Universität Stuttgart
Institut für Großflächige Mikroelektronik

Jahresbericht
2022

IGM
Institut für Großflächige Mikroelektronik

Herausgeber

Universität Stuttgart
Institut für Großflächige Mikroelektronik (IGM)
Allmandring 3 B
70569 Stuttgart

T +49 (0)711 685-66922
igm@igm.uni-stuttgart.de
www.igm.uni-stuttgart.de

März 2023

Inhaltsverzeichnis

1 Vorwort 4
2 Das Institut 6
3 Personelle Besetzung des Instituts 7
4 Lehre 8
4.1 Vorlesungen 8
4.2 Übungen 13
4.3 Praktika 14
4.4 Studentische Arbeiten und Preise 15
4.5 Promotion 17
5 Projekte und Forschungsaktivitäten 18
5.1 WAGNER-Projekt 18
5.2 Graduiertenkolleg (GRK2642): Quantensensor 19
5.3 Industrieprojekt Fotosensoren 20
5.4 BAMBAM-Projekt 20
5.5 6G-LICRIS-Projekt 21
6 Vorträge und Konferenzbeiträge 22
7 Mitarbeit in Organisationen 22
8 Der Reinraum 23
9 IGM-Aktivitäten 28
9.1 Eurodisplay 2022 28
9.2 Tag der Wissenschaft 32
9.3 Institutsausflug 32
9.4 Weihnachtsfeier 32
10 Anfahrt und Lageplan 33
11 Kontakt 35

1 Vorwort

Liebe Freundinnen und Freunde des Instituts für Großflächige Mikroelektronik,

wir freuen uns, unseren wissenschaftlichen Kooperationspartnern, Ehemaligen und sonstigen Freunden die Aktivitäten und Neuigkeiten des Jahres 2022 präsentieren zu können.

Im Jahr 2022 konnte der gesamte Lehrverstaltungskanon des Instituts ohne jegliche Einschränkungen angeboten werden. Besonders bemerkenswert ist ein deutlich gesteigertes Interesse der Studierenden an mikro- und optoelektronischen Fragestellungen, was sich insbesondere in einer deutlich höheren Anzahl von studentischen Arbeiten und einer Verdreifachung der Teilnehmerzahl im englischsprachigen Modul „Thin Film Technology“ in den letzten zwei Jahren niederschlägt.

Aufgrund der Entspannung der Corona Situation, konnte die vollständig vom Institut organisierte Eurodisplay Konferenz in der dritten Septemberwoche stattfinden. Die zahlreichen Veranstaltungen beginnend mit einem praktischen Workshop im Reinraum des Instituts über die eigentlichen Vorträge und die der Konferenz angegliederte Ausstellung wurden von den Teilnehmern mit großer Begeisterung aufgenommen. Neben zahlreichen Kaffeepausen wurde das so wichtige Networking insbesondere auch durch ein Dinner Event im Mercedes Museum ermöglicht. Darüber hinaus, hatten interessierte Teilnehmer auch noch die Möglichkeit, nach der Konferenz den Cannstatter Wasen im Rahmen einer Farewell Party zu besuchen.

Im Jahr 2022 konnten insgesamt drei weitere Forschungsverbünde mit IGM Beteiligung sowie ein reines Industrieprojekt erfolgreich eingeworben bzw. gestartet werden. Neben dem bereits im letzten Jahresbericht erwähnten Landesprojekt zur Demonstration einer auf dem UPD Drucker basierenden additiven Aufbautechnik 140 GHz Radars für Automobile, konnte ein EU gefördertes Konsortium zur Realisierung von Mikro LED Bildschirmen eingeworben und gestartet werden. Dabei fungierte das IGM als Gastgeber für das im September direkt vor der Eurodisplay stattfindende Kick-Off Meeting. Im Rahmen dieses Projektes untersucht das IGM Möglichkeiten zur Kontaktierung der Mikro LEDs mithilfe eines UPD Drucker basierten additiven Prozesses. In dem Industrieprojekt entwickelt das IGM Lichtsensormatrizen

für neuartige adaptive Bildschirmkonzepte. Schließlich wurde in der zweiten Jahreshälfte ein BMBF Konsortium zur Realisierung von flüssigkristallbasierten, rekonfigurierbaren, intelligenten Oberflächen für zukünftige 6G Mobilfunksysteme gestartet, in dem das IGM Demonstratoren von Passiv Matrix und Aktiv Matrix basierte Flüssigkristall Systeme für die räumliche Modulation hochfrequenter Mobilfunksignale realisiert. Darüber hinaus werden die bereits laufenden Arbeiten zur Entwicklung von quantenbasierten Gassensoren im Rahmen der Graduiertenschule „Photonic Quantum Engineers“ (GRK2642) weitergeführt.

Allen Freundinnen und Freunden des Instituts möchte ich für die Unterstützung und Anregungen danken und Ihnen allen weiterhin gute Gesundheit wünschen.

Ein besonderer Dank geht an alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die mit ihrem unermüdlichen engagierten Einsatz täglich die erfolgreiche Arbeit des Instituts ermöglichen. Auch Ihnen und Ihren Familien wünsche ich von ganzem Herzen Gesundheit, Glück und alles Gute.

Stuttgart, im März 2023

Prof. Dr.-Ing. Norbert Frühauf

2 Das Institut

Das Institut für Großflächige Mikroelektronik (IGM) ist ein Forschungs- und Lehrinstitut mit dem Fokus auf anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung neuartiger Prozesse und Materialien für die Bildschirmtechnik.

Das IGM betreibt mit seiner mehr als 500 m² Reinraumfläche für Bildschirmtechnik eines der führenden unabhängigen Labore zur Erforschung und Entwicklung von Dünnschichtelektronik und Dünnschichttechnologie (TFTs) und entsprechender Anwendungsfelder wie z. B.:

- Flachbildschirme (LCD, OLED)
- Smart Glass
- Optische Signalverarbeitung
- Mikroelektromechanische Systeme (MEMS)

Bei der Konzeption des Labors stand von Anfang an eine anwendungsorientierte Forschung und die Übertragbarkeit auf industrielle Prozesse im Vordergrund. Das Reinraumlabor besitzt daher die vollständige Ausstattung, um auf Glassubstraten mit Seitenlängen von bis zu 16 Zoll (406 mm) Aktiv Matrix LCDs zu bauen. Die Möglichkeit, auf solchen großen Substratgrößen (für Forschungsmaßstäbe) vollständige Flachbildschirme bauen zu können, macht das Labor im Institut für Großflächige Mikroelektronik zu einer in ganz Europa einzigartigen Forschungseinrichtung.

Neben den umfangreichen Forschungsarbeiten des Instituts spielt auch die universitäre Lehre eine wichtige Rolle. In der Lehre vertritt das Institut sowohl die Grundlagen der Elektrotechnik als auch die Bildschirm- und Dünnschichttechnik.

3 Personelle Besetzung des Instituts

Funktion	Name	E-Mail @igm.uni-stuttgart.de	Telefon 0711/ 685-
Institutsleiter	Prof. Dr.-Ing. Norbert **Frühauf**	norbert.fruehauf	66922
Stellv. Institutsleiter/ Laborleiter	Dipl.-Ing. Lothar **Rau**	lothar.rau	66927
Stellv. Laborleiter	Dipl.-Ing. Holger **Baur**	holger.baur	66926
Sekretariat	Birgit **Schuder**	birgit.schuder	66922
Haustechnik und Verwaltung	Jörg **Bachofer**	joerg.bachofer	66933
Akademische Mitarbeiter*innen	Florian **Kleber**, M.Sc.	florian.kleber	69321
	Martin **Römhild**, M.Sc.	martin.roemhild	66930
	Dr.-Ing. Patrick **Schalberger**	patrick.schalberger	69320
	Yannick **Schellander**, M.Sc	yannick.schellander	66929
	Annika **Schmekal**, M.Sc.	annika.schmekal	66925
	Kai **Waldner**, M.Sc.	kai.waldner	66931
	Dipl.-Phys. Marc **Wilke**	marc.wilke	66904
Technische Mitarbeiterinnen	Daniela **Schalberger**, B.Sc. CTA	daniela.schalberger	69305
	Elisabeth **Schuler**	elisabeth.schuler	66908
Lehrbeauftragter	Dr. Hagen **Klauk** Max-Planck-Institut	hagen.klauk@ fkf.mpg.de	0711/689-1401

4 Lehre

Professor Frühauf hält Vorlesungen auf den Gebieten der Grundlagen der Elektrotechnik, Filtersynthese, optischer Signalverarbeitung und im Bereich der Dünnschicht- und Bildschirmtechnik. In verschiedenen Praktika wird den Studierenden zudem auch praktische Erfahrung vermittelt.

4.1 Vorlesungen

Alle Vorlesungen werden aufgezeichnet und anschließend online auf ILIAS den Studierenden zur Verfügung gestellt.

Grundlagen der Elektrotechnik 1

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Norbert Frühauf

Wintersemester, 1 Semester, 1. Semester Bachelorstudiengang Elektrotechnik und Informationstechnik, Mechatronik und Erneuerbare Energien

- Einleitung und Überblick
- Elektrische Spannung und elektrischer Strom
- Ohm’sches Gesetz
- Elektrische Leistung
- Kirchhoff’sche Gesetze
- Netzwerkanalyse
- Das elektrische Feld
- Kapazitäten
- Das magnetische Feld
- Induktionsgesetz

Grundlagen der Elektrotechnik 2

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Norbert Frühauf

Sommersemester, 1 Semester, 2. Semester Bachelorstudiengang Elektrotechnik und Informationstechnik, Mechatronik und Erneuerbare Energien

- Induktivitäten
- Sinusförmige Wechselgrößen
- Wechselstromkreise
- Allgemeine Zweipole
- Abhängige Quellen
- Schwingkreise

Zur zweisemestrigen Veranstaltung „Grundlagen der Elektrotechnik“ gehören:

- Wöchentliche Vorlesungen
- Zweiwöchentliche Vortragsübungen
- Zweiwöchentliche Gruppenübungen (B.Sc. Elektrotechnik und Informationstechnik und B.Sc. Erneuerbare Energien: Wintersemester Pflicht, B.Sc. Mechatronik: Wintersemester **und** Sommersemester Pflicht)
- Grundlagenpraktikum (Pflichtveranstaltung)

Wichtiger Hinweis:
Die Modulprüfung „Grundlagen der Elektrotechnik“ ist eine Orientierungsprüfung des B.Sc. Elektrotechnik und Informationstechnik. Der Prüfungsanspruch erlischt, falls die Orientierungsprüfung (einschließlich einem schriftlichen Wiederholungsversuch) nicht bis zum Beginn des 4. Semesters bestanden ist.

Filtersynthese

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Norbert Frühauf

Wintersemester, 1 Semester, Masterstudiengang

- Einleitung
- Mathematische Grundlagen
- RLC-Zweipole
- Realisierung von Filterstrukturen
- Transformation von RLC-Schaltungen in RC-aktive Schaltungen
- Synthese von Reaktanzvierpole
- RC-aktive Grundschaltungen
- Synthese von Kettenschaltungen von Vierpolen maximal zweiten Grades
- Empfindlichkeitstheorie
- Optimierung von Kettenschaltungen
- Switched Capacitor Filter

Thin Film Technology

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Norbert Frühauf

Wintersemester, 1 Semester, Masterstudiengang. Die Vorlesung wird nur in Englisch angeboten.

- Einleitung und Überblick
- Vakuum-Dünnschichttechnik:
  Vakuumtechnik, Aufdampfen, Kathodenzerstäubung, Plasmabeschichtung, Wachstum und Eigenschaften dünner Schichten
- Vakuumfreie Abscheideverfahren:
  Aufschleudern, Drucktechniken, Chemische Verfahren
- Substratmaterialien und Oberflächenvorbehandlung
- Strukturierung dünner Schichten
- Messtechnik

Flachbildschirme

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Norbert Frühauf

Sommersemester, 1 Semester, Bachelorstudiengang Elektrotechnik und Informationstechnik/Masterstudiengang Photonic Engineering

- Überblick: Kathodenstrahlröhre, Flachbildschirmtechnik, aktuelle Technologien
- Physiologie des Sehens: Farbtheorie, Normvalenzen nach CIE 1931, Farbfilter
- Grundlagen der Flüssigkristalltechnik: Elektromechanische Eigenschaften, Variation der potentiellen Energie, nichtverdrillte und verdrillte Zelltypen
- Lichtausbreitung in optisch anisotropen uniaxialen Medien: Jones-Vektoren, Jones-Matrix
- Flüssigkristalltechnologien: Optische Transmission durch Fréedericksz Zelle, Vertically Aligned Zelle und verdrillte nematische Zellen, Oberflächenstabilisierte Ferroelektrische Flüssigkristalle
- Ansteuerung von Flüssigkristallzellen: Direkte Ansteuerung, Passiv Matrix, Aktiv Matrix

Optical Signal Processing

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Norbert Frühauf

Sommersemester, 1 Semester, Masterstudiengang. Die Vorlesung wird nur in Englisch angeboten.

- Mathematische Beschreibung optischer Signale und Systeme
- Analoge optische Signalverarbeitung: Fourier-Transformation der optischen Signale, optische Filter
- Optische Speicherung: CD, DVD, Blu-ray Disc, Holographie
- Optische Sensoren
- Digitale optische Signalverarbeitung

Organische Transistoren

Dozent: Dr. Hagen Klauk

Wintersemester, 1 Semester

- Überblick: mögliche Anwendungen organischer Transistoren, ökonomische Überlegungen, Realisierung und allgemeine Eigenschaften organischer Transistoren
- Elektronische Eigenschaften konjugierter Kohlenwasserstoffe: lokalisierte und delokalisierte Molekülorbitale, Orbitalenergien
- Elektronische Eigenschaften organischer Festkörper: Kristallstruktur, Dispersion, Ladungstransport in teilkristallinen Schichten
- Aufbau und Herstellung organischer Transistoren: Materialauswahl, Schichtaufbau, Verfahrenstechnik
- Funktionsweise organischer Transistoren: Ladungsträgerkanal, Ladungsinjektion, Bändermodell, analytische Beschreibung der Kennlinien
- Frequenzverhalten organischer Transistoren: Analyse und Optimierung der Grenzfrequenz organischer Transistoren
- Anwendungen organischer Transistoren: Flachbildschirme, integrierte Schaltungen

4.2 Übungen

Grundlagen der Elektrotechnik 1 und 2 – Vortragsübungen

Ansprechpartner: Dr.-Ing. Patrick Schalberger
Winter- und Sommersemester, 2 Semester, Bachelorstudiengang

Grundlagen der Elektrotechnik 1 und 2 – Gruppenübungen

Ansprechpartner: Dr.-Ing. Patrick Schalberger
Winter- und Sommersemester, 1 bis 2 Semester, Bachelorstudiengang
B.Sc. Elektrotechnik und Informationstechnik und B.Sc. Erneuerbare Energien: Wintersemester Pflicht
B.Sc. Mechatronik: Wintersemester **und** Sommersemester Pflicht

Filtersynthese Übungen

Ansprechpartner: Martin Römhild, M.Sc.
Wintersemester, 1 Semester, Masterstudiengang

Thin Film Technology Exercises (auf Englisch)

Ansprechpartner: Dipl.-Phys. Marc Wilke
Wintersemester, 1 Semester, Masterstudiengang

Flachbildschirme Übungen

Ansprechpartner: Martin Römhild, M.Sc.
Sommersemester, 1 Semester, Bachelorstudiengang Elektrotechnik und Informationstechnik/Masterstudiengang Photonic Engineering

Optical Signal Processing Exercises (auf Englisch)

Ansprechpartner: Yannick Schellander, M.Sc.
Sommersemester, 1 Semester, Masterstudiengang

4.3 Praktika

Grundlagenpraktikum „Grundlagen der Elektrotechnik“

Das Grundlagenpraktikum ist ein institutsübergreifendes Praktikum und findet im zweiten Semester (Sommersemester) statt. Es handelt sich um eine Pflichtveranstaltung des Bachelorstudiengangs Elektrotechnik und Informationstechnik und Erneuerbare Energien.

Der Grundlagenpraktikumsversuch „Verstärkerschaltung mit Transistoren“ soll neben einigen theoretischen Grundlagen der Elektrotechnik wie zum Beispiel "Kondensator als Gleichspannungssperre", "Transistorgrundschaltungen" und "Widerstand als Spannungsteiler" vor allem praktische Erfahrungen durch den Aufbau und das Vermessen einer Verstärkerschaltung mit Bipolartransistoren vermitteln. Die Studierenden lernen dabei eine einfache Schaltung schrittweise aufzubauen und durch geeignete Messungen zu überprüfen. Die einfache Verstärkerschaltung kann mit einem Fototransistor zu einem Infrarotempfänger erweitert werden. Zusammen mit einer während dem Versuch vorhandenen Senderschaltung kann so zum Beispiel ein Audiosignal drahtlos übertragen werden.

Fachpraktikum „Flachbildschirme“

Das Praktikum ist Teil des Masterstudiengangs und findet als einwöchige Blockveranstaltung in der ersten vorlesungsfreien Woche nach dem Sommersemester statt.

Das Fachpraktikum „Flachbildschirme“ im Labor beinhaltet den Bau einer digitalen Uhrenanzeige. Diese besteht grundsätzlich aus einer Siebensegmentanzeige mit Flüssigkristall, Polarisatoren und Glassubstraten. Die für den Aufbau benötigten Prozessschritte – beispielsweise Aufstäuben von ITO, Aufschleudern von Photolack und Polyimid, nasschemische Strukturierung, Zellenbau – sind während des Praktikums im Reinraum des Instituts für Großflächige Mikroelektronik durchzuführen. Abschließend ist ein einfacher digitaler Uhren-Treiber IC zusammen mit weiteren peripheren Bauteilen an die Siebensegmentanzeige anzuschließen. Nach dem Praktikum verbleibt die fertiggestellte Uhr im Besitz der Teilnehmer.

Fachpraktikum „Optical Signal Processing“

Das Fachpraktikum „Optical Signal Processing“ ist Teil des Masterstudiengangs und findet im Wintersemester während der Vorlesungszeit statt. Im Praktikum sammeln die Studierenden Erfahrungen in den Bereichen:

- Räumliche und zeitliche Kohärenz
- Kollimation (Erzeugung ebener Wellenfronten)
- Bildgebung und Brechung
- Beugung
- Fourieroptik
- Berechnung und Herstellung synthetischer Hologramme

4.4 Studentische Arbeiten und Preise

Folgende Bachelor-, Forschungs- und Masterarbeiten wurden im Jahr 2022 erfolgreich am IGM abgeschlossen:

Bachelorarbeiten

Francesco Vulcano
Untersuchung von Indium-Gallium-Zink-Oxid Dünnschichttransistoren mit selbstjustierten Kontaktbereichen

Elias Harrer
Entwicklung eines Ansteuersystems für Flachbildschirme

Forschungsarbeiten

Markus Widmaier
Untersuchung vorgespannter Dünnschichtsysteme für MEMS Bauelemente

Marius Winter
Kombination von Dual- und Single-Gate-IGZO-Transistoren zur Anwendung in Schaltungen

Yunyi Ouyang
Untersuchung des Einflusses von Prozessschritten auf die Eigenschaften von Indium-, Gallium-, Zinkoxidhalbleitertransistoren vom Verarmungstyp

Kalyani Mahakalkar
Untersuchung von IGZO-Doppelschichten mit unterschiedlichem Sauerstoffgehalt

Forschungsarbeiten

Mansour Chabnari
Entwicklung von a-IGZO TFT-Schaltungen für die Detektion von Licht im UV-Wellenlängenbereich

Masterarbeiten

Ge Ge
Entwurf und Optimierung elektrischer Schaltungen basierend auf Anreicherungs- und Verarmungstyp Indium-Gallium-Zink-Oxid Halbleitertransistoren

Ghayathri Suriyamoorthy
Optimierung von Siliziumoxid/-nitrid Doppelschichten zur Nutzung in Transistoren

Xin Sun
Entwicklung präziser Verstärkerschaltungen mit Indium-Gallium-Zink-Oxid Dünnschichttransistoren

Jie Feng
Entwicklung präziser Strommessverstärker mit Indium-Gallium-Zink-Oxid Dünnschichttransistoren

Kai Waldner
Untersuchung und Realisierung von Analog-Digital und Digital-Analog-Wandlerschaltungen mit IGZO

Ziyu Qiu
Schieberegister auf Basis von IGZO Verarmungs- und Anreicherungstransistoren

Marco Dettling
Entwicklung, Untersuchung und Auswertung großflächiger Fotosensorarrays

Hanghang Li
Untersuchung und Herstellung von Phasenregelschleifen basierend auf Indium-Gallium-Zinkoxid Dünnschichttransistoren

Marius Winter
Entwicklung von Operationsverstärkern aus Indium-Gallium-Zink-Oxid Dünnschichttransistoren

Linus Meyer
Entwurf, Herstellung und Charakterisierung verschiedener Inverter-Architekturen basierend auf organischen Transistoren
Die Masterarbeit wurde zusammen mit unserem-Lehrbeauftragten Dr. Hagen Klauk betreut.

Preisverleihung

SID Mid-Europe Chapter Student Award 2021/2022
Yannick Schellander, Doktorand am IGM, hat den SID Mid-Europe Chapter Student Award 2021/22 gewonnen, welcher ihm im Rahmen der Eurodisplay 2022 für sein Paper "High Gain Operational Amplifier Using Enhancement and Depletion Mode a-IGZO TFTs" verliehen wurde.

4.5 Promotion

Nesrine Kammoun
Das IGM gratuliert Frau Nesrine Kammoun ganz herzlich zu ihrer am 19.09.2022 erfolgreich bestandenen Doktorprüfung und wünscht ihr viel Erfolg und alles Gute für die Zukunft. Der Titel ihrer Dissertation lautet „Printing materials and processes for display applications”.

5 Projekte und Forschungsaktivitäten

Die meisten der Forschungsaktivitäten erfolgen im Rahmen von Drittmittel-Projekten. Neben der Förderung durch den Bund oder durch die Europäische Union spielt insbesondere auch die Zusammenarbeit mit zahlreichen industriellen Partnern aus Deutschland und dem übrigen Europa, aber auch aus Nordamerika und Asien eine wichtige Rolle. Gerade für Firmen in Deutschland stellen die umfassenden Forschungsmöglichkeiten am IGM eine attraktive Möglichkeit dar, auf dem Gebiet der flachen Bildschirme eigenes Know-how aufzubauen, da dieser Bereich sonst vor allem von Firmen aus dem asiatischen Raum dominiert wird.

Das IGM arbeitet zurzeit an folgenden Projekten:

5.1 WAGNER-Projekt

Das WAGNER-Projekt, gefördert vom MWK Baden-Württemberg, hat sich zum Ziel gesetzt, den von XTPL entwickelten Ultra-Precise Deposition (UPD) Hochpräzisionsdruck für die Aufbau- und Verbindungstechnik von automobilen Radarsystemen im D-Band (110-170 GHz) speziell bei 140 GHz einzusetzen. Die Drucktechnik ist ein Extrusionsverfahren für hochviskose Tinten, bei der sich eine sehr feine Nadel im Kontakt mit dem Substrat befindet. Das Verfahren zeigt eine herausragende Präzision und Auflösung für ein additives Fertigungsverfahren. Damit eignet es sich besonders für den Druck von Wellenleitern, die im sub-THz-Bereich für eine funktionierende Chipkontaktierung erforderlich sind. Im Rahmen des InnovationsCampus Mobilität der Zukunft (ICM) hat das WAGNER-Projekt zudem zu einer intensiven Vernetzung mit vielen Forschungsinstituten der Universität Stuttgart und des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) geführt.

5.2 Graduiertenkolleg (GRK2642): Quantensensor

Neue Konzepte für die elektrische Auslesung eines optogalvanischen Stickstoffmonoxid Spurengassensors

Ein Spurengassensor, der auf der optogalvanischen Detektion von Rydberg-Zuständen basiert, sollte den Nachweis von Stickstoffmonoxid (NO) im niedrigen ppb-Bereich in einem Hintergrundgas bei Atmosphärendruck ermöglichen. Die in einer Gaszelle befindlichen NO-Moleküle werden durch Lasereinstrahlung in Rydberg-Zuständen angeregt und anschließend thermisch ionisiert. Die entstehenden Ladungen werden durch eine angelegte Spannung zu Elektroden geleitet und anschließend durch eine Strom-messung nachgewiesen. Die elektrische Auslesung besitzt im Vergleich zur optischen Detektion eine höhere Empfindlichkeit und eine bessere Integrationszeit. Mit Hilfe der Dünnschichttechnologie kann die elektrische Auslesung (Elektrode + Transimpedanzverstärker) auf der Zellenwand realisiert werden.

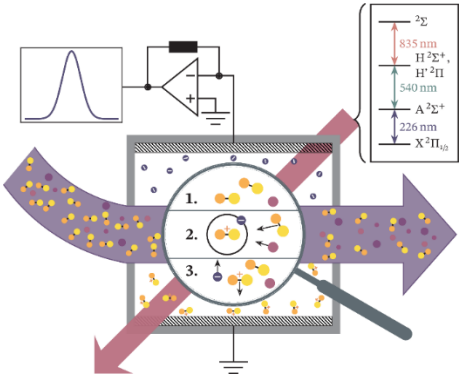

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Funktionsprinzips eines auf Anregung in den Rydberg-Zustand basierenden Spurengassensors

5.3 Industrieprojekt Fotosensoren

Im Auftrag eines japanischen Start-up Unternehmens entwickelt das IGM ein großflächiges Fotosensorarray. Besondere Herausforderungen entstehen in diesem Projekt durch die geforderte Fläche des Sensorarrays von mehr als 100 cm² sowie die Zielvorgabe, das Array weitestgehend transparent zu gestalten. Weiterhin soll die Herstellung des Arrays auf etablierten Methoden der großflächigen Mikroelektronik erfolgen, so dass eine kostengünstige Massenfertigung in Fabrikationsanlagen für Flachbildschirmpanels möglich ist.

5.4 BAMBAM-Projekt

Das zum 01.09.2022 gestartete EU Projekt „BAMBAM“ (Building Active MicroLED displays By Additive Manufacturing) erforscht innovative Fertigungsmethoden zur Herstellung von Mikro LED basierten Displays für eine zukünftige, nachhaltige Bildschirmfertigung in Europa. Dafür kooperiert ein EU weites Konsortium aus den Firmen Aledia (Frankreich), Xdisplay und X-Celeprint (Irland), BARCO und QustomDot (Belgien), XTPL (Polen) und das Institut für Großflächige Mikroelektronik der Universität Stuttgart (Deutschland). Schwerpunkte der Forschungsarbeiten des IGM für das Projekt sind die elektrische Kontaktierung von Mikro LEDs und Treiberchips mithilfe eines neuartigen, hochaufgelösten Druckverfahrens (Ultra-Precise Deposition) der Firma XTPL sowie die Herstellung weiterer funktioneller Strukturen im Display.

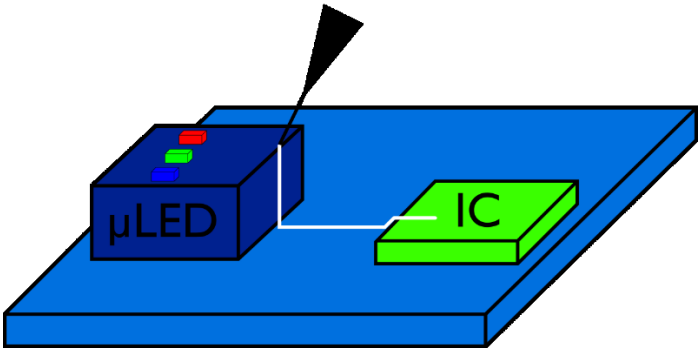

Abbildung 2: Kontaktierung von Mikro LED und Treiber IC auf Pixel Ebene mittels UPD Druck

5.5 6G-LICRIS-Projekt

Im Oktober 2022 konnte das BMBF geförderte Verbundprojekt 6G-LICRIS (Liquid Crystal Reconfigurable Intelligent Surfaces for 6G Mobile Networks) gestartet werden. Das Konsortium besteht aus den Partnern Rohde & Schwarz, Ericsson, Merck, IMST, brown-iposs, Fraunhofer HHI, der TU Berlin und dem IGM der Universität Stuttgart. Forschungsthema ist die Integration von auf Flüssigkristall Zellen basierenden intelligenten, rekonfigurierbaren, reflektiven Oberflächen in zukünftige 6G-Mobilfunk Netzwerke. Die RIS (Reconfigurable Intelligent Surfaces) sollen durch gezielt steuerbare Reflektion der Funkwellen (ähnlich einer zweidimensionalen Phasen Array Antenne, bei der die Phasenverschiebung der Einzelelemente durch die lokale Ausrichtung der Flüssigkristallmoleküle beeinflusst wird) die Netzabdeckung erhöhen und im Vergleich zum Einsatz von Repeatern den Energieverbrauch reduzieren. Aufgaben des IGM hierbei sind erst die Entwicklung und Optimierung von Fertigungsprozessen für flüssigkristallbasierte RIS Elemente und deren Integration mit einer angepassten (Aktiv-) Matrix Technologie. Darauf folgt die Entwicklung der Ansteuerung für die Matrizen und abschließend die Realisierung von RIS Modulen am IGM für die Charakterisierung und die Integration in Netzwerk Demonstratoren bei den Projektpartnern.

6 Vorträge und Konferenzbeiträge

22.03.2022: Eingeladener Vortrag (Short Course) auf der LOPEC 2022 in München
Prof. Frühauf hielt einen Short Course mit dem Titel "Additive Processing for Displays and Touch Screens" auf der LOPEC Konferenz, die vom 22. bis 24.03.2022 in München stattfand. Mit rund 200 Vorträgen ist sie die weltweit führende Kommunikationsplattform für Lösungen, Technologien und Forschung in der gedruckten Elektronikindustrie.

21.-23.09.2022: Eurodisplay 2022, Stuttgart
Während der Eurodisplay, die das IGM in Zusammenarbeit mit der Society for Information Display (SID) organisiert hat, wurden folgenden Vorträge mit IGM Beteiligung gehalten:

Florian Kleber, Doktorand am IGM: Influence of Gas Composition during IGZO-Deposition for different TFT Structures and Introduction of IGZO Double Layers
Hugues Lebrun, Aledia: Building Active Matrix by Additive Manufacturing (BAMBAM)
Sheikh A. A. Nusayer, ehemaliger Doktorand am IGM: High Performance MEMS Shutter Display with Metal Oxide Thin Film Transistors
Yannick Schellander, Doktorand am IGM: High Gain Operational Amplifier using Enhancement and Depletion Mode a-IGZO TFTs

7 Mitarbeit in Organisationen

- Vorsitzender des Kuratoriums der Eduard-Rhein-Stiftung, Deutschland
- Mitglied des Kuratoriums des Instituts für Mikroelektronik Stuttgart (IMS), Deutschland
- Regional Vice President Europe, SID Society of Information Display
- General Chair and Program Chair Eurodisplay 2022, SID Society of Information Display
- Member Active Matrix Committee, SID Society of Information Display
- Associate Editor, Journal of the Society of Information Display (JSID)
- Program Committee Member, AM-FPD, Japan
- Overseas Advisor, International Display Workshop (IDW), Japan

8 Der Reinraum

Das Institut für Großflächige Mikroelektronik (IGM) besitzt einen der weltweit größten universitären Reinräume zur Fertigung von Flachbildschirmen und ähnlichen Systemen.

Insgesamt besitzt das IGM mehr als 500m² Reinraumfläche. Der größte Teil entfällt auf das etwa 480m² Hauptlabor mit einer für einen Forschungsreinraum sehr hohen Reinheitsklasse (ISO5, d.h. < 100 Partikel mit einer Größe von mehr als 0,5 µm pro Kubikfuß Luft; ISO 4, d. h. weniger als 10 Partikel größer 0,5 µm pro Kubikfuß Luft im Lithographiebereich). Am IGM stehen alle Anlagen zur Verfügung, um mit industrienahen Prozessen Flachbildschirme und andere Dünnschichtsysteme fertigen zu können. Durch die industrieartige Ausstattung unseres Labors wird die Adaption der am IGM entwickelten Fertigungsverfahren in bestehenden Fertigungslinien wesentlich erleichtert.

Ein kleinerer Reinraum beherbergt insgesamt drei MBraun Handschuhboxen mit Stickstoffatmosphäre zur Prozessierung von auf Luftsauerstoff und Feuchtigkeit äußerst sensibel reagierenden organischen Halbleitern.

Eine Auswahl der zur Verfügung stehenden Anlagen:

Schichtabscheidung

- **PECVD:** Es stehen mehrere PECVD Reaktoren zur Verfügung, darunter ein Balzers (heute Oerlikon) KAI 1M Reaktor zur Beschichtung von Gläsern bis 16" (400mm) Kantenlänge mit amorphem/mikrokristallinem Silizium (auch dotiert), Siliziumnitrid und Siliziumdioxid
- **Sputtern:** Zur Sputterbeschichtung stehen zwei Leybold ZV6000 Inline-Sputteranlagen mit insgesamt 12 Targetplätzen (davon 9 DC, 3 RF) zur Verfügung. Typische Materialien der Displaytechnik wie Chrom, Aluminium, Molybdänlegierungen aber auch Gold, Nickel, Palladium sowie ITO, AZO, IGZO stehen zur Verfügung. Bei Bedarf verfügt das IGM über eine große Auswahl an Sputtertargets, die kurzfristig Verwendung finden können. Die Sputteranlagen können zur Beschichtung bis 16" (400 mm) Kantenlänge eingesetzt werden. Nachdem 2017 die erste der beiden ZV6000 Sputteranlagen grundlegend modernisiert wurde, konnte im Jahr 2020 mit der Firma HS-Group GmbH auch die Modernisierung der zweiten Anlage durchgeführt werden. Beide Anlagen sind bezüglich SPS

Anlagensteuerung, Benutzerschnittstelle, Gasflussregelung, Druckmessung/-regelung und Substrattransportantrieb auf dem aktuellen Stand der Technik, was neue Optimierungsmöglichkeiten der Beschichtungsprozesse eröffnet und einen langfristigen Weiterbetrieb der Anlagen ermöglicht.

- **Aufdampfen:** Das IGM verfügt über eine Aufdampfanlage vom Typ Lesker Spectros mit zwei Quellen zum thermischen Aufdampfen von Metallen und insgesamt 8 Quellen zum Aufdampfen von organischen Materialien. Da die Anlage vor allem der Herstellung von OTFTs und OLEDs dient, ist sie in unseren Inertgasboxen integriert, so dass eine Beschickung ohne Kontakt mit Luftsauerstoff oder Feuchtigkeit möglich ist. Darüber hinaus stehen zwei ältere Aufdampfanlagen der Firma Balzers zur Verfügung, die neben thermischen Quellen auch mit Elektronenstrahlverdampfern ausgestattet sind. Alle Aufdampfanlagen eignen sich zur Beschichtung von Substraten bis 6" (150 mm) Kantenlänge.
- **Aufschleudern:** Das IGM besitzt mehrere Schleudern zum Aufbringen von Photolacken und anderen flüssig vorliegenden Materialien auf Substrate bis maximal 16" (400 mm) Kantenlänge. Eine Schleuder für Substratgrößen bis 6" (150 mm) befindet sich innerhalb der Inertgasboxen.
- **Drucken:** Zur Direktabscheidung strukturierter Schichten besitzt das IGM verschiedene Drucker. Siebdrucker erlauben die flächige Abscheidung von Materialien mit hohem Durchsatz, benötigen aber ein präpariertes Sieb als Druckmaske. Ein Dimatix Inkjetdrucker, der ebenfalls zur Verfügung steht, kann (fast) beliebige Lösungen und Suspensionen maskenlos nach einer digitalen Vorlage auf das Substrat aufbringen. Mit dem XTPL DELTA Ultra-Precise Deposition (UPD) Drucksystem steht zudem ein System zur Verfügung, das es ermöglicht, hochpräzise Strukturen mit Linienbreiten <5µm bei gleichzeitig hohen Schichtdicken von mehreren hundert Nanometern digital zu drucken. Dies eröffnet viele neue Anwendungen im Bereich der gedruckten Elektronik, der Aufbau- und Verbindungstechnik oder für die Defekt Reparatur in Dünnschichtschaltungen.

Photolithographie

- **Belichtung durch Maske:** Zur Belichtung von Photolacken durch vorgefertigte Masken besitzt das IGM zwei Kontaktbelichter vom Typ Süss MA6. Die maximale Substratgröße, die belichtet werden kann beträgt 6" (150 mm). Es sind kleinste Strukturen von ca. 3 µm realisierbar.
- **Direktbelichtung:** Zur Direktbelichtung besitzt das IGM einen Laserbelichter DWL 400 der Firma Heidelberg Instruments. Dieser kann Substrate bis zu einer Kantenlänge von 16" (400 mm) maskenlos entsprechend einem in digitaler Form vorliegenden Layout belichten. Es sind kleinste Strukturen von ca. 2 µm realisierbar.

Schichtmodifkation

- **Ionenimplantation:** Zur Ionenimplantation steht ein Ionenimplanter Eaton (heute: Axcelis) NV3206 zur Verfügung. Die serienmäßige Substratschleuse wurde entfernt und durch einen modifizierten Aufbau ersetzt, der die Implantation auch großflächiger Substrate bis 16" (400 mm) Kantenlänge ermöglicht. Implantiert werden können Phosphor-, Bor-, Fluor- sowie Argonionen. Die maximale Beschleunigungsspannung beträgt 200 kV.
- **Excimer-Laser:** Die Rekristallisation von amorphem zu polykristallinem Silizium findet am IGM mit einem Sopra VEL 15 Excimer Laser statt. Dieser XeCl Laser mit einer Wellenlänge von 308 nm kann pro ca. 200 ns langem Laserpuls eine Fläche von 67 mm x 27 mm schmelzen. Weitere Einsatzmöglichkeiten bestehen in der Aktivierung implantierter Dotanden und der Verbesserung der Kristallqualität anderer Halbleiter. Die maximale Substratgröße, die durch schrittweises Verfahren des Substrates behandelt werden kann, beträgt 16" (400 mm).
- **UV-Ozon Behandlung:** Zur Substratreinigung und Verbesserung der Haftung folgender Schichten durch Oberflächenmodifikation besitzt das IGM eine UV-Ozonanlage für Substrate bis 16" (400 mm). Intensives UV-Licht erzeugt aus dem Luftsauerstoff Ozon. Licht und Ozon bewirken eine Reinigung der Substratoberfläche von organischen Verunreinigungen und durch das Aufbrechen von Bindungen eine Aktivierung der Substratoberfläche.

Flüssigkristalltechnologie

- **Reibeanlage:** Das IGM besitzt zur Erzeugung von Orientierungsschichten für Flüssigkristalle eine Hörnell Reibeanlage. In dieser wird die vorher aufgebrachte Polyimidschicht mit einer rotierenden samtbespannten Walze gerieben und so eine Vorzugsrichtung geschaffen, an der sich die Flüssigkristallmoleküle ausrichten.
- **Spacersprühanlage:** Spacer dienen der Einhaltung eines exakten Zellabstandes zwischen den Glassubstraten einer Flüssigkristallzelle. Für das Aufbringen von 5 µm großen, kugelförmigen Polymerspacern besitzt das IGM eine elektrostatische Spacersprayanlage der Firma Accudyne. Andere Spacergrößen können als Suspensionen aufgesprüht oder aufgeschleudert werden.
- **Kleberoboter:** Ein X-Y-Z Portalroboter der Firma Schiller dient dem reproduzierbaren Aufbringen von Kleberahmen zum Fügen der beiden Substrate einer Flüssigkristallzelle.
- **Füllkammer:** Für das Vakuumfüllen von Flüssigkristallen steht eine Vakuumkammer der Firma Balzers mit beweglichem Substrattisch zur Verfügung.
- **Zellenbau:** Für den Zellenbau stehen verschiedene Hilfsmittel zur mikrometergenauen Ausrichtung von Grund- und Decksubstrat zur Verfügung.

Alle Zellenbauprozesse sind für Substratgrößen bis 16" (400 mm) durchführbar.

Metrologie

- **Waferprober:** Ein Waferprober der Firma Süss erlaubt in Verbindung mit einem Keithley 4100 Halbleitermessgerät die zuverlässige Charakterisierung von TFTs und anderen Halbleiterbauelementen. Darüber hinaus stehen mehrere Picoamperemeter zur schnellen Charakterisierung von Bauelementen im Reinraum, im Klimaschrank sowie unter Inertgasbedingungen zur Verfügung.
- **Kontrastwinkelmessplatz:** Das Eldim EZ Contrast 160 Messgerät dient der Vermessung von Helligkeit, Kontrast und Farbort sowie der Blickwinkelabhängigkeit dieser Größen bei transmissiven, reflektiven und selbstleuchtenden Displays mit hohem Durchsatz.

- **Klimaschrank:** Der Klimaschrank ermöglicht die Einstellung exakter Umweltbedingungen und somit die Evaluierung der Zuverlässigkeit von Systemen unter verschiedenen Klimabedingungen sowie die beschleunigte Alterung durch erhöhte Temperaturen.
- **Optische Mikroskope:** Mehrere optische Mikroskope erlauben die schnelle Inspektion von Substraten. Die optische Mikroskopie ist auf Substraten bis 16" (400 mm) möglich.
- **Rasterelektronenmikroskop:** Für die Anfertigung von Bildern von Strukturen, die der optischen Mikroskopie nicht mehr zugänglich sind, steht ein Rasterelektronenmikroskop JEOL JSM 6100 zur Verfügung. Dieses wurde mit einem System zur digitalen Bildaufnahme nachgerüstet.
- **Rasterkraftmikroskop:** Zur exakten Vermessung von Schichtrauhigkeiten und Oberflächentopologien besitzt das IGM ein Rasterkraftmikroskop (AFM) von DME.

Verbindungstechnik

- **TAB Bonder:** Zur Verbindung von als Chip auf Folie (Chip on Foil, COF) vorliegenden Aktiv Matrix Treiberchips mit Glassubstraten mittels anisotrop leitfähiger Klebefilme stehen TAB (Tape Automated Bonding) Maschinen (manuell und halbautomatisch) zur Verfügung.
- **Flip-Chip Bonder:** Lose vorliegende Siliziumtreiberchips können kopfüber (Flip-Chip) auf Displaygläser aufgebondet werden. Diese Technik erlaubt besonders kleine Ränder um das Display herum und bietet sich daher insbesondere für Tablet- und Smartphonedisplays an. Am IGM steht ein Flip Chip Bonder der Firma Süss zur Verfügung.

9 IGM-Aktivitäten

9.1 Eurodisplay 2022

Die Eurodisplay ist Europas wichtigste wissenschaftliche Konferenz zum Thema Bildschirmtechnologie und verwandte Themen und lockt Wissenschaftler*innen und Ingenieur*innen aus der ganzen Welt an.

Nach zweimaliger pandemiebedingter Verschiebung konnte die Eurodisplay 2022 endlich in Präsenz vom 21. bis 23. September 2022 auf dem Campus der Universität Stuttgart in Stuttgart-Vaihingen stattfinden. Die Konferenz wurde vom IGM in Zusammenarbeit mit der Society for Information Display (SID) organisiert.

Workshop „Flachbildschirme“ im Reinraum des IGM

Zum Auftakt wurde vom 19. bis 20. September 2022 ein 2-tägiger Workshop „Flachbildschirme“ angeboten, der auf großes Interesse stieß und in kürzester Zeit ausgebucht war. Die kleine Teilnehmergruppe konnte im Reinraum des IGM ihre eigene digitale Uhrenanzeige bauen, die aus einer Siebensegmentanzeige mit Flüssigkristall, Polarisatoren und Glassubstraten besteht.

Abbildung 3: Digitale Uhrenanzeige hergestellt im Reinraum des IGM

Viele interessante Vorträge

Am 21. September 2022 startete die Konferenz mit den Keynote-Vorträgen der Mercedes-Benz AG und der Merck KGaA. Es folgten viele weitere interessante Präsentationen, einige auch mit IGM-Beteiligung, und eine Poster Session.

Abbildung 4: Vortrag von Yannick Schellander, dem Gewinner des SID Mid-Europe Chapter Student Awards 2021/22 mit anschließender Preisverleihung

Abbildung 5: v.l.n.r. Dr. Jens Osterodt, Yannick Schellander, Coen Van't Westeinde

Ausstellung sorgte für zusätzliches Interesse

Für zusätzliches Interesse sorgte eine Tabletop Exhibition, auf der zwölf Aussteller ihre Produkte und Lösungen vorstellten. Die über 100 Teilnehmer und Teilnehmerinnen aus 17 Ländern konnten sich während der drei Tage umfassend über die neuesten Entwicklungen informieren und austauschen.

Abbildung 6: MBUX Hyperscreen von Mercedes-Benz

Abbildung 7: MBUX 3D Driver Display von Mercedes-Benz

Präsentation von zwei Mercedes-Benz Fahrzeugen

Ein besonderes Highlight war die Präsentation von zwei Mercedes-Benz Fahrzeugen vor dem Mercedes-Benz Museum. Hier bekamen die Teilnehmer und Teilnehmerinnen einen exklusiven Einblick in die Displaytechnik eines EQS SUV und einer S-Klasse Maybach. Der im Keynote-Vortrag und in der Ausstellung präsentierte MBUX Hyperscreen konnte im EQS SUV live begutachtet werden. Beim anschließenden Museumsbesuch und Dinner im Restaurant des Mercedes-Benz Museums konnten sich alle Beteiligten dann rege austauschen.

Abbildung 8: Präsentation eines EQS SUV und einer S-Klasse Maybach von Mercedes-Benz

Abschluss auf dem Cannstatter Wasen

Nach einer erfolgreichen Konferenz mit viel positiven Feed-back konnten die Teilnehmer und Teilnehmerinnen in gemütlicher Festzeltatmosphäre den Abend auf dem Cannstatter Wasen ausklingen lassen, was vor allem für die ausländischen Gäste ein besonderes Erlebnis war.

9.2 Tag der Wissenschaft

Nach zwei Jahren Pandemie fand der Tag der Wissenschaft am 25.06.2022 wieder auf dem Campus Vaihingen statt und der IGM-Stand konnte sich über reges Interesse freuen.

9.3 Institutsausflug

Der jährliche Institutsausflug musste aufgrund der Pandemie leider nochmals ausfallen.

9.4 Weihnachtsfeier

Das IGM freute sich, endlich wieder „seine“ Studierenden und ehemaligen Mitarbeiter*innen zur Weihnachtsfeier am 19.12.2022 in die Räumlichkeiten des Instituts einladen zu können. Bei Kaffee und Kuchen fand in gemütlicher Atmosphäre ein reger Austausch statt.

10 Anfahrt und Lageplan

Mit dem Auto

Verlassen Sie die Autobahn A8 am Autobahnkreuz Stuttgart-Vaihingen und fahren Sie Richtung Vaihingen auf der A831 bzw. B14. Nach dem Tunnel (Vorsicht Blitzer!) ordnen Sie sich ganz rechts ein und nehmen die Ausfahrt *Universität.* An der Ampel biegen Sie nach links ab. Bleiben Sie auf der *Universitätsstraße* und biegen Sie später rechts ab in den *Pfaffenwaldring*. Anschließend biegen Sie links in den *Allmandring* ein. Bitte nehmen Sie die erste Einfahrt auf der linken Seite und parken Ihr Auto auf dem Universitätsparkplatz. Nun sind es nur noch ein paar Schritte bis zum IGM.

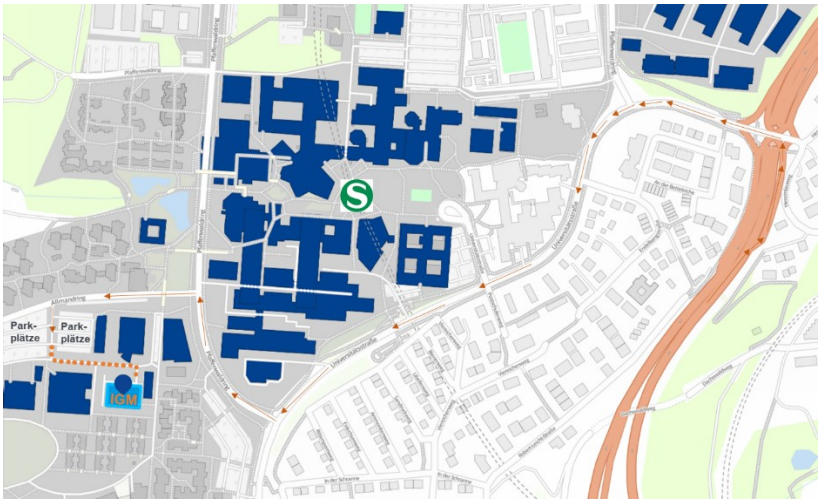

Abbildung 9: Mit dem Auto zum IGM

Mit der Bahn

Angekommen am Hauptbahnhof Stuttgart gehen Sie im Bahnhofsgebäude zum Tiefbahnsteig zur S-Bahn (durch ein großes grünes S gekennzeichnet). Falls Sie Ihre Bahnfahrkarte nicht bis Stuttgart-Vaihingen Universität gelöst haben, müssen Sie sich einen Fahrschein an den roten Fahrscheinautomaten nahe den Rolltreppen zum Tiefbahnsteig kaufen. Sie brauchen einen Fahrschein für 1 Zone. Drücken Sie zuerst das untere rechte Quadrat "Verkehrsverbund VVS" auf dem Touchscreen, dann auf der nächsten Seite "1 Zone". Sie können anschließend wählen zwischen einer einfachen Fahrt oder einer Mehrfahrtenkarte, die für 4 Fahrten gilt. Die Mehrfahrtenkarte muss vor Antritt jeder Fahrt für jeden Passagier in den kleinen orangenen Automaten entwertet werden. Einzelfahrscheine müssen nicht entwertet werden. Anschließend nehmen Sie eine der S-Bahnlinien von Gleis 101:

- S1 Richtung Herrenberg
- S2 Richtung Filderstadt
- S3 Richtung Flughafen

Die S-Bahnen fahren regelmäßig alle 5 bis 10 Minuten. Sie fahren bis zur Haltestelle Universität (Fahrzeit: 10 Minuten) und folgen dem Weg von der S-Bahn zum IGM. Eine detaillierte Wegbeschreibung finden Sie auf unserer Homepage.

Mit dem Flugzeug

Bei der Ankunft am Flughafen Stuttgart befinden Sie sich auf der Ebene 1 (unterste Ebene) des Flughafengebäudes. Sie gehen zum S-Bahnhof (eine Etage tiefer, Eingang durch ein großes grünes S gekennzeichnet). Bevor Sie in die S-Bahn einsteigen, müssen Sie sich einen Fahrschein an den roten Fahrscheinautomaten nahe den Rolltreppen zum Bahnsteig kaufen. Sie brauchen einen Fahrschein für 2 Zonen. Anschließend nehmen Sie eine der S-Bahnlinien

- S2 Richtung Schorndorf
- S3 Richtung Backnang

und fahren bis zur Haltestelle Universität (Fahrzeit: 17 Minuten).

Von dort aus folgen Sie dem Weg von der S-Bahn zum IGM. Eine detaillierte Wegbeschreibung finden Sie auf unserer Homepage.

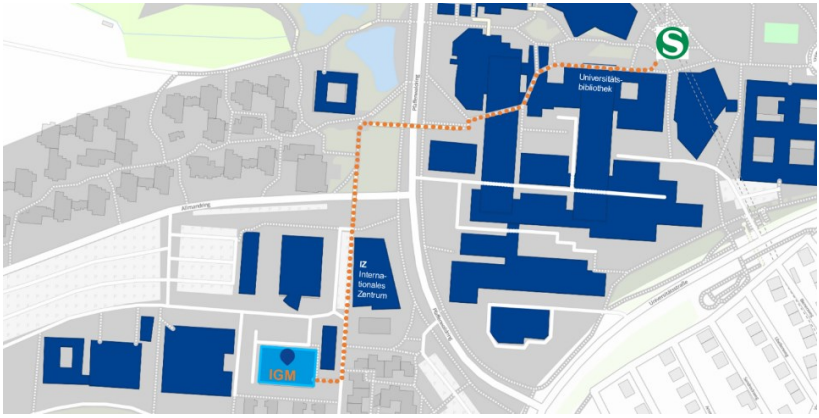

Abbildung 10: Fußweg von der S-Bahn Haltestelle Universität zum IGM

11 Kontakt

Gerne können Sie uns kontaktieren unter:

Universität Stuttgart
Institut für Großflächige Mikroelektronik (IGM)
Allmandring 3 B
70569 Stuttgart

T +49 (0)711 685-66922
igm@igm.uni-stuttgart.de
www.igm.uni-stuttgart.de