Universität Stuttgart
Institut für Großflächige Mikroelektronik

Jahresbericht

2021

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 2022

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 15
5 Projekte und Forschungsaktivitäten 17
6 Vorträge und Konferenzbeiträge 17
7 Publikationen 18
8 Mitarbeit in Organisationen 18
9 Der Reinraum 19
10 IGM-Aktivitäten 23
10.1 XTPL® DELTA Ultra Precise Deposition Drucksystem 23
10.2 Eurodisplay 2021 26
10.3 LG Display Co. erwirbt Lizenz für IGM Erfindung 26
10.4 Neues Graduiertenkolleg 27
10.5 Girls‘ Day 27
10.6 Institutsausflug 27
10.7 Weihnachtsfeier 27
11 Anfahrt und Lageplan 28
12 Kontakt 30

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 2021 präsentieren zu können.

Trotz andauernder Einschränkungen aufgrund der Pandemie konnte das Institut im Jahr 2021 den üblichen Lehrveranstaltungskanon anbieten. Während die Lehre im Sommersemester 2021 noch vollständig virtuell stattfand, konnte zur großen Erleichterung der Lernenden und Lehrenden im Wintersemester 2021/22 wieder der normale Präsenzlehrbetrieb aufgenommen werden.

Nachdem das Grundlagenpraktikum im Sommersemester 2021 für den Studierendenjahrgang 2019/20 ausnahmsweise nur rein virtuell angeboten werden konnte, profitierten die Studierenden des Jahrgangs 2020/21 im Wintersemester 2021/22 dann wieder von der Erfahrung eines in Präsenz absolvierten Grundlagenpraktikums. Da die Reinraumumgebung mit gesonderter Reinraumbekleidung, Mundschutz, Handschuhen und Luftumwälzung mit Partikelfiltern die Einhaltung aller Hygienevorschriften sicherstellt, konnten sowohl das turnusmäßig am Ende des Sommersemesters stattfindende Fachpraktikum „Flachbildschirme“ als auch studentische Arbeiten und die Forschungsarbeiten dank des äußerst disziplinierten und engagierten Einsatzes aller Mitarbeiter*innen und Studierenden weitgehend normal ablaufen.

Da die Entspannung der Corona Situation sich erst im Herbst abzeichnete, musste allerdings die bereits auf Ende September 2021 verschobene Eurodisplay Konferenz erneut um ein Jahr verschoben werden. Da die Eurodisplay in besonderer Weise von einem direkten persönlichen Austausch der Teilnehmer profitiert, ist eine solche Verschiebung einer reinen Online-Konferenz vorzuziehen.

Die aktuellen Forschungsarbeiten befassen sich mit der Weiterentwicklung von integrierten Prozessen zur Herstellung von mikromechanischen elektrischen Systemen und Dünnschichttransistoren, der Realisierung von Aktiv Matrix Mikro-LED und hochaufgelösten aktiv angesteuerten LC

Modulatoren für 3-D Anwendungen sowie der Entwicklung von quantenbasierten Gassensoren im Rahmen der Graduiertenschule „Photonic Quantum Engineers“ (GRK2642).

Im Februar 2021 konnte am Institut das weltweit erste UPD (Ultra Precise Deposition) Drucksystem der Firma XTPL in Betrieb genommen werden. Dieses System ermöglicht das präzise Abscheiden von hochviskosen Tinten, wodurch beispielsweise leitfähige Strukturen mit lateralen Abmessungen im niedrigen einstelligen Mikrometer Bereich erstmals rein additiv realisiert werden können. Parallel zur Inbetriebnahme des UPD Druckers wurden mehrere Projektanträge erarbeitet und eingereicht, die darauf abzielen, hochaufgelöste additive Strukturen in Anwendungen wie neuartigen Aufbautechniken für Hochfrequenzschaltungen oder auch Mikro LED Bildschirme zu demonstrieren.

Kurz vor Jahresende wurde das Institut davon in Kenntnis gesetzt, dass das Projekt zur Untersuchung einer additiven Aufbautechnik für ein 140 GHz Radar genehmigt wird und im Frühjahr 2022 beginnen kann.

Ebenfalls im Februar 2021 wurden wir darüber informiert, dass die Firma LG Display Co. sich nach einem längeren Rechtsstreit schließlich doch entschlossen hat, eine Lizenz für die am IGM erfundene 3 TFT Aktiv Matrix OLED Bildpunktschaltung zu erwerben, die in sämtlichen weltweit verkauften OLED Fernsehern eingesetzt wird. Aufgrund des großen Prozessrisikos hatte das Institut zwar die entsprechenden Patente an einen Rechteverwerter verkauft, profitiert aber prozentual an den Lizenzeinnahmen.

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 2022

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
	Sheikh Abdullah Al **Nusayer**, M.Sc.	sheikh.nusayer	66931
	Dipl.-Ing. Christiane **Reinert-Weiss**	christiane.reinert-weiss	66930
	Dr.-Ing. Patrick **Schalberger**	patrick.schalberger	69320
	Yannick **Schellander**, M.Sc	yannick.schellander	66929
	Annika **Schmekal**, M.Sc.	annika.schmekal	66925
	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: Dr.-Ing. Patrick Schalberger
Wintersemester, 1 Semester, Masterstudiengang

Thin Film Technology Exercises (auf Englisch)

Ansprechpartner: Florian Kleber, M.Sc.
Wintersemester, 1 Semester, Masterstudiengang

Flachbildschirme Übungen

Ansprechpartner: Dipl.-Phys. Marc Wilke
Sommersemester, 1 Semester, Bachelorstudiengang Elektrotechnik und Informationstechnik/Masterstudiengang Photonic Engineering

Optical Signal Processing Exercises (auf Englisch)

Ansprechpartnerin: Annika Schmekal, 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.

Nachdem letztes Jahr das Praktikum coronabedingt verschoben werden musste, konnte der entsprechende Versuch im Sommersemester 2021 im Online-Format und im Wintersemester 2021/22 in Präsenz durchgeführt werden.

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

Folgende Bachelor-, Forschungs- und Masterarbeiten wurden im Jahr 2021 erfolgreich am IGM abgeschlossen:

Bachelorarbeiten

Simon Obermüller
Entwicklung von Mixed-Mode Schaltungen aus IGZO-Dünnschichttransistoren

Felix Möhle
Aufbau und Untersuchung von schnell schaltenden Flüssigkristallzellen

Rudolf Elenberg
Evaluierung von fotostrukturierbaren Polymeren mit hohem Aspektverhältnis für großflächige Anwendungen

Forschungsarbeiten

Sejal Kapinjal Mehta
Entwicklung eines Hintergrundbeleuchtungssystems für ein MEMS-Shutter-Display

Ge Ge
Untersuchung von Metalloxid-TFTs für ein MEMS-Shutter-Display

Forschungsarbeiten

Tanumita Haldar
Optimierung von Siliziumnitrid für die Anwendung in IGZO-TFTs

Hanghang Li
Entwurf und Herstellung von IGZO Bauelementen mit Schottky-Kontakt

Masterarbeiten

Sneha Prahalad
Realisierung eines Display-Adressierungssystems auf Basis eines Hochspannungstreiberchips

Jing Jiang
Herstellungsprozesse für Dünnschichtpolarisatoren

Martin Römhild
Untersuchung von Prozessen der Großflächigen Mikroelektronik für Hochfrequenzanwendungen und Packaging

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.

6 Vorträge und Konferenzbeiträge

02.03.2021: Keynote-Vortrag auf der Electronic Displays Conference
Prof. Frühauf hielt auf der Electronic Displays Konferenz einen Keynote-Vortrag mit dem Titel „Active Matrix Arrays of Micro-Electro-Mechanical-Systems“. Die Konferenz fand vom 1. bis 5. März 2021 als rein digitale Veranstaltung statt.

30.06.2021: Eingeladener Vortrag auf der AM-FPD '21, Japan
Prof. Frühauf hielt einen eingeladenen Online-Vortrag mit dem Titel "Active Matrix Micro-Electro-Mechanical-Systems based Displays“ auf der AM-FPD, die vom 29. Juni bis 2. Juli 2021 als virtuelle Veranstaltung in Japan stattfand. Der Vortrag entstand in Zusammenarbeit mit den Co-Autoren S.A.Al Nusayer, Patrick Schalberger und Holger Baur.

7 Publikationen

Journale

26.02.2021, Japanese Journal of Applied Physics:
Hydrogenated In-Ga-Zn-O thin film transistors with anodized and fluorinated Al2O3 gate insulator for flexible devices (Norbert Frühauf und andere Autoren)

8 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 Eurodisplay 2021, 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

9 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 neuen 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.

10 IGM-Aktivitäten

10.1 XTPL® DELTA Ultra Precise Deposition Drucksystem

Mit dem XTPL® Delta Printer wurde im Frühjahr 2021 das weltweit erste ausgelieferte UPD (Ultra Precise Deposition) Druckgerät der Firma XTPL S.A. im Reinraumlabor des Instituts für Großflächige Mikroelektronik in Betrieb genommen (Abb.1).

Abbildung 1: XTPL® DELTA Ultra-Precise Deposition Drucksystem im IGM Reinraumlabor

Mit dem Delta Printer steht nun ein Druckgerät 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. Ein Beispiel ist der Druck von hochaufgelösten leitfähigen Strukturen (Abb.2), z. B. Drain/Source Strukturen für organische Dünnschichttransistoren. Dies ermöglicht die Steigerung der Stromtreibefähigkeit der Transistoren durch kürzere Kanallängen, Verringerung des Flächenbedarfs und somit Erhöhung der Auflösung oder der Apertur von gedruckten Aktiv-Matrix Flachbildschirmen.

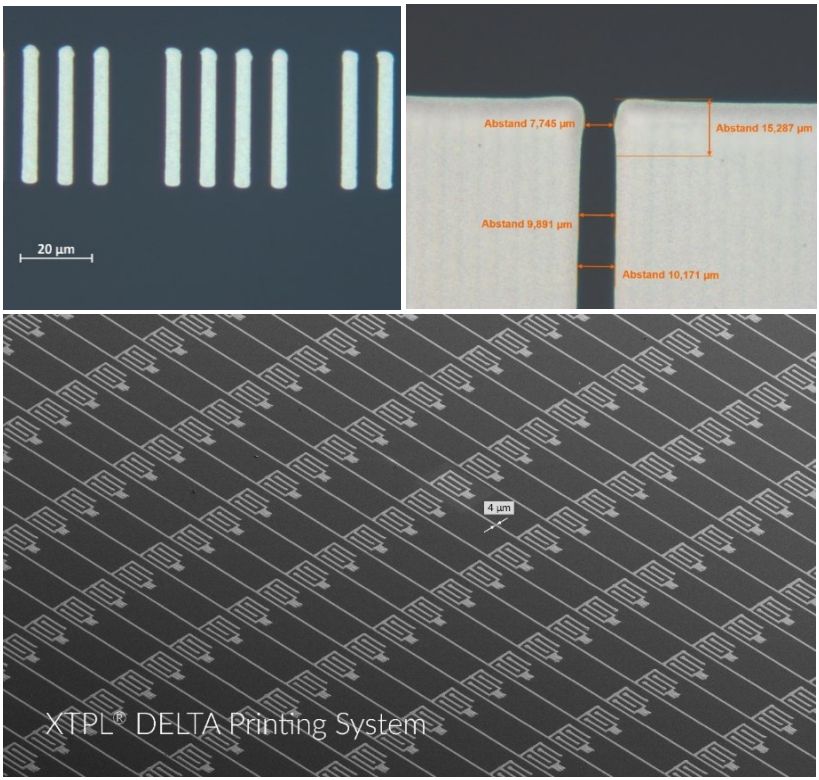

Abbildung 2: Hochaufgelöst gedruckte, leitfähige Strukturen

10.2 Eurodisplay 2021

Die Eurodisplay ist Europas wichtigste wissenschaftliche Konferenz über Informationsdisplays und damit verbundenen Themen, die Wissenschaftler und Ingenieure aus der ganzen Welt anlockt.

Die für September geplante Eurodisplay musste aufgrund von COVID-19 um ein weiteres Jahr verschoben werden. Die Eurodisplay 2022 wird vom 21.-23. September 2022 in Stuttgart-Vaihingen auf dem Campus der Universität Stuttgart stattfinden.

10.3 LG Display Co. erwirbt Lizenz für IGM Erfindung

Im Februar 2021 hat die Firma LG Display Co. eine Lizenz für eine am Institut für Großflächige Mikroelektronik (IGM) erfundene Aktiv-Matrix-Ansteuerschaltung für OLED-Displays erworben.

Die mit der OLED-Technologie ausgestatteten Displays bieten eine hervorragende Bildqualität mit starken Kontrasten und satten Farben. Fast alle der weltweit millionenfach verkauften OLED-Fernseher von LG und anderen namhaften Herstellern, wie z. B. Sony und Panasonic, benutzen LG OLED-Display Module und somit die Erfindung des Instituts für Großflächige Mikroelektronik der Universität Stuttgart.

Die Universität Stuttgart hatte das Patent an den Patentverwerter Solas OLED Ltd. verkauft, der LG und andere Hersteller von OLED-Fernsehern wegen der Patentverletzung erfolgreich verklagt hatte. Nach mehreren Gerichtsverfahren wurde von LG Display Co. eine Lizenz für die Erfindung des Instituts für Großflächige Mikroelektronik erworben. Das Institut profitierte anteilig von den Lizenzeinnahmen.

10.4 Neues Graduiertenkolleg

Das große Potenzial der Quantenphysik für marktreife Anwendungen nutzbar zu machen – das ist das übergeordnete Ziel des neuen Graduiertenkollegs (GKR) "Promovierte Fachkräfte für photonische Quantentechnologien" an der Universität Stuttgart, das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) Ende 2020 zur Förderung bewilligt wurde.

Das Institut für Großflächige Mikroelektronik ist mit einer erfolgreich besetzten Doktorandenstelle für das Projekt "Electrical readout of a nitric oxide trace-gas sensor based on Rydberg excitation" beteiligt.

10.5 Girls‘ Day

Nach dem Motto „Wir wollen euch zeigen, dass Experimentieren, Forschen und Bauen nicht nur was für Jungs sind!“ beteiligte sich das IGM mit dem Thema „Handy, Laptop & Co, wie funktioniert eigentlich ein Display“ am Girls‘ Day der Universität Stuttgart, der als digitale Veranstaltung am 22.04.2021 stattfand.

Den Schülerinnen wurde erklärt wie ein Display funktioniert: vom Lichtstrahl an über die Physik bis hin zur Ansteuerung. Dabei wurde jedes Element durch einen kleinen praktischen Versuch veranschaulicht. Einige der Versuche konnten die Teilnehmerinnen selbst daheim durchführen, wie zum Beispiel den Bau eines eigenen Touchpad-Prototypens.

Alle Beteiligten hatten großen Spaß und das IGM konnte sich über viele positive Rückmeldungen freuen!

10.6 Institutsausflug

Der jährliche Institutsausflug musste aufgrund der Pandemie leider ausfallen.

10.7 Weihnachtsfeier

Die Weihnachtsfeier konnte aufgrund von COVID-19 nicht stattfinden.

11 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.

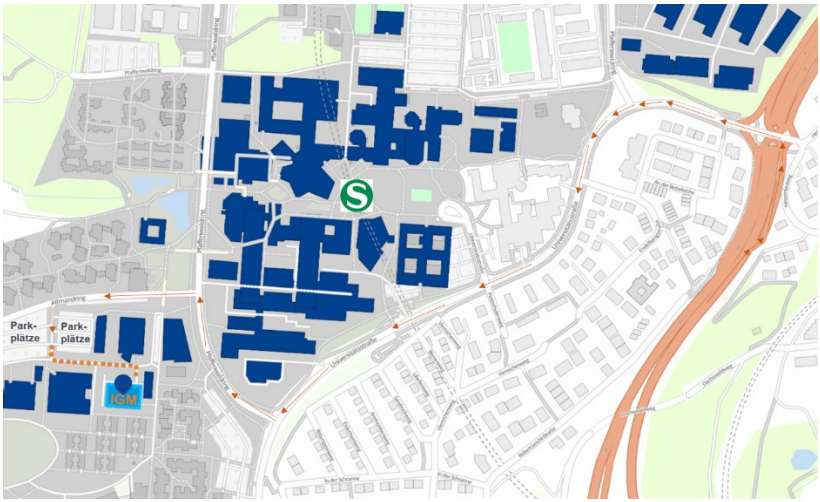

Abbildung 3: Mit dem Auto zum IGM

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.

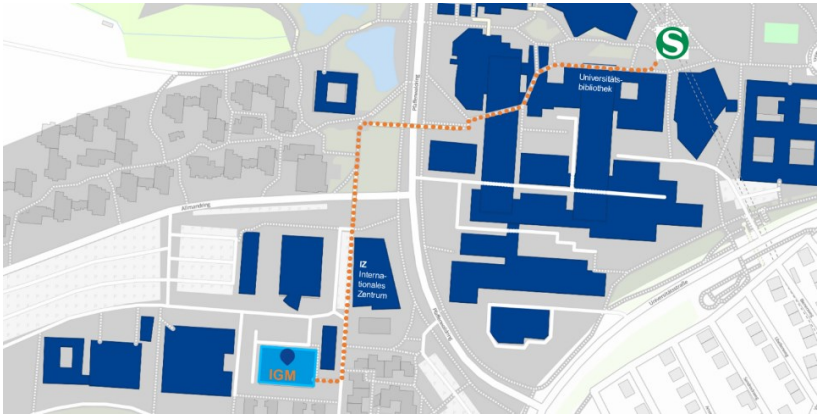

Abbildung 4: Fußweg von der S-Bahn Haltestelle Universität zum IGM

12 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