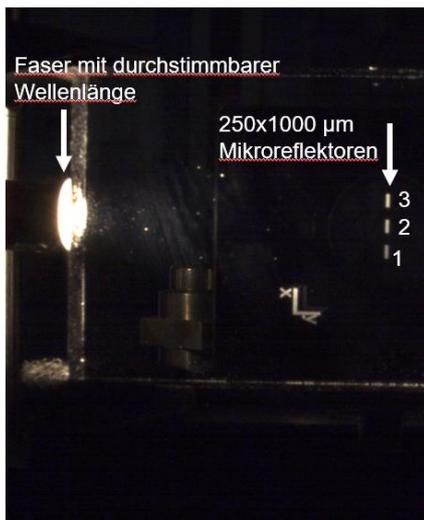
(a)



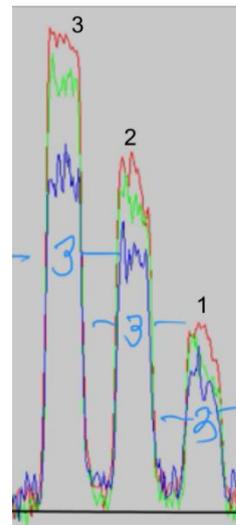
(b)

Abbildung 4.1.3: Probe im angestrahlten Zustand, der markierte Bereich enthält die Reflektionsstrukturen. (a) Seitenansicht der Probe mit sieben Reflektionsbereichen. (b) Aufsicht auf die Probe ohne Streueffekte senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Laserlichtquelle. Der Pfeil zeigt die vorherige Blickrichtung in (a).

Der von links einfallende Laserstrahl wird an den jeweiligen Ebenen teilreflektiert und aus dem Substrat gelenkt (a), eine Streuung oder eine Teilreflektion senkrecht nach oben (b) zur Laserstrahlrichtung ist nicht sichtbar.



(a)



(b)

Abbildung 4.1.4: (a) Messaufbau zur wellenlängenabhängigen Reflexmessung mit durchstimmbarer Faser an drei Mikrostrukturen, (b) gemessene Relativreflexwerte im roten, grünen und blauen Farbraum an den jeweiligen Mikrostrukturen.

Abb. 4.1.4 zeigt in (a) ein Substrat mit Mikroreflektorebenen, welche das links eingebrachte Licht aus der Substratebene herausreflektieren. Aufgrund der verschiedenen Fabrikationsparameter sind die Teilreflektionen unterschiedlich ausgeprägt und die jeweiligen Reflektionen sind weiterhin wellenlängenabhängig. Dies ist in (b) für je einen roten, grünen und blauen Farb-raum gezeigt. Durch gezieltes Anpassen des Intensitätsspektrums kann somit eine Weißlichtleiterplatte als Beleuchtungselement realisiert werden, welche im nicht belichteten Zustand eine hohe Transparenz aufweist.

4.2 Femtosecond laser sulfur hyperdoped black silicon for infrared photonic applications (FemtoBlack) (Kontermann)

Projektpartner: InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik, Dresden
Photonics Hub GmbH, Wörrstadt, Aalto University, Department of Electronics and Nanoengineering, Espoo, Finnland, Beneq Oy Thin Film Solutions, Espoo, Finnland, EIFys Oy Black Silicon Photodiodes, Espoo, Finnland, Noptel Optoelectronic Distance and Position Sensor, Oulu, Finnland

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 abzuscheidende IR-Sensormaterialien wie InGaAs, InSb oder HgCdTe ersetzen könnte.

Für die Herstellung von fs-hSi mit lateral homogener Oberflächenstruktur und Dotierprofil werden der Pulsüberlapp in Scanrichtung und der Abstand der Scanlinien gleich groß gewählt. Somit werden die Scanparameter Repetitionsrate, Schreibgeschwindigkeit und Linienabstand durch die Angabe der Anzahl der Pulse pro Spotfläche ausgedrückt und stehen stets in einem festen Verhältnis zueinander. Weiterhin werden die Energie der Laserpulse und der $1/e^2$ -Durchmesser der Intensitätsverteilung in der Bearbeitungsebene in der Spitzenfluenz zusammengefasst. Somit wurden die variablen Laser- und Scanparameter auf zwei Parameter reduziert und eine Parameterstudie durchgeführt. Die hierbei entwickelten Laserprozesse wurden auf ein Hochleistungs-Lasersystem übertragen, um den Probendurchsatz zu erhöhen und die Skalierbarkeit zu demonstrieren. Da sich die Lasersysteme in der zentralen Wellenlänge unterscheiden, wurde zunächst dieser Einfluss untersucht. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde ein Parameterübertrag durchgeführt, wodurch die Vergleichbarkeit zu den bisherigen Studien gewährleistet wird. Mit einer ersten Prozessoptimierung wurde die Zeit zur Herstellung von fs-hSi um den Faktor 34 reduziert. Im zweiten Schritt der Aufskalierung wurde ein diffraktives Strahlformmodul eingesetzt, um die gaußförmige Intensitätsverteilung der Laserstrahlquelle in ein Linienprofil umzuwandeln. Durch Entwicklung einer geeigneten Prozessführung wurde die Flächenbearbeitungsrate um einen weiteren Faktor 22 reduziert. Insgesamt konnte so die Prozessgeschwindigkeit von fs-hSi Flächen um einen Faktor von $34 \cdot 22 = 748$ erhöht werden. Diese Ergebnisse sind in einer von Fachkollegen begutachteten Publikation im *Journal of Laser Micro/Nanoengineering* [1] erschienen.

Weiterhin wurde der Einfluss der Pulsdauer auf die Oberflächenstruktur, die optische Absorption, das Dotierprofil, die elektrischen Eigenschaften und die Ladungsträgerlebensdauer untersucht. Hierbei wurde gezeigt, dass bei gleicher Oberflächenstruktur und Infrarot-Absorption, eine längere Pulsdauer zu einer weniger tiefen hyperdotierten Schicht, einer höheren Querleitfähigkeit und höherer Ladungsträgerlebensdauer führt. In Abb. 4.2.1 sind die Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS)-Profile (a) und effektiven Ladungsträgerlebensdauern nach ALD-Passivierung mit Al_2O_3 (b) dargestellt. Die Ergebnisse sind in einer von Fachkollegen begutachteten Publikation in der Zeitschrift *Advanced Photonics Research* [2] erschienen.

Die Nachbearbeitung von fs-hSi mit Pikosekunden-Laserpulsen bei einer Repetitionsrate von 41 MHz untersucht. Hierbei werden durch gezielte Wärmeakkumulation Temperaturen im Bereich der Schmelztemperatur von Silizium und hohe Abkühlraten von mehreren 1000 Kelvin pro Sekunde erreicht. In Abb. 4.2.2 sind simulierte Temperaturprofile für verschiedene Fluenzen während des Prozesses dargestellt.

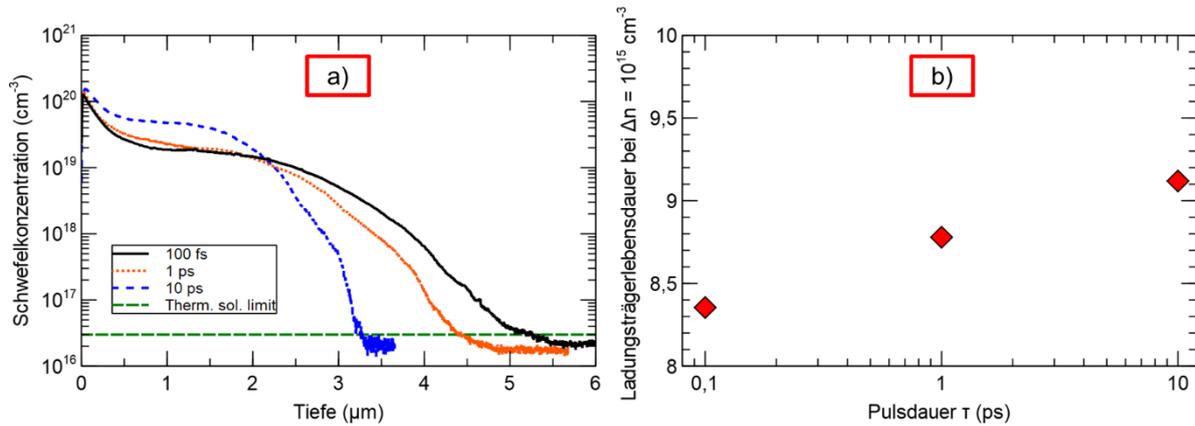


Abbildung 4.2.1: SIMS-Profilen für fs-hSi, das mit 100 fs, 1 ps und 10 ps hergestellt wurde (a). Effektive Ladungsträgerlebensdauer von oberflächenpassiviertem fs-hSi in Abhängigkeit der Pulsdauer bei der Hyperdotierung (b).

Das Verfahren, welches wir als Ultrafast Laser Heating (ULH) bezeichnen, führt zur Wiederherstellung der Kristallinität und der elektrischen Aktivierung der Schwefel-Dotanden bei gleichzeitigem Erhalt der Absorption im infraroten Spektralbereich. Die Ergebnisse sind in einer von Fachkollegen begutachteten Publikation im *Journal of Applied Physics* erschienen [3].

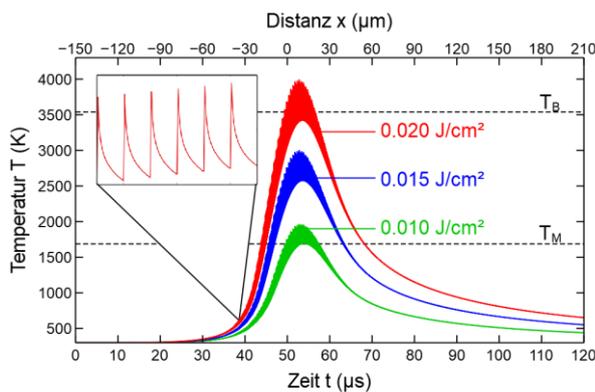


Abb. 4.2.2: Simulierte Temperaturprofile bei ULH mit 10 mJ/cm^2 , 15 mJ/cm^2 und 20 mJ/cm^2 .

Auf Grundlage der bisherigen Projektergebnisse wurden Photodetektoren mit den erfolgversprechendsten Parameterkombinationen entwickelt. Abb. 4.2.3 zeigt die Prozessschritte für die Fertigung eines P-N⁺-Detektors und einen 4"-Wafer nach der Prozessierung. Neben der Polarität und Dotierkonzentration des Basis-Materials, wurde der Einfluss von Laserprozessparametern, Nachbehandlungsverfahren und -parametern sowie der Passivierung durch ALD Al_2O_3 untersucht.

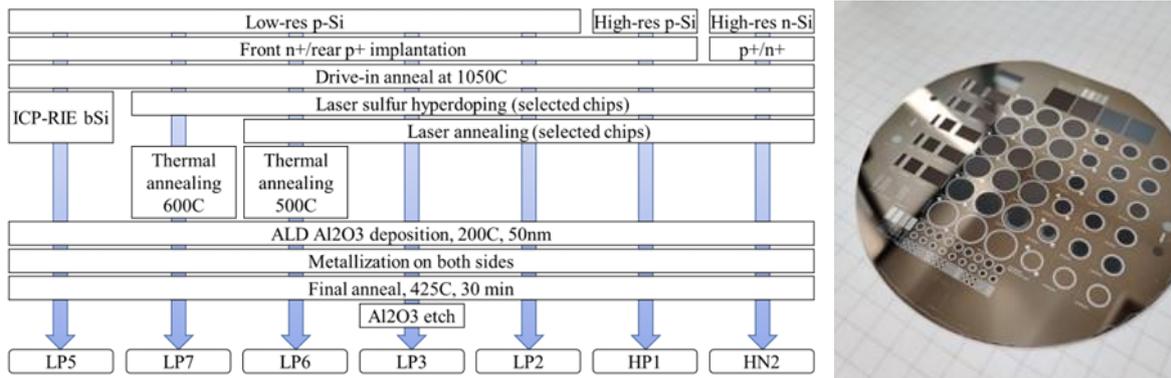


Abbildung 4.2.3: Übersicht der Prozessschritte für die Fertigung von fs-hSi basierten Photo-detektoren (links) und prozessierter 4"-Wafer (rechts).

Die Messung des Signal-Rausch-Verhältnisses erfolgte beim Projektpartner InfraTec. Nach der Messung des Rauschpegels ohne Beleuchtung, wurden die Detektorsignal bei Beleuchtung mit einem Schwarzkörper-Strahler gemessen. Durch den Einsatz von optischen Langpassfiltern kann somit das Signal-Rausch-Verhältnis bei Beleuchtung mit dem gesamten Strahlungsspektrum, sowie für Beleuchtung mit infrarotem Licht bestimmt werden. In Abb. 4.2.4 ist das Signal-Rausch-Verhältnis von ausgewählten Proben bei Beleuchtung ohne Filter (a) und unter Verwendung eines Langpassfilters mit der Grenzwellenlänge 1450 nm (b) dargestellt. Ohne Filter wurde für Detektoren, die auf schwach dotiertem, hochohmigem Substrat prozessiert wurden, ein Signal-Rausch-Verhältnis von $6 \cdot 10^5$ gemessen. Durch die Nachbehandlung mit Ultrafast Laser Heating steigt das Signal-Rausch-Verhältnis auf bis zu $8 \cdot 10^5$. Auf stark dotiertem, niederohmigem Substrat ist das Signal-Rausch-Verhältnis ein bis zwei Größenordnungen geringer. Zudem ist ein Einfluss der Temperatur bei der Nachbehandlung mittels thermischen Temperns zu beobachten. Das Signal-Rausch-Verhältnis beträgt 3600 bei 500 °C und $6 \cdot 10^4$ bei 600 °C.

In Abb. 4.2.4 b) sind die Ergebnisse bei Verwendung des optischen Langpassfilters dargestellt. Die Beleuchtung mit ausschließlich infrarotem Licht reduziert das Signal-Rausch-Verhältnis aller untersuchten Proben um mehrere Größenordnungen. Ohne Nachbehandlung zeigen die Detektoren, die auch schwach dotiertem, hochohmigen Substrat prozessiert wurden kein messbares Signal. Durch die Nachbehandlung mit Ultrafast Laser Heating steigt das Signal-Rausch-Verhältnis auf bis zu 10 und ist somit 5 Größenordnungen geringer als bei Beleuchtung ohne Filter. Bei den Detektoren, die auch stark dotiertem, niederohmigen Substrat prozessiert wurden wird ein Signal-Rausch-Verhältnis von 100 bei Nachbehandlung mit 500 °C und 1000 bei 600 °C gemessen.

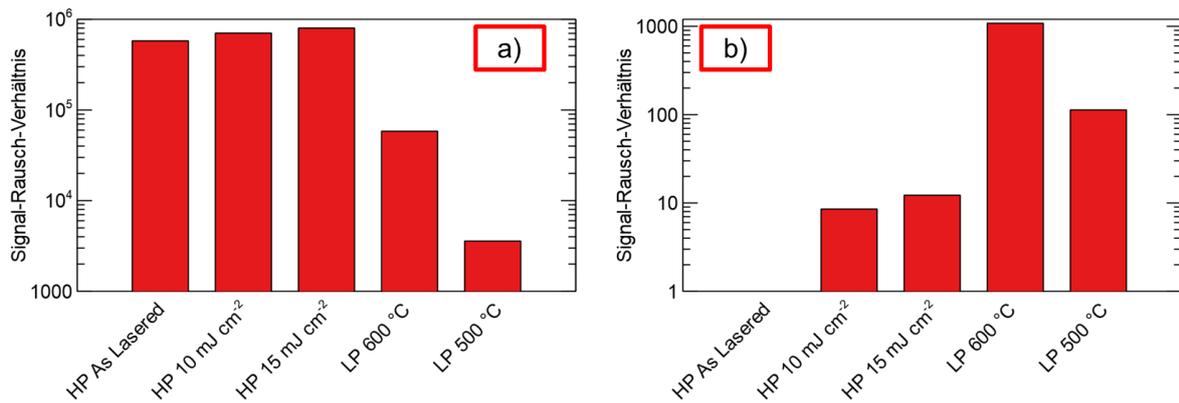


Abbildung 4.2.4: Signal-Rausch-Verhältnis von ausgewählten Proben bei Beleuchtung mit eines Schwarzkörper-Strahlers ohne optischen Filter (a) und optischem Langpassfilter mit einer Grenzwellenlänge von 1450 nm (b).

Als zentrales Merkmal der Funktionsfähigkeit des Sensors ist die spezifische Detektivität D^* ausschlaggebend. Die Messwerte der spezifischen Detektivität an Sensorelementen dieser Detektorcharge, die von InfraTec durchgeführt wurden, liegen bei einer IR-Beleuchtungswellenlänge von 1450 nm bei maximal $D^* = 3.5 \cdot 10^4$ Jones. Damit ist gezeigt, dass im IR detektiert werden kann. Als Zielmarke für die Detektivität in diesem Spektralbereich wurde von Infratec ein Wert von $D^* = 1 \cdot 10^8$ Jones angegeben, was bedeutet, dass das Rauschniveau des im Projekt gefertigten Detektors noch zu hoch und weitere Entwicklungsarbeit nötig ist.

Um diesem Wert näherzukommen, wurde im Verlängerungsjahr eine weitere Detektorcharge geplant und realisiert, wobei hier die Erkenntnisse zur Optimierung von τ_{eff} und D^* einfließen, wie z.B. Substratdotierung, fs-hSi Prozessparameter und thermischer Nachbehandlung. Um die Prozessierung der Charge zu beschleunigen, wurden diese Detektoren als photoresistive Element ausgelegt. Die Prozessierung und Charakterisierung erfolgte bei HSRM. In Abb. 4.2.5 sind die Lock-In-Signale bei Beleuchtung mit sichtbarem (a) und infrarotem Licht (b) über der Beleuchtungsstärke aufgetragen. In beiden Fällen wird eine Zunahme des Signals bei Zunahme der Beleuchtungsstärke beobachtet, wodurch die grundlegende Funktion der Sensoren bestätigt wird. Wie in der vorherigen Charge ist die Antwort im sichtbaren größer als im infraroten Spektralbereich, jedoch beträgt der Unterschied hier nur eine Größenordnung.

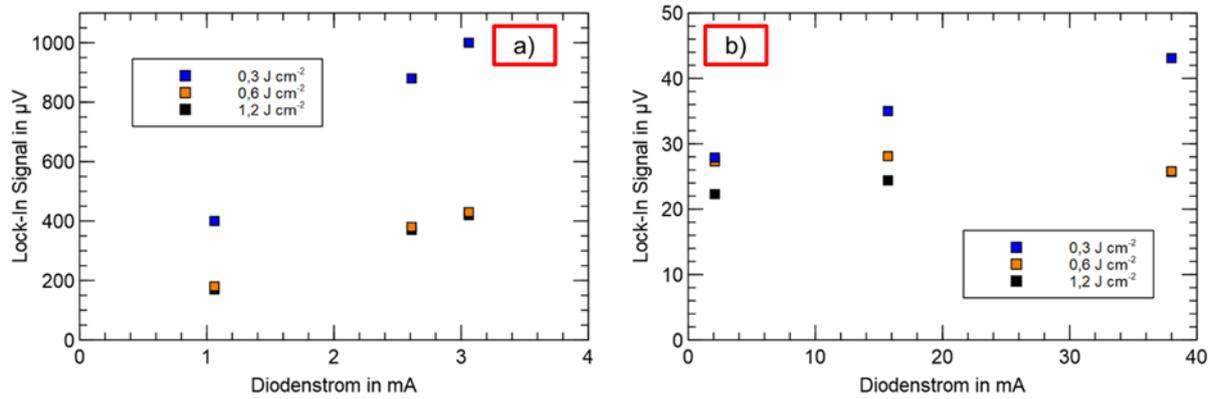


Abbildung 4.2.5: Lock-In-Signale von photoresistiven Detektoren bei Beleuchtung oberhalb (a) und unterhalb (b) der Bandlücken von Silizium.

Referenzen

- [1] Mc Kearney, P., Lebershausen, I., Schäfer, S., „Improving the Processing Efficiency of Femtosecond Laser Sulfur Hyperdoping of Silicon by Diffractive Beam Shaping”, *Journal of Laser Micro/Nanoengineering*, 2023, <http://dx.doi.org/10.2961/jlmn.2023.02.2003>
- [2] Mc Kearney, P., Schäfer, S., Liu, X., „Impact of Pulse Duration on the Properties of Laser Hyperdoped Black Silicon”, *Advanced Photonics Research*, 2024, <http://dx.doi.org/10.1002/adpr.202300281>
- [3] Mc Kearney, P., Schäfer, S., Paulus, S., „Ultrafast Laser Heating for Controlling the Opto-electronics Properties of Sulfur Hyperdoped Black Silicon”, *Journal of Applied Physics*, 2023, <http://dx.doi.org/10.1063/5.0130743>

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

Projektpartner: Georg-August-Universität, Göttingen
 Projektlaufzeit: 01.01.2021 – 31.03.2025
 Projektförderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft: DFG
 Fördernummer: 429413061

Ausgehend von der Einführung des Ionenstrahlätzens als Nachbehandlungsmethode für fs-hSi [1] werden weitere Ätzverfahren, wie das nasschemische isotrope Ätzen (HNA) und trockenchemische Ätzen mittels reaktivem Ionenätzen (RIE) untersucht und mit thermischen Nachbehandlungen, insbesondere minutenlangen thermischen Annealing und Nanosekundenlaserpuls Annealing (ns-Annealing) verglichen. Die Nanosekundenlaser-Experimente wurden in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Matthias Will an der *hda* in Darmstadt durchgeführt. Ziel der Untersuchungen ist es, die durch den Laser-Hyperdotierungsschritt geschädigte Kristallinität wiederherzustellen, bei gleichbleibender Erhaltung einer möglichst hohen Infrarot-Absorption.

Die Autoren verwenden Raman-Spektroskopie zur Bewertung der Kristallinität und spektroskopische Messungen zur Bestimmung der IR-Absorption. Dabei wurden zwei unterschiedlich stark strukturierte hyperdotierte Proben typen untersucht – eine mit mäßiger und eine mit starker Oberflächenrauheit.

Zentrale Ergebnisse:

- **Nanosekunden-Annealing** liefert die besten Resultate: Es reduziert amorphe Phasen deutlich und erhält gleichzeitig die infrarote Absorption, sofern die Fluenz unterhalb der Abtragsgrenze bleibt.
- **Thermische Annealing** auf einer Heizplatte führt zwar zur Rekristallisation, senkt jedoch die optisch aktiven Schwefelzustände weitgehend und reduziert die IR-Absorption stark.
- Bei den **Ätzverfahren** zeigt IBE die besten Resultate, insbesondere bei stark strukturierten Proben. Aufgrund seines anisotropen Abtrags erhält es die Oberflächenstruktur besser als RIE oder HNA.
- **RIE und HNA** führen zu einer stärkeren Planarisierung und damit zur Abnahme der optischen Absorption.

Simulationen unterstützten diese Beobachtung indem sie zeigen, dass die Geometrie der Oberflächenstrukturen (z. B. Kegelwinkel) einen erheblichen Einfluss auf die lokale Ätzrate und damit auf die resultierende Oberflächengeometrie hat, die für den hohen Absorptionsgrad mitverantwortlich ist. Die Ergebnisse wurden im in der von Fachkollegen begutachteten Zeitschrift *Semiconductor Science and Technology* publiziert [2].

Um zu einem besseren Verständnis der durch Schwefel induzierten Defektzustände in Silizium zu gewinnen wurden Hall und VDP-Messungen an hyperdotierten Proben durchgeführt und insbesondere der Einfluss von thermischen Nachbehandlungen auf die elektrischen Eigenschaften untersucht. Ausgangspunkt ist die Problematik, dass sub-Bandlücken-Absorption nach thermischer Behandlung signifikant abnimmt, was die Anwendung von fs-hSi in Infrarot-Fotodetektoren oder photovoltaischen Systemen einschränkt.

Wir konnten zeigen, dass das Anwenden der zuvor entwickelten Laserbehandlung (ultrafast laser heating, ULH) die thermische Stabilität deutlich verbessert [3]. Es werden verschiedene Abfolgen von Nachbehandlungen kombiniert: klassische thermische Annealing-Schritte sowie ULH-Behandlungen mit Oberflächentemperaturen bis zu 4000 K. Dabei wird gezeigt, dass:

- eine ULH-Behandlung vor der thermischen Nachbehandlung die Deaktivierung der Infrarot-Absorption durch minutenlange Thermisches-Annealing reduziert, die Proben also thermisch stabiler macht
- eine ULH-Behandlung nach thermischer Deaktivierung die optischen Eigenschaften reaktivieren kann, allerdings nicht zu identischen elektrischen Eigenschaften wie im initialzustand führt
- die Ladungsträgerdichte und -mobilität ebenfalls stabilisiert bzw. verbessert werden können.

Die Ergebnisse werden durch optische, elektrische und strukturelle Messungen gestützt. Auf Basis der experimentellen Daten entwickeln wir ein Schwefel-Defektmodell, das drei Schwefelzustände unterscheidet: Monomere (optisch aktiv, aber elektrisch inaktiv), Dimeren (elektrisch aktiv), und Cluster (optisch und elektrisch inaktiv). Das Modell ist in Abb. 4.3.1 gezeigt. Durch die Kombination von Nachbehandlungsmethoden kann die Verteilung dieser Zustände gezielt beeinflusst werden. Diese gezielte Einflussnahme der Defektzustände bezeichnen wir als Defect-Engineering und die Ergebnisse werden in einer von Fachkollegen begutachteten Publikation im Journal *Materials Science in Semiconductor Processing* veröffentlicht [3].

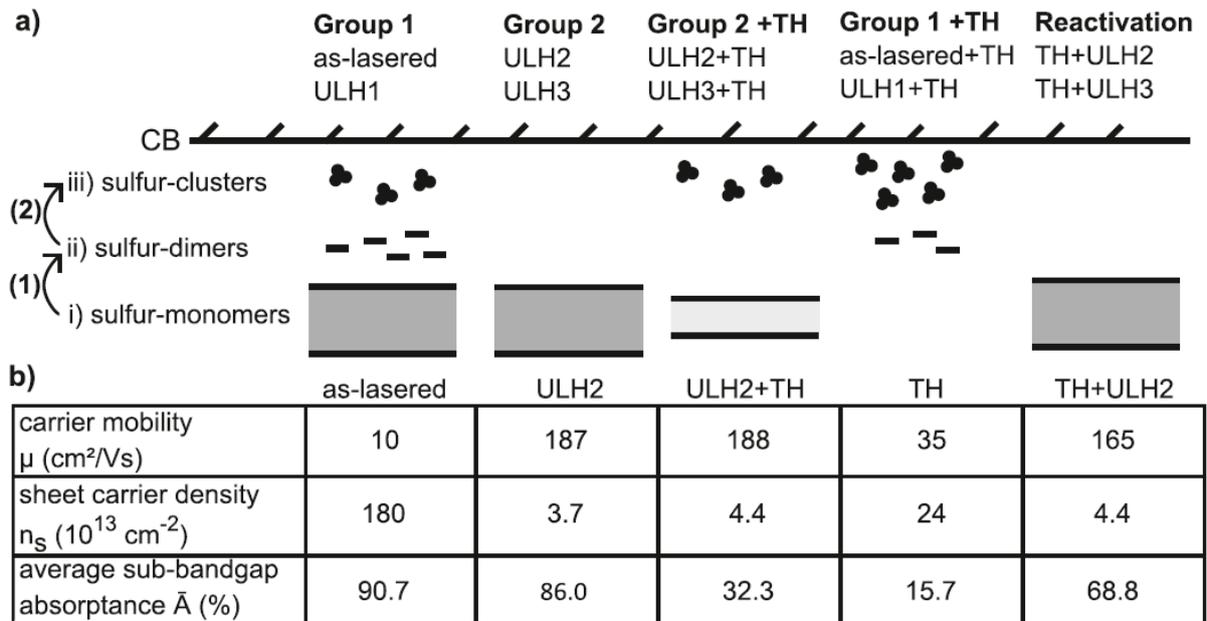


Abbildung 4.3.1: Schwefel-Defektzustandsmodell unter Anwendung von thermischen Nachbehandlungsschritten. a) zeigt eine phänomenologische Darstellung der Defektzustände die Schwefel-Dotierung in Silizium induziert. Die Zustände sind nach ihrem Energieabstand zum Silizium-Leitungsband geordnet. Die Schwefelzustände ändern sich durch thermische Nachbehandlung gemäß den Übergängen (1) und (2), b) zeigt repräsentative Messwerte für die jeweilige Defektzustands-Gruppe [4].

Referenzen

- [1] Paulus S, McKearney P, Völklein F and Kontermann S 2021 AIP Advances 11 75014
- [2] Paulus S, McKearney P, Schäfer S, Niemeyer T, Roser M, Piermaier F, Lebershausen I, Seibt M and Kontermann S 2023 EMRS Spring Meeting (Strasbourg)
- [3] Paulus S, Roser M, McKearney P, Will M, Schäfer S and Kontermann S 2023 Semicond. Sci. Technol. 38 24002
- [4] Paulus S, Schäfer S, Mc Kearney P, Niemeyer T, Seibt M and Kontermann S 2024 Materials Science in Semiconductor Processing 176 108297

4.4 Halbleiter-Mikroelektronik mit IMtech-Technologie (Bender)

Die Integrationsdichte elektronischer Schaltkreise nimmt stetig zu. Eine hohe Komponentendichte kann nur mit Mikroelektronik umgesetzt werden. Halbleiter, deren Mikrostrukturierung etabliert ist, sind in reiner Form sowohl schlechte Leiter als auch schlechte Isolatoren. Sie lassen sich jedoch durch Dotierung in ihren elektrischen Eigenschaften manipulieren. Dabei lassen sich zwei Kategorien von Dotierungen unterscheiden. Die p-Halbleiter haben einen

Überschuss positiver Ladungen (Defektelektronen). Die n-Halbleiter einen Überschuss an negativen Ladungen (Elektronen). Werden ein p-Halbleiter und ein n-Halbleiter nebeneinander erzeugt oder zusammengeführt (siehe Abb. 4.4.1), so entsteht ein pn-Übergang. An der Grenze beider Bereiche entsteht eine

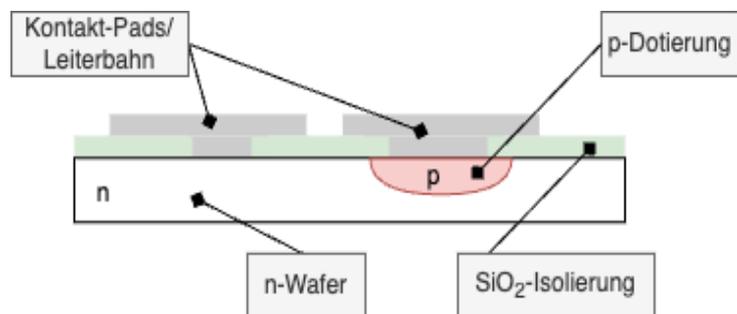


Abbildung 4.4.1: Schematische Darstellung eines pn-Übergangs mit Kontaktierungsmöglichkeit.

Sperrschicht. Wird Spannung in eine Richtung angelegt, so verbreitert sich die Sperrschicht und das Bauteil wird nichtleitend, bis auf einen minimalen Strom. Wird die Spannung in die andere Richtung angelegt, baut sich die Schicht ab und ein exponentieller Stromanstieg kann verzeichnet werden. Die p- und n-Dotierungen stellen das Fundament von Mikroelektronischen Schaltkreisen dar. Es können damit Schalter, Speicherbausteine, Sensoren und Signal-richtende Strukturen erzeugt werden. Die einfachste Form der Umsetzung einer Dotierung ist die Diffusion. Zusammen mit Mikrostrukturierungsverfahren werden an bestimmten Stellen auf der Probe dünne Schichten des Dotiermaterials aufgetragen und anschließend bei Temperaturen um 1000 °C geheizt. Dadurch wandert das Zielmaterial in die Probe. Ist die Probe bereits vordotiert, kann so die entsprechende Gegendotierung (Kompensation oder Überkompensation) erzeugt werden.

Es wurden die Dotierung durch Diffusion mit den im IMtech etablierten Strukturierungsverfahren Lithografie, PVD-Deposition, Lift-off und Ätzen kombiniert, um p-n-Übergänge zu erzeugen. Die Spannungs-Strom-Kennlinie gibt die Charakteristik eines pn-Übergangs wieder (siehe Abb. 4.4.2). Im negativen Spannungsbereich (Sperrrichtung) ist der Strom minimal. Im positiven Bereich (Flussrichtung) steigt der Stromfluss exponentiell an. Der pn-Übergang wurde praktisch kostenneutral durch Verwendung bestehender Materialien und Geräte umgesetzt. Die nächsten Schritte sind die Dimensionierung eines Übergangs hinsichtlich des Zusammenhangs aus pn-Charakteristik und Diffusionsprozessen, sowie die Erzeugung von

Schichtsystemen mit Hinblick auf höhere Integrationsdichten. Dabei gilt ein besonderes Augenmerk peripheren Prozessen, wie der Kontaktierung mit niedrigen Übergangswiderstände, sowie der Reproduzierbarkeit der Prozessabläufe.

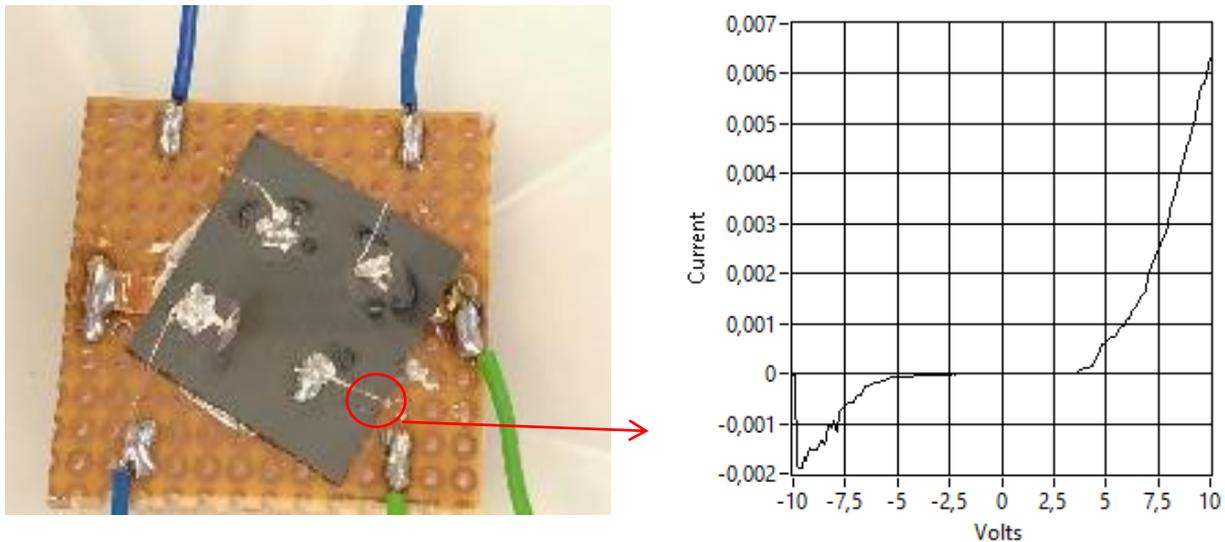


Abbildung 4.4.2: Vier pn-Übergänge und Kennlinie des markierten Übergangs.

4.5 Reduktion der Gasabgabe von Beschleuniger-Vakuum-Materialien (Bender)

Vakuumsysteme von Teilchenbeschleunigern sind höchst komplex. Im Gegensatz zu statischen Systemen, bei denen das Vakuum durch Pumpen und Ausheizen erzeugt wird, gibt es in Beschleunigern eine dynamische Komponente im Strahlbetrieb. Elektronen, Ionen und ggfs. Synchrotron-Strahlung wechselwirkt mit den Komponenten des Systems und führen zu einer Gasabgabe, die einen Druckanstieg zur Folge haben kann. Dadurch wird die Strahlintensität limitiert bzw. die Strahllebensdauer reduziert.

Durch die Entstehung moderner Beschleuniger gibt es seit der Jahrtausendwende intensive Bemühungen die dynamische Gasabgabe immer weiter zu reduzieren (vergleich Institutsbericht 2021/22). Seit Kurzem hat sich eine einfache Vorbehandlungsmethode etabliert, nämlich das Vakuum-Ausheizen. Dabei werden die Komponenten bei etwa der Hälfte ihrer Schmelztemperatur unter Ultra-Hochvakuum-Bedingungen geheizt, was zu einer Verringerung des im Material eingelagerten Gases führt und außerdem die Kristallstruktur des Materials modifiziert: Korngrenzen, die als Diffusionsweg des eingelagerten Gases dienen, werden reduziert. Die Dauer dieses Prozesses richtet sich nach dem Verlauf der Gasabgabe und liegt in der Regel

bei wenigen Stunden. Diese Methode konnte inzwischen bei sauerstofffreiem Kupfer, Edelstahl und Wolfram angewendet werden (bei letzterem konnte nicht die halbe Schmelztemperatur erreicht werden; es wurde bei 500°C gearbeitet) [1].

Abb. 4.5.1 zeigt die Reduktion der Gasabgabe bei behandelten Proben aus sauerstofffreiem Kupfer. Die Proben wurden jeweils für 4 Stunden im Ultrahochvakuum ($p = 3 \cdot 10^{-13}$ mbar) geheizt, bis der resultierende Druckanstieg im Bereich des Untergrunds lag. Die angegebene Desorptionsausbeute wurde mit Calcium- und Gold-Ionen bei 4.8 MeV/u gemessen. Die Edelstahl- und Wolframproben verhalten sich äquivalent.

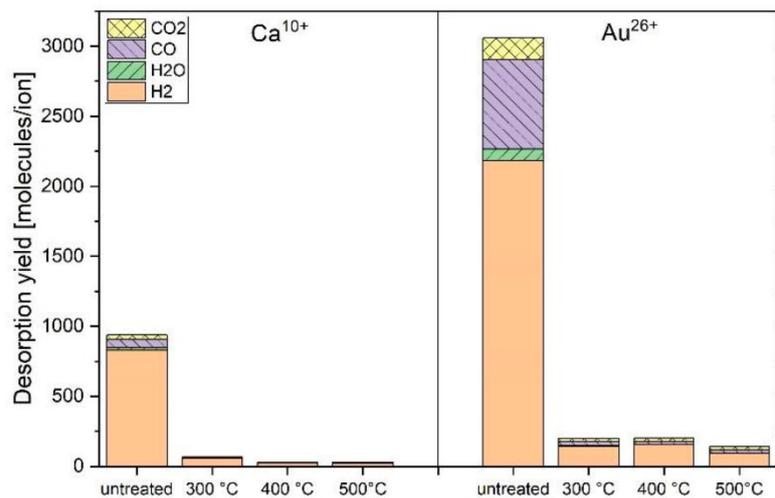


Abbildung 4.5.1: Desorptionsausbeuten thermisch behandelte Kupferproben im Vergleich zur unbehandelten Probe, gemessen mit Calcium- und Gold-Ionen.

Durch das Verfahren kann zum einen die stimulierte Gasabgabe um bis zu zwei Größenordnungen gesenkt werden. Ein weiterer Vorteil liegt in der Gefüge-Modifikation des Materials. Gas kann deutlich langsamer wieder in das Material eindringen als bei unbehandelten Proben. Damit ist eine Lagerung behandelte Komponenten an Atmosphäre über einen Zeitraum von Wochen oder Monaten möglich. Abb. 4.5.2 verdeutlicht dies anhand der Kupferproben, die für vier Stunden bei 400°C behandelt wurden. Es wurde ein Probensatz an Atmosphäre gelagert, ein anderer in einer Argon-Atmosphäre von 1 bar [2].

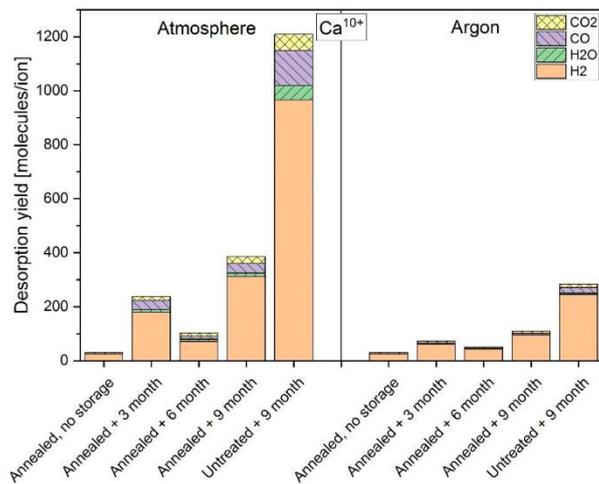


Abbildung 4.5.2: Desorptionsausbeuten behandelter Kupferproben, die nach der Behandlung unterschiedlich lange an Atmosphäre bzw. in Argon gelagert wurden. Links ist jeweils die behandelte Probe ohne Lagerung gezeigt. Die unbehandelte Probe ist zum Vergleich jeweils rechts dargestellt.

Dieses vielversprechende, einfache Verfahren eignet sich grundsätzlich auch zur Verbesserung nicht-dynamischer Vakuumsysteme, etwa in der Halbleiterindustrie. Ein Ausheizen von Vakuumsystemen bei der Inbetriebnahme könnte obsolet werden. Allerdings muss dafür über die Materialmodifikation noch die Oberfläche optimiert werden. Dies ist der nächste Schritt der Forschungsaktivitäten.

Referenzen:

- [1] V. Velthaus, C. Trautmann and M. Bender, Mitigation of ion-induced desorption for accelerator components by surface treatment and annealing, Vacuum 211 (2023) 111965
- [2] Doktorarbeit Verena Velthaus, Technische Universität Darmstadt (2023)

4.6 Bestimmung der Bindungsstärke von Antikörper-Peptidkomplexen (Kleinekofort)

Projektpartner: MRM Proteomics Inc.

Projektlaufzeit: 01.01.2023 – 30.09.2024

Projektförderung: MRM Proteomics Inc. sowie interne Forschungsmittel HSRM

Analytische Methoden zur molekularen Charakterisierung von diagnostischen oder therapeutischen Zielmolekülen haben in letzter Zeit stark an Bedeutung gewonnen. In Zusammenarbeit mit der Firma MRM Proteomics wird die Kombination von Massenspektrometrie und Oberflächenplasmonenresonanz (SPR)-Biosensoranalyse zur Identifizierung und Affinitätsbestimmung von Proteinwechselwirkungen mit Antikörpern und DNA-Aptameren erforscht. Die Bindungskonstante (KD) eines Protein-Antikörper-Komplexes wird zunächst durch Immobilisierung eines Antikörpers oder DNA-Aptamers auf einem SPR-Chip bestimmt. Anschließend wird eine proteolytische Peptidmischung auf den Chip aufgebracht, und nach Entfernung von ungebundenem Material durch Waschen werden die Epitope-Peptide eluiert und durch MALDI-MS identifiziert. Die SPR-MS-Kombination wurde erfolgreich zur Identifizierung linearer und assemblierter Epitope für DNA-Aptamer-Interaktionskomplexe des Tumordiagnostik-Proteins C-Met eingesetzt. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die SPR-MS-Kombination als leistungsfähiges molekulares Instrument zur Identifizierung von Proteinepitopen erwiesen hat.

Referenz:

Loredana Lupu, Wolfgang Kleinekofort, Nina Morgner:

Epitope characterization of proteins and aptamers with mass spectrometry

Eur J Mass Spectrom (Chichester). 2023 Oct;29(5-6):359-369.

doi: 10.1177/14690667231208530

4.7 Verbesserung der MRT-Bildgebung des Sehnervs (Kleinekofort)

Projektpartner: Universitätsmedizin Mainz, Klinik für Neuroradiologie

Projektlaufzeit: 01.01.2023 – 31.12.2023

Projektförderung: Uniklinikum Mainz sowie interne Forschungsmittel HSRM

Die diffusionsbasierte Traktographie des Sehnervs erfordert Abtaststrategien, die durch anatomische Orientierungspunkte (regions of interest [ROIs]) unterstützt werden. Wir haben die

Durchführbarkeit der Übertragung von hochauflösenden T1-gewichteten ROI-Daten auf diffusionsgewichtete Bilder mit geringerer räumlicher Auflösung durch Experten untersucht. Es wurden Slab-Volumina von 20 Probanden erfasst und vorverarbeitet, einschließlich der Korrektur von Verzerrungen und der Reduzierung von Artefakten. Mit Hilfe der eingeschränkten sphärischen Entfaltung wurde ein gerichtetes Diffusionsinformationsgitter erstellt. Drei Neuro-radiologen markierten Landmarken sowohl auf den Diffusionsbildgebungsvarianten als auch auf den Strukturdatensätzen. Alle Daten wurden in einer gezielten Traktographie-Aufgabe der Sehnervenbahn verglichen. Die Kombination von VIBE-platzierten ROIs (höchste Inter-Rater-Zuverlässigkeit) mit der 6-DOF-Registrierung auf rs-EPI-Ziele (beste Stromlinienauswahlleistung) ist am besten für die Erstellung von Schablonen der weißen Substanz geeignet, die in Gruppenstudien benötigt werden.

Referenz:

Janko M, Santaniello SD, Brockmann C, Wolf M, Grauhan NF, Schöffling VI, Dimova V, Ponto K, Hoffmann EM, Kleinekofort W, Othman AE, Brockmann MA, Kronfeld A.:

Comparison of T1-weighted landmark placement and ROI transfer onto diffusion-weighted EPI sequences for targeted tractography tasks in the optic nerve.

Eur J Neurosci. 2024 Sep;60(5):4987-4999.

doi: 10.1111/ejn.16490

4.8 Zellversorgung in Hohlfaser-Bioreaktoren (Kleinekofort)

Projektpartner: Fresenius Medical Care AG

Projektlaufzeit: 01.01.2023 – 31.12.2023

Projektförderung: FMC sowie interne Forschungsmittel HSRM

Hohlfaser-Zellreaktoren bieten eine große Oberfläche für die Anlagerung von Zellen in einer Kartusche, die zwischen 1.000 und 40.000 Fasern enthält. Die Zellen werden mit Substanzen versorgt, die durch das innere Faservolumen fließen, und der vorherrschende Transportprozess für diese Versorgung ist die Diffusion. Die Zelllinien wachsen um die Fasern herum und kommen nicht mit dem Medienstrom in Berührung. Während des Betriebs eines Zellreaktors kommt es jedoch immer wieder zu Filtrationen und Rückfiltrationen über die Fasermembran

aufgrund des Druckgradienten entlang der Faserlänge. Der Fluss des serumartigen Mediums in der Hohlfaser nimmt in der ersten Hälfte der Hohlfaser kontinuierlich ab. Nach Erreichen eines Minimums in der Nähe der Mitte des Bioreaktors steigt der Fluss aufgrund von Rückfiltration wieder kontinuierlich an und erreicht schließlich am Faserausgang wieder den ursprünglichen Wert. Nach der Stokes-Einstein-Gleichung steht die Viskosität in umgekehrtem Verhältnis zum Diffusionskoeffizienten. Infolgedessen wird der diffusive molare Fluss während der Faserpassage reduziert. Eine konvektive Strömung ist immer vorhanden, wenn man einen Hohlfaserzellenreaktor betreibt. In der vorderen Zone der Kartusche sind die Zellen einem Scherspannungsgradienten ausgesetzt, werden aber aufgrund von Diffusion und Konvektion gut ernährt. In der mittleren Zone ist die Konvektion gering, aber die Diffusion durch die Membranwand ist aufgrund des Viskositätsanstiegs der Flüssigkeit im Inneren der Hohlfaser vermindert. In der hinteren Zone leben die Zellen in einer Mangel-Umgebung, da Zellabbauprodukte aus der vorderen Zone diese Zellen passieren müssen, um der Rückfiltration in die Hohlfaser zu folgen. Darüber hinaus ist die Diffusion in der hinteren Zone aufgrund des Strömungsgefälles vom äußeren Lumen des Bioreaktors in das innere Faserlumen vermindert.

Referenzen:

Choirot G, Kleinekofort W:

Analysis of filtration and backfiltration in hollow fiber membrane bioreactors.:

49th ESAO - IFAO Annual Congress 2023 (Poster); Bergamo (September 2023)

Choirot G, Kleinekofort W:

Hidden convective flow in hollow fiber cell reactors.

ESAO Winter School - Artificial Organs and Tissue Engineering (Poster); Wittenberg (02/2023)

4.9 Hydrodynamisches Verhalten von Gefäßstenosen (Kleinekofort)

Projektpartner: Interne Arbeit
Projektlaufzeit: 01.04.2023 – 30.09.2023
Projektförderung: Interne Forschungsmittel HSRM

Laut Gesundheitsberichterstattung des Bundes haben in Deutschland im Jahr 2020 etwa 360.000 Menschen einen Schlaganfall erlitten, davon 6,7 Prozent mit Todesfolge [1]. Ziel dieser Arbeit ist es, einen Einblick in die Beziehung zwischen Druck und Fluss in prä-, intra- und poststenotischen Bereichen von Gefäßverschlüssen zu erhalten. Druckwerte bei Flussraten zwischen 200 und 600 ml/min wurden in vitro für verschiedene Stenosegrade im prä-, intra- und poststenotischen Bereich aufgezeichnet. Alle Druckwerte wurden auf 120 mmHg (Systole), 80 mmHg (Diastole) und 100 mmHg für den mittleren arteriellen Druck (MAP) korrigiert, wobei der normale menschliche Blutdruck als Grundlage diente. Stenosen mit einem Grad von mehr als 83 % zeigen einen deutlichen Druckabfall aufgrund der zunehmenden Strömungsgeschwindigkeit im intrastenotischen Bereich. Dies kann dazu führen, dass die Stenose spontan kollabiert, was zu einem Verschluss des Gefäßes führt. Überraschend ist, dass der Druck nach der Stenose nicht mehr auf den ursprünglichen Druck vor der Stenose ansteigt, wie es nach der Bernoulli-Gleichung unter idealen Bedingungen zu erwarten wäre. Bei einer Lumenverkleinerung von über 83 % ist nicht mehr genügend potenzielle Energie vorhanden, um den poststenotischen Druck auf den erwarteten Wert zu erhöhen. Dies lässt sich durch die große Reibungsenergie in pulsierenden Strömungssystemen erklären, so dass ein großer Teil der kinetischen Energie der Flüssigkeit wahrscheinlich in Wärme umgewandelt wird. Folglich sind diese so genannten „symptomatischen Stenosen“ von hoher klinischer Relevanz, da der Patient einem hohen Risiko eines Schlaganfalls ausgesetzt ist.

[1] Statistisches Bundesamt (2021): Fallrate von Schlaganfällen (tödlich und nicht-tödlich) je 100.000 Einwohner. Gesundheitsberichterstattung des Bundes

Referenz:

Choirot G, Kleinekofort W:

Hydrodynamic Behavior of Vascular Stenoses

49th ESAO - IFAO Annual Congress 2023 (Poster); Bergamo (September 2023)

4.10 Primäre Photoreaktionen bei der UV-Strukturierung von FOTURAN II® (Bauer)

Projektpartner: Interne Arbeit
Projektlaufzeit: (begleitend)
Projektförderung: Interne Forschungsmittel HSRM

Das Projekt PRIPHOR läuft bereits seit mehreren Jahren (s. z.B. Jahresbericht IMtech 2019/2020) und ist als internes Projekt auf Bachelor- oder Masterarbeiten angewiesen, was bei dem derzeitigen Mangel an Studierenden zu langen "Pausen" führt.

Im Projekt sollen die Abläufe beim Belichten und Tempern des Spezialglases FOTURAN von SCHOTT näher untersucht werden, um Aussagen darüber zu treffen, ob und ggf. wie die Keimbildung (durch oxidiertes Ce^{3+} und reduziertes Silber bzw. Silbernanopartikel) und damit die "Körnigkeit" des latenten Bildes nach der Belichtung beeinflusst werden kann. Ausgangspunkt für diese Untersuchungen ist die Beobachtung, dass die Fluoreszenz des Glases bei UV-Belichtung zurückgeht, jedoch nicht auf 0 absinkt, was auf Ce^{3+} -Ionen hindeutet, die nicht irreversibel oxidiert werden.

In einem Forschungspraktikum wurde im Berichtszeitraum der Fluoreszenzprozess näher untersucht, indem die Belichtung bei erhöhten Temperaturen durchgeführt und dabei die Fluoreszenz aufgenommen wurde bzw. die Fluoreszenz belichteter Proben während Temperaturerhöhung beobachtet wurde. Für diesen Zweck wurde ein "Heißluftkanal" konstruiert, der es erlaubt, Proben bei Temperaturen bis $500^{\circ}C$ zu belichten und Fluoreszenzspektren dabei oder danach aufzunehmen.

Die bisher gemessenen Fluoreszenzspektren nach und während der Belichtung bei unterschiedlichen Temperaturen werfen eine Vielzahl von Fragen auf. Deutlich sind im Bereich zwischen Raumtemperatur und $400^{\circ}C$ Änderungen zu beobachten, was den Verlauf der Fluoreszenzabnahme betrifft wie auch den Wert der remanenten Fluoreszenz nach Belichtung. Auch wurde eine bisher unbekannte schwache Fluoreszenz im Grünen gefunden nach Belichtung und Absenkung der Temperatur, die es noch zuzuordnen gilt. Aus der Fülle der Messungen sei Abb. 4.10.1. herausgegriffen: Eine Probe wird bei Raumtemperatur so lange belichtet, bis ihre Fluoreszenz sich nicht mehr ändert, die Fluoreszenz also gesättigt ist. Dann wird die Temperatur bis $400^{\circ}C$ erhöht und schließlich wieder abgesenkt bis fast zur Raumtemperatur. Auffällig ist das fast stufenförmige Absinken der Intensität bei ca. $130^{\circ}C$. Beim Abkühlen erkennt man dann das Anwachsen einer schwachen Fluoreszenz bei 493 und bei 574nm.

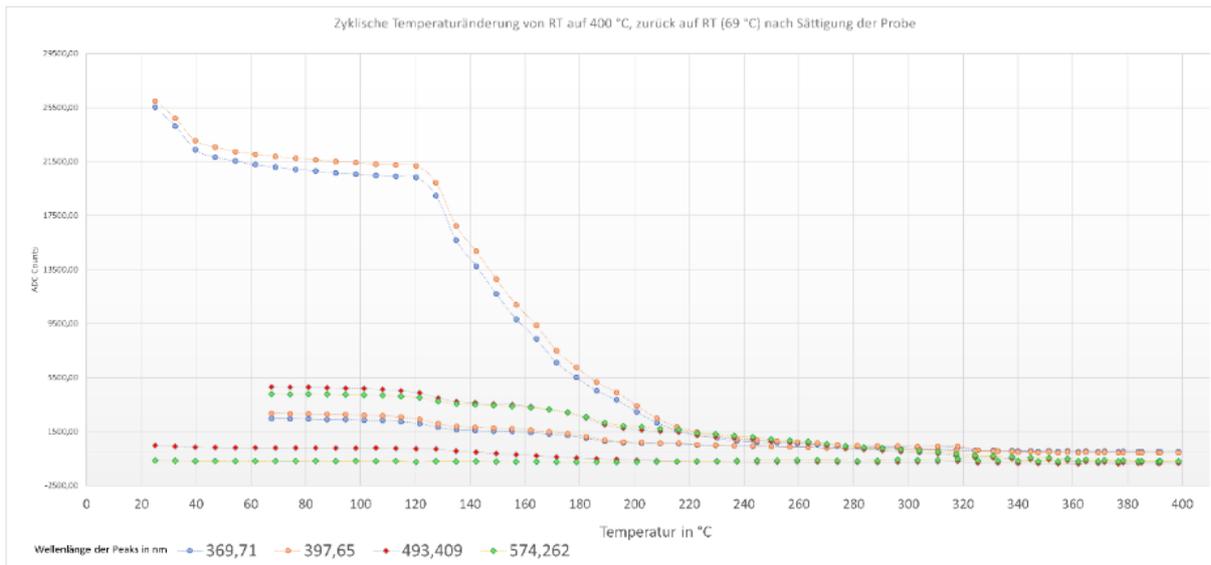


Abbildung 4.10.1: Fluoreszenzmessung einer belichteten Probe mit gesättigter Fluoreszenz bei vier repräsentativen Wellenlängen während des Aufheizens von 25 bis 400°C und zurück auf etwa 70°C.

Die Einordnung der Beobachtungen in bekannte Modelle der Ionendiffusion und Keimbildung im Glas muss zeigen, ob die Hoffnung auf Beeinflussung der Keimbildung berechtigt war und sich wirklich mehr Keime und damit kleinere Kristallisationsbereiche beim Übergang zur Glaskeramik bilden lassen oder ob zumindest der erzielbare Brechungsindex n_D größer ist als bei den Raumtemperatur-Experimenten. Beides zusammengenommen könnte helfen, die Beugungseffizienz diffraktiver Muster im Glas deutlich zu verstärken, was sich durch entsprechende Interferenzlithographie-Experimente zeigen ließe.

4.11 Hydrierungsgrad und optische Eigenschaften bei LOHCs (REFILL) (Bauer)

Projektpartner: Interne Arbeit
 Projektlaufzeit: 01.09.2023 – 31.08.2025
 Projektförderung: Interne Forschungsmittel HSRM

Wasserstofftechnologie ist, insbesondere im Rahmen des Themenkreises Elektromobilität, erneuerbare Energien und Ressourcenschonung, ein profilbildendes Element im Kompetenzkanon der HSRM. Die Erzeugung, die Speicherung und der Transport von Wasserstoff sind seit vielen Jahren ein Forschungsschwerpunkt und haben Einfluss auf die Ausbildung von Ingenieuren hauptsächlich, aber nicht nur, in den Studiengängen Angewandte Physik und Interdisziplinäre Ingenieurwissenschaften. Insbesondere die Brennstoffzelle als Energiewandler stand

im Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten von Prof. Birgit Scheppat, mit der Prof. Bauer in den vergangenen Jahren zwei FHprofUnt-Projekte zur Wasserstoffsensorik durchführte, die in der Dissertation von Matthias Enders und mehreren Publikationen ihren Niederschlag fanden.

Statt mit Feststoff-Speichersubstanzen befasst sich das Projekt REFILL mit sog. LOHCs, Liquid Organic Hydrogen Carriers. Darunter versteht man recht unterschiedliche flüssige organische Substanzen, die durch Hydrierung Wasserstoff chemisch absorbieren: Meist kann ein Molekül gleich mehrere H-Atome kovalent binden. Die hydrierte Flüssigkeit kann nun auf konventionellem Wege (in Fässer oder Tanks gefüllt oder durch Pipelines oder mit Tankschiffen) über große Distanzen transportiert werden. Am Bestimmungsort wird der Wasserstoff wieder ausgetrieben, die Flüssigkeit also dehydriert. Der Wasserstoff kann jetzt in Brennstoffzellen genutzt werden, während die Flüssigkeit zum Hydrierungsort zurücktransportiert und dort erneut mit Wasserstoff beladen werden kann. LOHCs stellen also soz. „Flüssige Mehrwegflaschen“ für Wasserstoff dar. Ein Beispiel, das System DBT-perhydro-DBT zeigt Abb. 4.11.1.

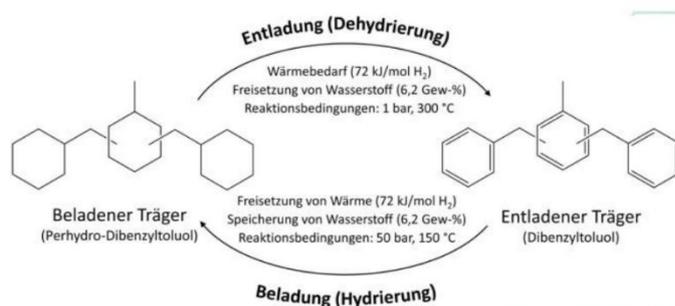


Abbildung 4.11.1:

Nutzung von Dibenzyltoluol als LOHC.

Quelle: Hydrogenious.

Auch beim Umgang mit LOHCs ist das Wissen um den vorliegenden Hydrierungsgrad (DoH: Degree of Hydrogenation) essentiell, z.B. bei der Hydrierung, Dehydrierung, Warenein- und -ausgangskontrolle usw. Das Projekt soll deshalb (über den formellen Förderzeitraum hinaus) die Abhängigkeit der optischen Eigenschaften vom DoH untersuchen und die Ergebnisse dahingehend bewerten, ob sie als Grundlage für einen Wasserstoffsensor nutzbar sind und ob ggf. eine Miniaturisierung möglich und sinnvoll sein könnte.

In einer ersten Phase des Projekts (Forschungspraktikum T. Karakas) wurde ein Laborarbeitsplatz für diese – an der HSRM bisher nicht verwendeten – Substanzen eingerichtet. Dabei waren insbesondere Sicherheitsaspekte zu berücksichtigen. Da an der HSRM keine chemische Verfahrenstechnik zur (De-)Hydrierung zur Verfügung steht, wurden die Substanzen DBT und perhydro-DBT beschafft und Gemische beider anstelle „echter“ Gemische von Molekülen unterschiedlichen Hydrierungsgrades benutzt.

In der zweiten Phase (Masterarbeit T. Karakas) wurden nun die optischen Eigenschaften eingehend untersucht, vor allem Brechungsindex, Transmission, Fluoreszenz und Ramanstreuung. Dazu mussten z.T. kleinere apparative Veränderungen oder Anpassungen durchgeführt werden.

Bei der Messung des Brechungsindex wurden mit dem Refraktometer des IMtech Dispersionskurven für alle Hydrierungsgrade zwischen 0 und 100% (in 10%-Schritten) bestimmt. Bezieht man sich auf eine Wellenlänge, so erhält man eine sehr gute lineare Abhängigkeit des Brechungsindex vom DoH, wie Abb. 4.11.2 dies dokumentiert.

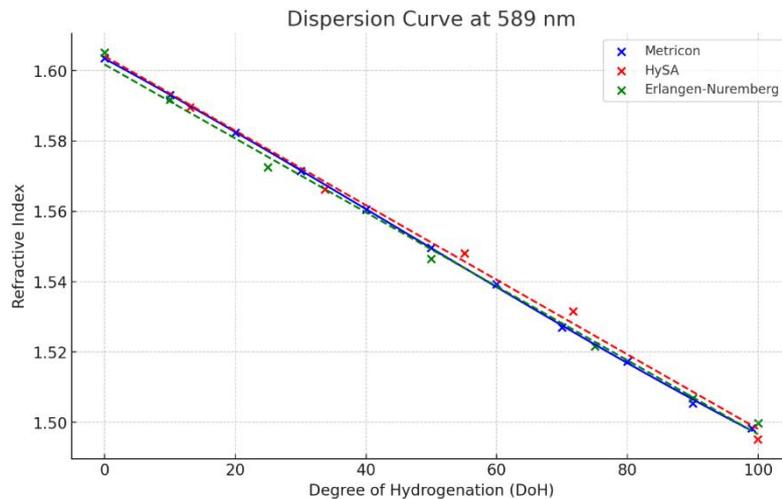


Abbildung 4.11.2: Brechungsindex in Abhängigkeit vom Hydrierungsgrad (DoH) bei 589nm.

Bei den Fluoreszenzmessungen waren die Ergebnisse weniger eindeutig, was an Verunreinigungen der Gemische oder Phasensegregation nach langer Lagerung gelegen haben könnte. Eine Reihe von Fluoreszenzmessungen zeigt Abb. 4.11.3.

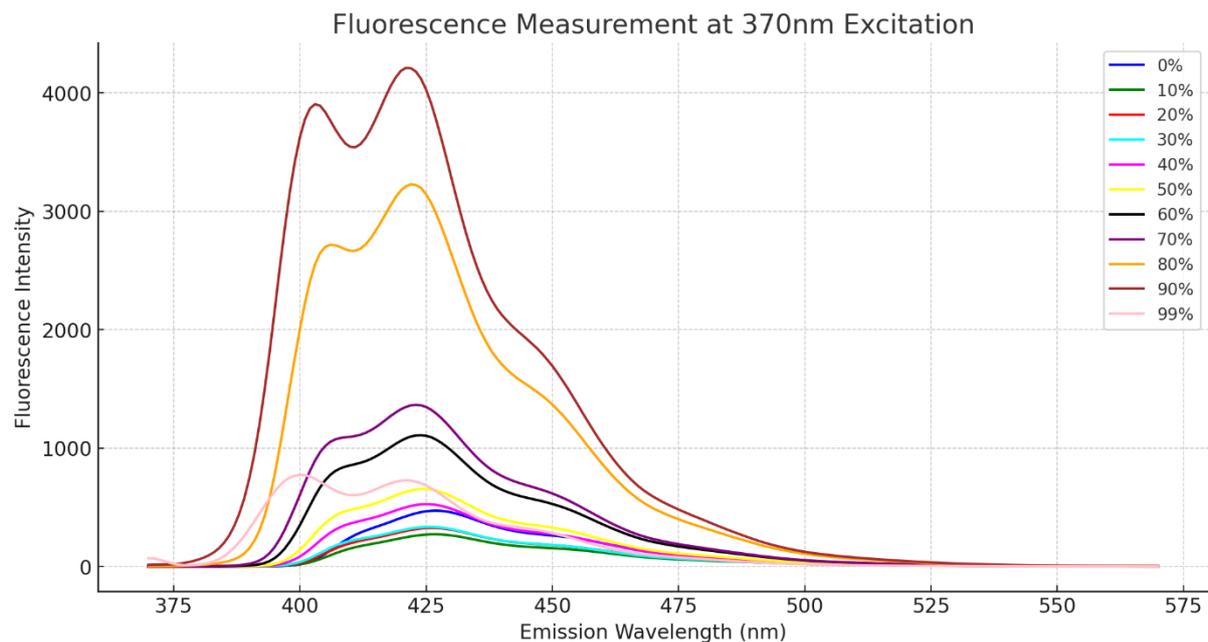


Abbildung 4.11.3: Fluoreszenzspektren für verschiedene Werte von DoH. Die Werte für 99% sowie von 30% abwärts entsprechen nicht der Erwartung und bedürfen noch der Abklärung.

Ramanmessungen wurden mit dem Raman-Mikroskop des Fachbereichs ING durchgeführt. Eine Messreihe für verschiedene DoH zeigt Abbildung 4.11.4. Auch hier sind eindeutig Abhängigkeiten des Signals von DoH erkennbar. Da die Probenvolumina bei diesen Messungen nicht identisch gemacht werden konnten, fand hier noch keine weitere Auswertung statt.

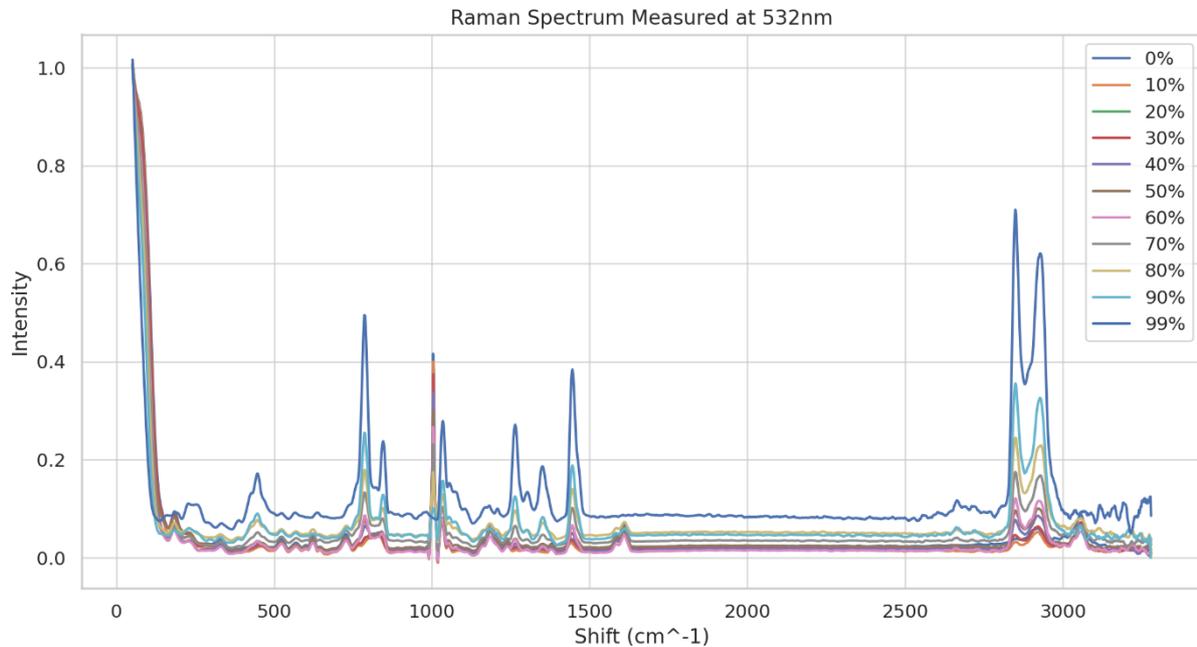


Abbildung 4.11.4: Raman-Messungen bei 532nm Wellenlänge.

In der weiteren Diskussion wurde überlegt, wie evtl. vorhandene, kommerziell verfügbare miniaturisierte optische Baugruppen in das Sensorkonzept einbezogen werden könnten. Eine Idee besteht darin, einen verfügbaren faseroptischen Multiplexer, den "RamanCube" der Firma Huber+Suhner CubeOptics aus Mainz zu nutzen. Dieses zuckerwürfelgroße Bauteil (Abb. 4.11.4) wird in faseroptischen Messsystemen verwendet und ist für eine feste Raman Shift ausgelegt: Er kann Wellenlängen um 1300nm aus einem Spektrum abtrennen. Durch diesen festgelegten Raman Shift ist es notwendig, den Raman-Effekt mit 940nm auszulösen. Leider ist das Raman-Mikroskop der HSRM nicht mit dieser Wellenlänge ausgestattet. Deshalb wurden ein einfacher Laser mit Faserausgang und zwei auf die Wellenlängen 940 und 1300nm einstellbare einfache Photodetektoren beschafft und ein "fliegender" Laboraufbau realisiert, den Abb. 4.11.5 schematisch zeigt. Leider konnte im Rahmen der Masterarbeit noch keine hinreichend stark und präzise fokussierende optische Raman-Zelle verwirklicht werden, mit der der Effekt ausgelöst werden konnte.



Abbildung 4.11.4: Der RamanCube von CubeOptics, Mainz.

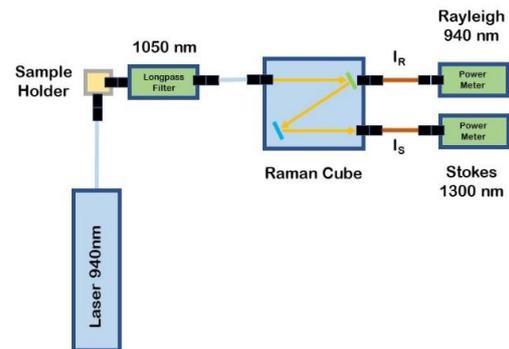


Abbildung 4.11.5: Schematischer Aufbau zur Demonstration des Sensorprinzips.

Zur Zeit läuft eine Bachelorarbeit, bei der dieses Projekt fortgesetzt werden soll. Im Zentrum steht die Überlegung, eine eigene Raman-Zelle zu bauen und den Aufbau von Abb. 4.11.5 zu realisieren. Außerdem soll als zweites LOHC-System das Materialpaar Toluol / Methylcyclohexan untersucht werden.

4.12 KleinPhi

Was wäre unser Institut ohne die “kleinen” Anfragen, Aufträge und Bitten um Hilfe bei der Lösung von kleineren Entwicklungsproblemen! Sicher, sie sind nicht besonders lukrativ, man kann i.d.R. kein “dickes” Projekt damit begründen und sie binden vielleicht auch mal Mitarbeiter über das momentan zuträgliche Maß hinaus. Aber oft stellen sie das Laborteam vor reizvolle Herausforderungen, die es ermöglichen, so manche alte Idee umzusetzen oder neue Methode endlich mal auszuprobieren. Und wenn damit vielleicht bewährten Kooperationspartnern geholfen werden kann, das Start-up eines ehemaligen Absolventen besser in die Gänge kommt oder gar ein ambitionierter Kandidat mit dieser Fragestellung seine Bachelorthesis bestreiten kann: Dann ist doch allen geholfen und alle haben am Ende was gelernt. Auch wenn keine Publikation dabei rausspringt. Und wenn als Dankeschön vielleicht mal ein paar Substrate dabei “rüberwachsen” oder eine Pumpenwartung – prima! Deshalb an dieser Stelle auch einmal ein herzlicher Dank an die Firmen A, S und T und wie sie alle heißen, für das Vertrauen und die Treue über die Jahre! Empfehlen Sie uns weiter! Und seien Sie versichert: Für uns ist KleinPhi kein Mist!

4.13 Mikro-Nano-Interfacing für MEMS-integrierte Sensorik (MINIMISE)

Wie für so viele Förderanträge waren auch für diesen eine lange Vorbereitungs-, Planungs- und Schreibzeit nötig. Schließlich erhielt das IMtech im November 2024 das Bewilligungsschreiben des BMBF. Deshalb sei dieses Projekt in Kürze auch noch hier erwähnt, wenn auch der Projektstart formal erst im März 2025 liegt.

Ziel des Projekts ist die reproduzierbare Integration von Nanostrukturen in Mikrosysteme für Sensoranwendungen. Bis dato werden Nanostrukturen in Form von Drähten und Kegeln, sowie als direktgeschriebene 2D- oder 3D- Strukturen nur als Einzelstücke hergestellt, um grundlagenrelevante Fragestellungen zu untersuchen. Im Falle von Ionenspur-Templat-gefertigten Nanodrähten und Netzwerken, sowie fs-Laser-prozessierten hyperdotierten Silizium-Kegeln (fs-hSi) wird der Herstellungsprozess (im Gegensatz zur Sensor-Integration) beherrscht und physikalische Eigenschaften sind weitgehend untersucht. Um die Strukturen in eine Anwendung zu überführen, muss nun das Mikro-Nano-Interfacing (MNI), also das Anbinden von Nanostrukturen an die Makrowelt über den Umweg Mikrosysteme, etabliert werden. Der Zugang zu speziellen Messgrößen eines Nanosystems erfordert die sichere und reproduzierbare Verbindung zwischen mikroskopischen und nanoskaligen Systemen. Es sollen Plattformen (Strukturen, Prozesse und Methoden) geschaffen werden, um die Reaktion der Strukturen auf die entsprechenden Stimuli verlässlich messen zu können und um auf diesem Wege Anwendungen zu etablieren.

Die MNI-Technologie hat ein erhebliches Anwendungspotenzial in der Gasmessung (konkret Wasserstoff), der Medizin- und Biotechnologie, dem IoT u.v.m. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist die Nanosensorik noch fern industrieller Anwendungen, sodass sich das Vorhaben zwischen Market-Pull und Technology-Push bewegt. Wir gehen jedoch davon aus, dass mit einer erfolgreichen MNI-Technologie ein Innovationsschub bei den Themen Energiewende und Nachhaltigkeit, biomedizinische Anwendungen und Lab-on-Chip, sowie gegebenenfalls in der Quantensensorik erreicht wird.

Neu und innovativ ist die Schaffung von Plattformen, die es erlauben Nanostrukturen reproduzierbar zu platzieren, nötigenfalls zu trimmen und verlässlich zu kontaktieren. So werden Mikrosysteme entstehen, die Nanostrukturen als Sensorelement beinhalten, andererseits aber auch deren Anbindung an die Makrowelt durch Packaging und Bonding ermöglichen. Diese neuartige Aufbau- und Verbindungstechnik erlaubt den Vorstoß von Sensorstrukturen auf die Nanoskala. Dadurch wird das Ausnutzen dedizierter physikalischer Effekte im Sensorelement (Size-Effekt, Quanteneffekte) zur Anwendung außerhalb des Labormaßstabs und über den

Prototypenstatus hinaus ermöglicht. Insofern ist die Lösung des Problems Mikro-Nano-Interfacing von übergeordnetem Interesse für zukünftige Anwendungen und die damit verbundene Erschließung des Zukunftsmarktes.

Das Projekt knüpft an die Expertise der IMtech-Mitglieder Völklein und Bender an, die u.a. ihre Erfahrungen mit der Herstellung und Untersuchung von Nanodrähten hier einbringen werden. Mit einer Gesamtfördersumme von 1,6 Mio. € sollen zwei Doktoranden und einige kostspielige Investitionen finanziert werden. Kooperativer Partner für die Promotionen wird die TU Darmstadt /GSI sein.

Näheres und erste Ergebnisse dann im nächsten Institutsbericht!

5. Publikationen und Öffentlichkeitsarbeit

5.1 Wissenschaftliche Publikationen in Fachzeitschriften und populärwissenschaftlichen Magazinen

X. Liu, P. Mc Kearney, S. Schäfer, B. Radfar, Y. Berencén, U. Kentsch, V. Vähänissi, S. Zhou, S. Kontermann, and H. Savin,

Impact of post-ion implantation annealing on Se-hyperdoped Ge

Applied Physics Letters 125 (2024) 042102. doi: 10.1063/5.0213637

S. Schäfer, X. Liu, P. Mc Kearney, S. Paulus, B. Radfar, V. Vähänissi, H. Savin and S. Kontermann,

Effective carrier lifetime in ultrashort pulse laser hyperdoped silicon: Sulfur concentration dependence and practical limitations

Physica Status Solidi A, 2400132 (2024), doi: 10.1002/pssa.202400132.

S. Paulus, S. Schäfer, P. Mc Kearney, T. Niemeyer, M. Seibt, S. Kontermann,

Defect engineering for improved thermal stability of sulfur hyperdoped silicon

Materials Science in Semiconductor Processing 176 (2024) 108297.

P. Mc Kearney, S. Schäfer, X. Liu, S. Paulus, I. Lebershausen, B. Radfar, V. Vähänissi, H. Savin, and S. Kontermann,

Impact of Pulse Duration on the Properties of Laser Hyperdoped Black Silicon,

Advanced Photonics Research (2024) 2300281, 10.1002/adpr.202300281

P. Mc Kearney, I. Lebershausen, S. Schäfer, S. Paulus, and S. Kontermann,

Improving the Processing Efficiency of Femtosecond Laser Sulfur Hyperdoping of Silicon by Diffractive Beam Shaping

JLMN-Journal of Laser Micro/Nanoengineering 1 (2023), doi: 10.2961/jlmn.2023.02.2003

P. Mc Kearney, S. Schäfer, S. Paulus, M. Roser, F. Piermaier, I. Lebershausen, and S. Kontermann,

Ultrafast laser heating for controlling the optoelectronic properties of sulfur hyperdoped black silicon

Journal of Applied Physics 133 (2023) 013102, doi: 10.1063/5.0130743

S. Paulus, M. Roser, P. Mc Kearney, M. Will, S. Schäfer and **S. Kontermann**,
Classification of different post-hyperdoping treatments for enhanced crystallinity of IR-sensitive femtosecond-laser processed silicon

Semiconductor Science and Technology 38 (2023) 024002, doi: 10.1088/1361-6641/acad93

V. Velthaus, C. Trautmann, and M. Bender

Mitigation of Beam-induced Gas Desorption from Accelerator Components

Vacuum 211 (2023) 111965, DOI: 10.1016/j.vacuum.2023.111965

L. Kirsch, W. Assmann, S. Gerlach, A.-K. Schmidt, M. Bender, K. Parodi, J. Schreiber, C. Trautmann

Ionoacoustic monitoring of relativistic heavy ion beams

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 1057 (2023) 168755, DOI:
[10.1016/j.nima.2023.168755](https://doi.org/10.1016/j.nima.2023.168755)

Carl-Christian Meyer, Ernst Artes, Markus Bender, Joachim Brötz, Christoph E. Düllmann, Constantin Haese, Egon Jäger, Birgit Kindler, Bettina Lommel, Marton Major, Maximilian Rapps, Dennis Renisch, Christina Trautmann und Alexander Yakushev

Fabrication, swift heavy ion irradiation, and damage analysis of lanthanide targets

Radiochimica Acta 2023, DOI: [10.1515/ract-2023-0197](https://doi.org/10.1515/ract-2023-0197)

C. Mejía, G.S. Vignoli Muniz, M. Bender, D. Severin, C. Trautmann, B. Augé, A.N. Agnihotri, P. Boduch, A. Domaracka, H. Rothard

Swift heavy ion irradiation of thymine at cryogenic temperature

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 534 (2023) 11–15, DOI:
[10.1016/j.nimb.2022.10.024](https://doi.org/10.1016/j.nimb.2022.10.024)

Matthias Enders, Chao Zhu, Maximilian Kleber, Georg Derscheid, Ruediger Berger, Hans-Dieter Bauer, Birgit Scheppat

Effects of surface morphology changes on FTIR-ATR spectroscopy with compacted Sodium Alanate (NaAlH₄) during cycling

International Journal of Hydrogen Energy 48 (2023) 709-722

5.2 Teilnahme an Tagungen und Konferenzen

X. Liu, K. Chen, B. Radfar, P. Mc Kearney, S. Paulus, S. Schäfer, M. Serué, D. Mutschall, V. Koskinen, T. Pasanen, V. Vähänissi, M. Juntunen, S. Kontermann, H. Savin,

Contact formation via femtosecond-laser hyperdoping in silicon optoelectronic devices

Optics & Photonics Days - University of Eastern Finland (UEF), Joensuu, Finland, 30.05.2023 – 01.06.2023 (2023).

S. Schäfer, X. Liu, P. Mc Kearney, S. Paulus, B. Radfar, V. Vähänissi, H. Savin and S. Kontermann,

Effective carrier lifetime in ultrashort pulse laser hyperdoped silicon: dopant concentration dependence and practical upper limits,

EMRS Fall Meeting, Warschau 18.09-21.09.2023 (2023).

S. Paulus, P. McKearney, S. Schäfer, T. Niemeyer, M. Roser, F. Piermaier, I. Lebershausen, M. Seibt, S. Kontermann,

Evolution of carrier mobility and carrier density of femtosecond laser sulfur hyperdoped silicon after different post-processing treatments,

EMRS Spring Meeting, Strasbourg 29.05-02.06.2023 (2023).

5.3 Dissertationen

Verena Velthaus

Mitigation of Beam-induced Gas Desorption from Accelerator Components

Dissertation zur Erlangung des Grades Dr. rer. nat., bei der Technischen Universität Darmstadt eingereicht 2023. Erstgutachter: Prof. Dr. Christina Trautmann, Zweitgutachter Prof. Dr. Jan Philipp Hofmann; Prüfungs-Komitee: Prof. Dr. Markus Bender, Prof. Dr. Karsten Durst

5.4 Master- und Bachelorarbeiten

2023

Investigation of the Contact Angle of Stood-up Drops made from Water and Diiodomethane
Franziska Walz, Masterarbeit 2023, MPI für Polymerforschung in Mainz

Aufbau und Charakterisierung einer Sputter-Ionenquelle
Maximilian Hofmann, Masterarbeit 2023, IMtech, Hochschule RheinMain

Laser-Oberflächenbehandlung von metallischen Proben
Sebastian Eicher, Masterarbeit 2023, IMtech, Hochschule RheinMain

Automatisierte Extraktion von Mikroplastik aus Bodenproben, Prozessoptimierung und Analyse mittels Raman-Spektroskopie
Philip Kraft, Masterarbeit 2023, Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme Mainz

Belegungserkennung von Glaskeramiken auf Unterlagsplatten nach der Keramisierung - Methodenanalyse und Ausarbeitung eines priorisierten Lösungsansatzes
Dilan Schott, Bachelorarbeit 2023 bei SCHOTT, Mainz

Konzeption eines Luftaufnahmesystems zur Anbringung von Luft auf Petrischalen
Shakoria Zadrán, Bachelorarbeit 2023, Hochschule RheinMain

Konzeption und Implementierung eines Luftqualität-Messgeräts mit vernetzter Datenübertragung
Luqman Ahmed Warraich, Bachelorarbeit 2023, Hochschule RheinMain

Einfluss von Schwerionenstrahlung und Wärme auf die elektrischen Eigenschaften von Bismut-Nanodrähten
Maximilian Schmock, Bachelorarbeit 2023, GSI Darmstadt

Spitzenformen für Tracheostomiekanülen
Noura El Halimi, Bachelorarbeit 2023, TRACOE medical

Dimensionierung einer Wärmepumpe für mehrere Standorte der Telekom,
Oussama Lahsaini, Bachelorarbeit 2023, Telekom Darmstadt

2024

Untersuchung der physikalischen Eigenschaften von Ti/Edelmetall Schichtsystemen
Eduard Betz, Masterarbeit 2024, Hochschule RheinMain

Mechanische Belastung von Mikrodosierpumpen
Paul Borgetto, Masterarbeit 2024, Fraunhofer EMFT

Advancements in Optical Characterization and Sensor Innovation for Liquid Organic Hydrogen Carriers: A Case Study with Dibenzyltoluene (DBT)
Tarkan Karakus, Masterarbeit 2024 am Imtech, Hochschule RheinMain

Development of a fiber-based homodyne encoder
Sonja Schnippering, Masterarbeit 2024 bei ZEISS, Oberkochen

Aufbau eines hochdynamischen, interferometerbasierten Teststands zur Winkelmessung an Galvanometerscannern
Caroline Glaum, Masterarbeit 2024 bei ScanLab, München

Lebensmittelverpackungen im Alltag - Herstellung, Druckverfahren, Umfrage
Marcus Schäfer, Masterarbeit (BIS WI) 2024, bei Applied Materials

Erfahrungsbericht über den Aufbau eines Luftdatensensorsystems
Markus Dürr, Bachelorarbeit 2024, Hochschule RheinMain

Vergleich unterschiedlicher Messmethoden zur Transferzahlbestimmung in Hybridelektrolyten für Lithiumbatterien
Pirmin Fletschinger, Bachelorarbeit 2024 bei SCHOTT, Mainz

Herstellung von präzisen Stufenstrukturen in Quarzglas mittels trockenchemischer Ätzmethoden
Marius Holderrieth, Bachelorarbeit 2024 am Imtech, Hochschule RheinMain

Extraktion von interstitieller Flüssigkeit mit Hilfe eines Nadelarrays
Niclas Cassel, Bachelorarbeit 2024 am Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme Mainz

Optimierung des Trocknungsprozesses von Optischen Gläsern durch Infrarot-Heizung
Konstantinos Agloupas, Bachelorarbeit 2024 bei OptoVision, Langen

Herstellung und Charakterisierung nanostrukturierter Sensoren für Messungen im mittleren Infrarotspektrum für den Einsatz im medizinisch-technischen Umfeld
David Koßmann, Bachelorarbeit 2024 im Haute Ecole d'Ingenierie et de Gestion du Canton de Vaud (Schweiz)

Konzeption eines Inkubators für die Kultivierung von Mikroorganismen
Hania Muneeb, Bachelorarbeit 2024, Hochschule RheinMain

Optimierungsanalyse zur Kraftsteigerung eines medizinischen Handtherapiegeräts
Melanie Ender, Bachelorarbeit 2024, Lime Medical Mainz

Entwicklung eines multifunktionalen Feuerlöscher-Roboters für den Hausgebrauch und die Unterstützung der Feuerwehr
Mohammed Atallah, Bachelorarbeit 2024, Hochschule RheinMain

Entwicklung eines Prototypen für eine elektrische Luftpumpe mit Integration in einen aufblasbaren Fahrradhelm
Robin Rücker, Bachelorarbeit 2024, Inflabi GmbH

5.5 Teilnahme an PR-Aktionen, Messeauftritte

Messeauftritt Optatec 2024

Auf der Optatec 2024 in Frankfurt präsentierten sich führende Photonik-Masterstudiengänge aus Hessen, darunter auch der Masterstudiengang Angewandte Physik der HSRM.

Das IMtech stellte zusammen mit Kollegen von der Hochschule Darmstadt und der Technischen Hochschule Mittelhessen vom 14. bis 16. Mai 2024 live auf der Messe ihre Master-Studiengänge „Optotechnik und Bildverarbeitung“, „Angewandte Physik“ und „Optical System Engineering“ vor.

Der Gemeinschaftsstand in Halle 3.1. bot eine einzigartige Gelegenheit für Interessierte, mehr über diese spezialisierten Studiengänge zu erfahren. Schüler und Besucher hatten die Möglichkeit, sich mit Dozenten und Vertretern der Hochschulen auszutauschen, um Einblicke in die Inhalte und Karrieremöglichkeiten der Studiengänge zu erhalten.



Andrang am Messestand der hessischen Hochschulen für Angewandte Wissenschaften bei der OPTATEC 2024.