

# ForLab PICT2DES

Forschungslabor Mikroelektronik Bochum  
für 2D-Elektronik

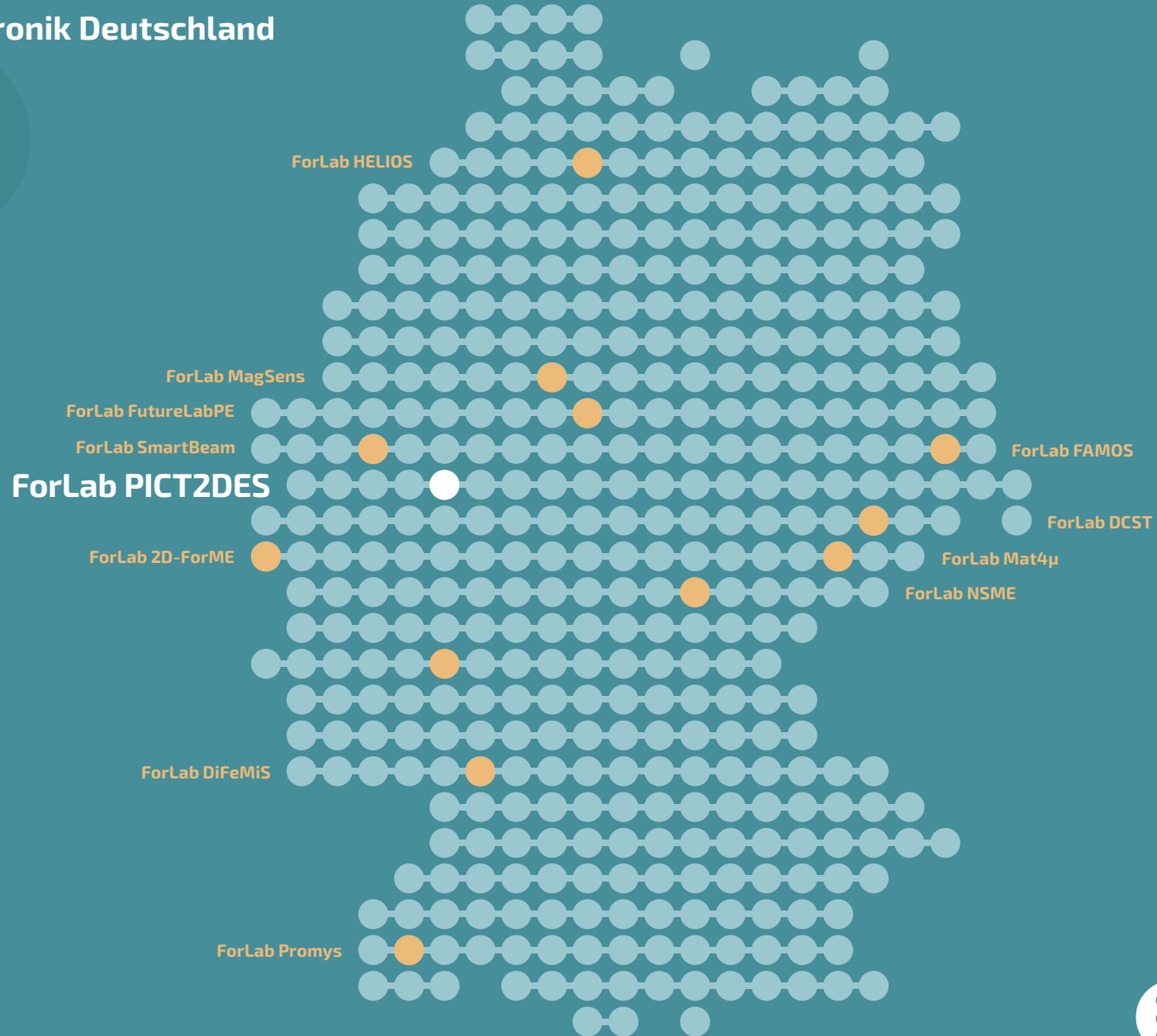


GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# Forschungslabore Mikroelektronik Deutschland



# Mikroelektronik- Standort Deutschland

Die zwölf Forschungslabore Mikroelektronik Deutschland (ForLab) erschließen neue Forschungsfelder für die Mikroelektronik der Zukunft und stärken so den Mikroelektronikstandort Deutschland.

Die **Forschungslabore Mikroelektronik Deutschland (ForLab)** an Universitäten und Hochschulen sollen neue Forschungsfelder für die mikroelektronischen Systeme der Zukunft erschließen. Mit diesen Innovationen will die Bundesregierung die Halbleiterforschung in Deutschland weiter stärken. Denn mikroelektronische Systeme sind forschungsintensiv – und Hochschulen sind ein zentraler Innovationsfaktor für diesen Schlüsselbereich.

Aus diesem Grund stellt das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 50 Millionen Euro zur Verfügung, um Investitionen in modernste Geräte und Anlagen zur Forschung an mikroelektronischen Systemen zu ermöglichen. Gefördert werden Projekte an Hochschulen, die schon heute auf internationalem Niveau agieren.

Die Vernetzung der Forschungslabore untereinander und mit externen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft soll den wissenschaftlichen Austausch über mikroelektronische Systeme verbessern und den Technologietransfer beschleunigen. Im Zusammenspiel mit der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland schaffen sie so eine neue Qualität und Sichtbarkeit für die Elektronikforschung am Standort Deutschland.



»Mit den Forschungslaboren Mikroelektronik Deutschland investieren wir in die Zukunft: Technologische Souveränität im Zeitalter der Digitalisierung braucht eine Spitzen-Ausstattung für Spitzenforschung nicht allein in der Wirtschaft, sondern auch in der Wissenschaft. Wichtig sind uns dabei der Zugang auch kleiner und mittlerer Unternehmen zu einer modernen Forschungsinfrastruktur und eine Ausbildung der Nachwuchskräfte, die den steigenden Anforderungen gerecht wird. Wir wollen ein lebendiges Ökosystem schaffen, in dem neue Ideen und neues Wissen schnell nutzbar gemacht werden und in unserem Alltag ankommen.«

**Thomas Rachel**

Parlamentarischer Staatssekretär  
bei der Bundesministerin für Bildung  
und Forschung

# Vier Fokusthemen für Mikroelektronik der Zukunft

Die ForLabs widmen sich Themenschwerpunkten, die für einen starken Mikroelektronikstandort Deutschland entscheidend sein werden.

## Integrierte Photonik

Integrierte Photonik gehört zu den ForLab-Fokusthemen, weil sie in Zukunft eine wichtige Rolle spielen wird. Denn bei der Verarbeitung von Daten erweist sich die Datenübertragung mittels elektrischer Signale zunehmend als Engpass. Mit Hilfe von optischen Technologien ist es möglich, hier die Geschwindigkeit deutlich zu erhöhen. Sie rücken deshalb immer näher an den Chip heran und werden teilweise auch bereits in den Chip integriert. Die Möglichkeit, optische Systeme zu miniaturisieren und in optoelektronische Systeme einzubinden, eröffnet zugleich eine Vielzahl ganz neuer Anwendungsbereiche in der Sensorik oder Medizintechnik.



## Aufbau- und Verbindungstechnik

Aufbau- und Verbindungstechnik ist ein wichtiges Querschnittsthema, das bei vielen ForLab-Projekten mit auf der Agenda steht. Kompetenzen in diesem Technologiefeld haben in jüngster Zeit an Bedeutung gewonnen. Das liegt zum einen am Trend zur Miniaturisierung: Nanostrukturen zu kontaktieren und in ein Gehäuse zu bringen ist technisch sehr anspruchsvoll. Andererseits gibt es verschiedene Arten von Halbleiterchips, die unterschiedliche Anforderungen an die Aufbau- und Verbindungstechnik stellen. Es sind somit differenzierte und auf die jeweilige Anwendung angepasste Lösungen zu entwickeln.

Im Zuge der Heterointegration werden verschiedene Chips in einem Gehäuse kombiniert. Bei Leistungselektronischen Bauelementen muss ein Gehäuse hingegen in der Lage sein, große Mengen an Wärme abzuleiten. Im ForLab-Verbund arbeiten viele Forschergruppen auch an solchen Aufgabenstellungen. Deshalb gehört die Aufbau- und Verbindungstechnik zu den ForLab-Fokusthemen.

## Mikro- und Nanotechnologie-Integration

Ein weiteres ForLab-Fokusthema ist die Mikro- und Nanotechnologie. Ein Großteil der Forschungslabore beschäftigt sich mit Nanotechnologien und hat deshalb Schwerpunkte, die diesem Bereich zuzuordnen sind. In diesem Bereich arbeitet der Forschungsverbund auch mit der VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik GMM zusammen, die einen Fachausschuss zu dieser Thematik unterhält.



## Atomlagenabscheidung

Die Atomlagenabscheidung (engl. atomic layer deposition, ALD) ist ein Verfahren, mit dem sehr dünne Schichten auf einem Substrat erzeugt werden können – und ein wichtiges Querschnittsthema im Forschungsverbund ForLab.

Denn ALD ist überall dort von Bedeutung, wo Schichten mit einer Präzision der Schichtdicke im Nanometer-Bereich aufgebracht werden müssen. In der Mikroelektronik wird diese Methode immer wichtiger. Für die Herstellung von dickeren Schichten sind andere Verfahren aufgrund der höheren Abscheiderate attraktiver. Doch mit der zunehmenden Miniaturisierung und der beständigen Verringerung der Strukturbreiten ist die Atomlagenabscheidung unverzichtbar geworden. Immer wenn in der Halbleiterfertigung extrem dünne Schichten abgeschieden werden müssen oder wenn eine perfekte Kantenbedeckung unerlässlich ist, kommt die Atomlagenabscheidung zum Einsatz. Mit ALD lassen sich Schichten einer definierten und homogenen Schichtdicke auch auf dreidimensionalen Strukturen erzeugen. Im ForLab-Verbund wird die Atomlagenabscheidung daher von vielen Arbeitsgruppen eingesetzt. Aus diesem Grund ist sie ein Fokusthema, bei dem auch mit Partnern aus der Industrie zusammengearbeitet wird.

# ForLab PICT2DES

Innovative Prozessfolgen für die 2D-Elektronik

2D-Elektronik

Flexible Mikroelektronik

Autonome Sensor-Arrays

Mikroaktork

Neue Materialien



»Die Mikrosystemtechnik braucht neuartige und vor allem ressourcenschonende Elektroniksysteme. Mit dem Forschungslabor PICT2DES haben wir auf diesen Bedarf reagiert. Unsere interdisziplinär betriebene Anlage zur Beschichtung mit 2D-Materialien und zum hochselektiven Ätzen von

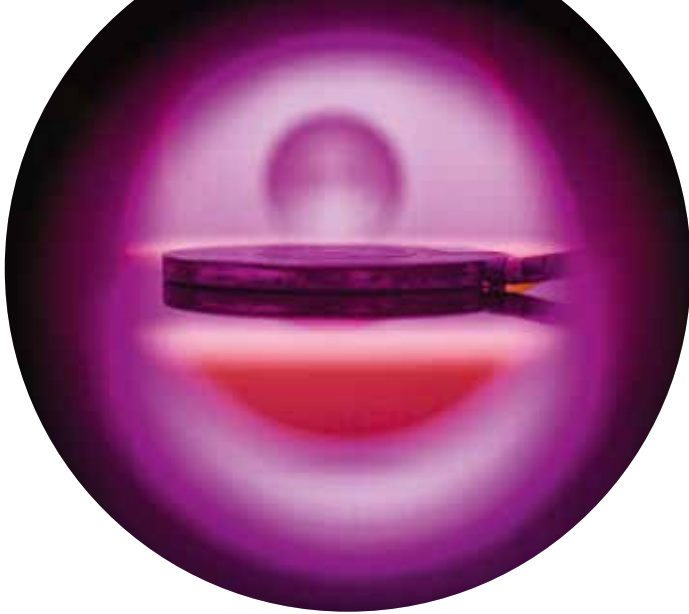
Nanostrukturen ist in ihrer Art einmalig in Deutschland und sorgt dafür, dass der Forschungsstandort Bochum international auf Spitzenniveau in diesem Feld agieren kann.«

**Prof. Dr.-Ing. Martin Hoffmann**

Lehrstuhl für Mikrosystemtechnik der Ruhr-Universität Bochum



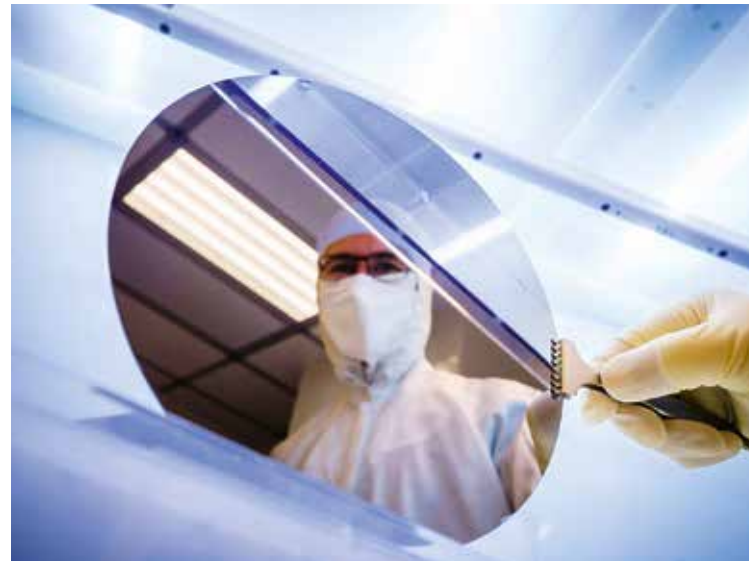
Das Fünfkammer Cluster-Tool der Firma Sentech Instruments GmbH bildet das Rückgrad im ForLab PICT2DES und erlaubt die Präparation von vollständigen Prozesssequenzen im Vakuum zur Integration von 2D Materialien in Mikrosystemen im industriellen Maßstab.



Der Einsatz von dünnsten, zweidimensionalen Materialien in Elektronik und Sensorik ermöglicht völlig neuartige transparente, flexible und biokompatible Lösungen bei minimalem Ressourcenverbrauch. Die Technologie für diesen zukunftssträchtigen Bereich der Mikroelektronik hat aber noch nicht den für industrielle Anwendungen notwendigen Reifegrad erreicht. Dies will das Forschungslabor Mikroelektronik Bochum für 2D-Elektronik ändern. Die Wissenschaftler um Prof. Dr.-Ing. Martin Hoffmann an der Ruhr-Universität Bochum arbeiten daran, stabile Prozessfolgen, die additive und subtraktive Technologien integrieren, mit hoher Ausbeute auf Waferlevel zu etablieren, und einen Transfer in die Industrie zu ermöglichen. Dabei haben sie die komplette Prozesskette im Blick – von den Rohstoffen, den sogenannten Präkursoren, über die hochpräzise Erzeugung dünnster Schichten per Atomlagenabscheidung bis hin zur Strukturierung mit neuartigen selektiven und schädigungsarmen Plasmaätzprozessen zum definierten Freilegen einzelner ultradünner Schichten.

Im Projekt wird eine innovative, monolagengenaue Depositions- und Ätztechnologie bei niedrigen Temperaturen zur Herstellung kostengünstiger, flexibler Mikroelektronik und ultrasensitiver Mikrosensorik erarbeitet und in einer 200 mm Clusteranlage auf Substraten umgesetzt, die zur Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland und zu industriellen Anwendern kompatibel sind.

Ziel ist es, neuartige, besonders ressourcenschonende Elektroniksysteme auf Basis der 2D-Integration zu entwickeln. Hierzu gehören flexible Mikroelektronik, hochsensitive Sensoren sowie mikrofluidische Systeme für die Medizintechnik und Energiewandlung sowie autonome Sensor-Arrays.



◀ **Das 200 mm Gegenfeld-analysator-Array ist eine der Plasmadiagnostiken im ForLab PICT2DES und erlaubt eine orts aufgelöste Bestimmung des Ionenflusses und der Ionenenergieverteilung.**

**Ein wissenschaftlicher Mitarbeiter bereitet 200 mm Wafer für die Beschichtung im Cluster-Tool vor.**

#### **Kontakt**

Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
Martin Hoffmann  
Lehrstuhl für  
Mikrosystemtechnik  
Fakultät für Elektrotechnik  
und Informationstechnik  
Ruhr-Universität Bochum

Universitätsstraße 150  
44780 Bochum

# Ruhr-Universität Bochum

Die Vielfalt an Forschungsbereichen und wissenschaftlichen Institutionen machen die Ruhr-Universität Bochum nicht nur zum größten Arbeitgeber der Region, sondern auch zur Wissenshochburg des Ruhrgebiets.



**Im hochmodernen Reinraumbereich des Lehrstuhls Mikrosystemtechnik befindet sich das Cluster-Tool des ForLab PICT2DES und nutzt die vorhandene umfassende Forschungsinfrastruktur.**



**Das Deutsche Bergbaumuseum hält die Erinnerung an die Montan-Vergangenheit der Stadt Bochum und der Region aufrecht. Es ist Teil der Route Industriekultur im Revier.**

Bochum ist Stadt des Wissens mit insgesamt neun Hochschulen und pulsierender Wirtschaftsstandort in der Metropole Ruhr. Einst bekannt als Bergbau- und Stahlstandort steht Bochum heute besonders für Industrienähe und den Wandel durch Innovation. Mit der Ruhr-Universität Bochum beweist der Standort auch über die Landesgrenzen hinaus exzellente Forschungskraft.

Als erste neue Universität der Bundesrepublik ist die Ruhr-Universität Bochum seit ihrer Gründung im Jahr 1961 ein Sinnbild für Reformation und zukunftsweisende Forschung. Insgesamt über 42.000 Studierende, mehr als 6.000 Beschäftigte und 21 Fakultäten bilden ein starkes Fundament für Forschung und Lehre. In über 60 Jahren Universitätsgeschichte konnte sich die Ruhr-Universität Bochum nicht nur als eine der zehn größten, sondern auch renommiertesten Universitäten Deutschlands etablieren.

An der Ruhr-Universität Bochum sind die Forschungsschwerpunkte in neun Research Departments eingeordnet. Die Forscherinnen und Forscher betreiben hier intensive Grundlagen- und angewandte Forschung in den Bereichen Solvation Science, Cyber Security, Neuroscience, Materials Research, Plasmas with Complex Interactions, Religious Studies, Protein Science, Subsurface Modeling and Engineering und Closed Carbon Cycle Economy. Diese Vielfalt an Forschungszweigen sowie die enge interdisziplinäre und





internationale Zusammenarbeit mit anderen Bildungsstätten sucht in Deutschland ihresgleichen.

Am Lehrstuhl für Mikrosystemtechnik der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik liegt der Fokus auf Sensoren, Mikroaktorik, der Mikro-Nano-Integration sowie der Systemintegration für spezifische Anwendungsfelder. Die Erforschung 2D-Materialsysteme für Elektronik und Sensorik ist dabei zentraler Forschungsgegenstand des Disziplinen-übergreifenden ForLab Teams bestehend aus Wissenschaftler des Lehrstuhls für Mikrosystemtechnik (Prof. M. Hoffmann, Dr.- Ing C. Bock), der Arbeitsgruppe Chemie Anorganischer Materialien (Prof. A. Devi) und dem Lehrstuhl für Angewandte Elektrodynamik und Plasmatechnik (Prof. Th. Mussenbrock, Prof. P. Awakowicz, Prof. J. Schulze). Mit dem Forschungslabor Mikroelektronik für 2D-Elektronik erproben die Bochumer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neue Materialien, innovativste Technologien und Prozesse – mit dem Ziel, den Einsatz von zweidimensionalen Materialien in Elektronik und Sensorik auch in der industriellen Anwendung zu etablieren und gleichzeitig neue Anwendungsfelder der flexiblen Elektronik zu erschließen.

**Die Ruhr-Universität Bochum ist einer der zehn größten Universitäten Deutschlands und ermöglicht als Campus-Universität einen intensiven interdisziplinären Austausch. Dieser ist auch zentraler Bestandteil des ForLabs PICT2DES.**



**Website**  
[www.ruhr-uni-bochum.de](http://www.ruhr-uni-bochum.de)

## Impressum

### Herausgegeben von

Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Mikrosystemtechnik, 44801 Bochum

### V.i.S.d.P.

Prof. Dr.-Ing. Martin Hoffmann, Lehrstuhl für Mikrosystemtechnik, 44801 Bochum

### Redaktion

WeichertMehner, Unternehmensberatung für Kommunikation GmbH & Co. KG,  
An der Dreikönigskirche 5, 01097 Dresden

### Gestaltung und Satz

Ostsüdost – Klare Gestaltung, Großenhainer Straße 99, 01127 Dresden

### Fotografie

Bildrechte © ForLab PICT2DES / André Wirsig

außer Seite 3: Thomas Rachel, Parlamentarischer Staatssekretär bei der Bundesministerin für  
Bildung und Forschung © Presse- und Informationsamt der Bundesregierung; Seite 4 rund: © TU  
Ilmenau; Seite 4 eckig: © Universität Duisburg-Essen; Seite 5 rund: © TU Cottbus-Senftenberg; Seite  
5 eckig: © TU Dresden/IHM; Seite 8 rund: © adobe.stock.com/Arthur Kattowitz

### Erstveröffentlichung


Mai 2022



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Aufgrund der niedrigen  
Prozesstemperaturen der PEALD  
Prozesse können ultradünne  
Schichten reproduzierbar auf  
bis zu 200 mm großen flexiblen  
Glaswafern abgeschieden werden.

SEITECH



[www.forlab.tech](http://www.forlab.tech)