



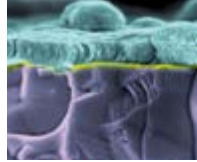
VAKUUMTECHNIK



PLASMA



OBERFLÄCHEN



DÜNNE SCHICHTEN

3

MAI/
JUNI '25

Vakuum

in Forschung und Praxis



Vakuumtechnik und dünne Schichten für Batterien

Europa soll künftig 90 Prozent der Batterien selber herstellen – die Vakuumbranche zeigt Potential

Unsichtbares sichtbar machen

Detaillierte Analyse von laserinduzierter Schmelzbad-Dynamik mittels hochbrillanter Röntgenstrahlung



DEUTSCHE
VAKUUM-GESELLSCHAFT



VIP LESER WISSEN MEHR!

Regelmäßig alle wichtigen Themen
rund um die Vakuumtechnik!



Regelmäßig informiert. Jetzt bestellen!
abo-vip.oberflaeche.de

Schlüsseltechnologie zwischen Großforschung und Praxis

Wenn über die Schlüsseltechnologien der Zukunft gesprochen wird – Quantencomputer, Fusionsforschung, Hochenergiephysik, Halbleiter, Weltraumtechnik –, dann ist das Vakuum fast immer mit im Spiel. Doch selten steht es im Rampenlicht. Dabei ist es das unsichtbare Rückgrat zahlloser Fortschritte – in der Forschung ebenso wie in der industriellen Produktion.



Vakuum ist nicht nur als Prozessumgebung wichtig, sondern auch im Bereich der Handhabung sensibler Bauteile wie zum Beispiel Bipolarplatten unverzichtbar. (Bild: Schmalz)

Liebe Leserinnen und Leser,

Der Mitgliederkontakttag der DVG fand dieses Jahr in Karlsruhe am Institut für Astroteilchenphysik statt und die Vortragsthemen zeigten deutlich, wie die Vakuumtechnik als Schlüssel zur Grenzphysik fungiert. Vom „KATRIN-Experiment“, dessen Ziel die bislang präziseste Bestimmung der Neutrinomasse ist – wobei der Detektor in einer ultrareinen Vakuumumgebung mit radioaktivem Tritiumgas arbeitet – über das Einstein-Teleskop – ein unterirdischer Gravitationswellendetektor, der mit riesigen Interferometerröhren in einem UHV-System von bisher nicht realisierter Größenordnung arbeiten soll – bis zur Simulation von UHV-Vakuumsystemen.

Ausgewählte Themen dieser Veranstaltung werden wir selbstverständlich in der VIP aufgreifen. Aber nicht nur das Vortrags-Programm war spannend, auch den KATRIN-Detektor in voller Größe live zu sehen, einen Blick in das Tritiumlabor zu werfen oder auf das KARA-Synchrotron war extrem beeindruckend. Der Rundgang zeigte auf der

einen Seite, was für einen gewaltigen Aufwand Grundlagenforschung bedeutet – aber auch was dadurch möglich ist. Die Vakuumtechnik ist dabei kein passives Hilfsmittel, sondern integraler Bestandteil moderner Forschungsarchitekturen.

Auch in dieser VIP-Ausgabe wollen wir das Vakuum in dieser Rolle würdigen: als Leistungsträger hinter Projekten, die die Grenzen unserer technologischen Möglichkeiten verschieben.

Ein Beispiel hierfür liefert eine Messreihe zum Thema Laserschweißen mithilfe des Petra III-Synchrotrons in Hamburg (Seite 24). Außerdem ein vielversprechender Ansatz für eine schnelle Verifizierung von Beschichtungsprozessen mittels speziell entwickelter Testchips – mehr dazu ab Seite 22.

Aber Vakuum wird nicht nur in der Forschung und in extrem anspruchsvollen Highend-Prozessen eingesetzt. Angeregt durch Impulse aus unserem Leserkreis möchten wir diesen Bereich stärker in den Fokus nehmen und star-

ten in dieser Ausgabe mit einem Special zum Thema Vakuumpumpen (ab Seite 14). Dort finden Sie auch einen Link auf unsere Webseite, wo wir nach Ihren Themen und Herausforderungen fragen, um diese zielgerichteter in unsere Themenplanung einbauen zu können. Wir wollen denjenigen Raum geben, die Vakuumsysteme konzipieren, betreiben, warten und verbessern – in Laboren, in der Fertigung, in Forschungseinrichtungen und mittelständischen Betrieben.

Ob Großforschung oder Laboralltag – das Vakuum verbindet Welten. Und wir freuen uns, wenn Sie uns auf diesem Weg begleiten.

Herzlichst, Ihr

C. Blumenstengel

DIE VIP-REDAKTION

Vakuum in Forschung und Praxis
vip@oberflaeche.de



Carsten Blumenstengel
Chefredakteur



Stéphane Itas
Redaktion



Sonja Schwedler
Redaktion

INHALT

MAGAZIN

- 6 NEWS
- 8 FORSCHUNG
- 12 PERSONEN

OBERFLÄCHEN

14 Vakuumherzeugung – von grob bis UHV

Vakuumpumpen in Forschung und Praxis, ein technischer Überblick: Grundlagen, Pumpentypen und Anwendungen – Teil 1

Die Auslegung von Vakuumtechnologie, um eine wirtschaftliche Erzeugung und konstante Aufrechterhaltung eines definierten Vakuums für einen bestimmten Prozess zu gewährleisten, ist eine komplexe Angelegenheit.

ANALYTIK

19 Chemische Präkursoren präzise bereitstellen

Chipbasierte Aerosolquelle ermöglicht neue Lösungen für Syntheseaufgaben

Dr. Mehrzad Roudini

Die Aerosolerzeugung auf Basis akustischer Oberflächenwellen (SAW) ist eine präzise, düsenfreie Technik für die Zufuhr flüssiger Ausgangsstoffe.

22 Testchips bringen schnell klare Ergebnisse

Pillarhall LHAR-Teststrukturen erleichtern Entwicklung in der Halbleiterfertigung deutlich

Thomas Werner

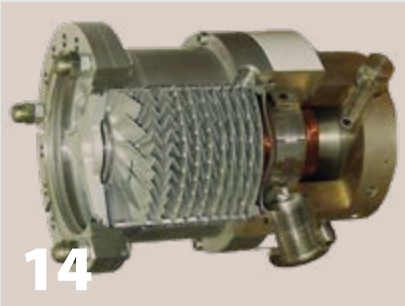
Die Entwicklung von Abscheidungsprozessen für Strukturen mit hohem Aspektverhältnis in der Halbleiterindustrie ist eine anspruchsvolle Aufgabe.

24 Tiefe Einblicke in den Schweißprozess

Unsichtbares wird sichtbar: Hochbrillante Röntgenstrahlung aus dem Vakuum trifft auf laserinduzierte Dynamik

Nikolaus Fecht

Am Synchrotron PETRA III in Hamburg analysieren Forscher mit Hochgeschwindigkeitskameras die dynamischen Vorgänge beim Laserschweißen.



14



19



24



30



34

ANWENDERBERICHTE

- 29** **So werden Vakuumpumpen wieder sauber**
Deutscher Hersteller liefert High-Purity-Anlage für Überholung der Komponenten
- 30** **Effizientere Verpackungsprozesse mit zentraler Vakuumherzeugung**
ROI von unter einem Jahr durch Vakuumkonzept mit drehzahl geregelter und generalüberholter Drehschieber-Pumpe
- 32** **Hochpräzises Handling sensibler Produkte**
Bildverarbeitungsgestützte Robotik für mikrometeregenaue Positionierung von Wafern
- 34** **Schichtwechsel verhilft zu mehr Leistung**
Neue Schichtgeneration für Wälzschäl-Werkzeuge erhöht die Standzeit deutlich
- 36** **Bessere Ziegel ohne Gas und Wasser**
Neue Vakuumpumpe im Dachziegelwerk halbiert den Stromverbrauch

VERANSTALTUNGEN

- 38** **Aus Last wird Zukunftsgestaltung**
Webinar zeigt Wege zu weniger CO₂-Emissionen in der Dünnschichttechnik
- 40** **Auch Europa kann Batterien herstellen**
Battery Show Europe 2025 zeigt die Rolle von Vakuumtechnik und dünnen Schichten
- 42** **Die HiPIMS-Welt kommt nach Braunschweig**
Konferenz bringt Wissenschaft und Industrie mit neuen Anwendungen zusammen

MAGAZIN

- 43** TERMINE
- 44** PRODUKTE
- 48** BEZUGSQUELLEN
- 51** IMPRESSUM/INDEX

TITELBILD 3/2025:

Moderne Flächengreifer können sensible Werkstücke wie Bipolarplatten vollflächig schnell und sanft handhaben. (Bild: Schmalz)



VERLAG

I.G.T. Informationsgesellschaft Technik mbH
Carsten Blumenstengel (verantw.)
Jägerweg 10, 85521 Ottobrunn
Tel.: +49 89 673697-0, Fax: -19
www.oberflaeche.de

REDAKTION

STÉPHANE ITASSE
Telefon 089 / 673697-75
E-Mail: stephane.ittasse@igt-verlag.de

KURATORIUM

HEINZ BARFUSS

DR. STEPHAN BECKER

DR. KLAUS BERGNER,
Vacom Vakuum Komponenten & Messtechnik GmbH,
Jena

DR. OLIVER BOSLAU,
Bruker Nano GmbH, Berlin

PROF. DR. GÜNTER BRÄUER,
Fraunhofer IST, Braunschweig

DR. HARRO HAGEDORN,
Bühler Alzenau GmbH, Alzenau

PROF. DR. UDO KLOTZBACH,
Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten
(EFDS) e. V., Dresden

PROF. DR. MICHAEL KOPNARSKI,
IFOS GmbH, Kaiserslautern

PROF. DR. ANDREAS LESON,
Fraunhofer IWS, Dresden

PROF. DR. CHRISTIAN OEHR,
ANDREAS SCHOPPHOFF,
Pfeiffer Vacuum GmbH, Aßlar

DR. ULF SEYFERT,
Von Ardenne GmbH, Dresden

PROF. DR. SVEN ULRICH,
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe

DR. GERHARD VOSS,
Leybold GmbH und Gaede-Archiv, Köln

PROF. DR. KLAUS-DIETER WELTMANN,
INP Greifswald e. V.

Wika Deutschland setzt auf PECVD-Anlage von Singulus

Anwendung für Produktion von Sensorbauelementen geplant

Die Wika Alexander Wiegand SE & Co. KG, Klingenberg (Wika), erweitert ihre Fertigung mit einer PECVD-Inline-Anlage des Typs Generis der Singulus Technologies AG. Sie soll der Abscheidung elektrischer Isolations- und Passivierungsschichten für Anwendungen in der Sensorik dienen, wie der Maschinenbauer in Kahl am Main mitteilt.

Mit der PECVD-Technik (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition = Plasmaunterstützte Chemische Gasphasenabscheidung) lassen sich dünne Schichten im Inline-Verfahren aufbringen. Besonders bei präzisen Sensorbauelementen trägt die Abscheidung elektrisch isolierender und schützender Schichten zur Leistungssteigerung und

Langlebigkeit bei. Bei der Generis PECVD setzt Singulus nach eigenen Angaben auf eigens entwickelte, induktiv gekoppelte lineare Plasmaquellen (ICP). Dieses Verfahren zeichnet sich durch eine hohe Elektronen- und Aktivierungsdichte bei gleichzeitig niedriger Ionenenergie aus. Es ermöglicht sehr hohe Abscheideraten über große Substratbreiten, wobei insbesondere die Kombination aus linearer Plasmaquelle und Inline-Verfahren ein hohes Maß an Skalierbarkeit unter Beibehaltung von außergewöhnlichen Schichtqualitäten bietet – bei breiten Prozessfenstern, minimaler Substratschädigung und geringem CO₂-Fußabdruck.

Die Generis PECVD-Technik erfüllt damit die Anforderungen an Effizienz und Präzision und bietet Voraussetzungen für Märkte wie die Halbleiterindustrie, Medizintechnik, Automobilindustrie und die industrielle Messtechnik.



Sensoren benötigen dünne Schichten, Wika setzt dafür auf eine PECVD-Anlage von Singulus Technologies. (Bild: Singulus Technologies)

www.singulus.de

Effiziente Dichtigkeitsprüfung in der CFK-Fertigung

Vakuum dient dem Einpressen der Gelege auf die Form

Um Flugzeugbauteile aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) herzustellen, wird auch Vakuum benötigt. Der Zulieferer Grunewald mit Standorten in Bocholt und Irlxleben kontrolliert dabei die Werkzeugoberflächen und Vakuumleitungen mit einem Vakuummeter von Thyracont.

Die Herstellung von CFK-Komponenten erfolgt mittels Curing-Tools. Dabei wird das Prepreg-Material – ein vorimprägniertes Kohlefasergewebe mit Harz – schichtweise in die gewünschte Form gelegt und mit einer Folie versiegelt. Eine Vakuumpumpe entzieht dem Gelege die Luft, wodurch das Material fest auf die Form gepresst wird.

Im anschließenden Autoklavprozess werden Werkzeug und Prepreg-Material auf 180 °C

erhitzt und unter Druck gesetzt. Durch die Hitze verflüssigt sich das Harz im Prepeg-Material, und der Druck sorgt

dafür, dass sich das flüssige Harz gleichmäßig verteilt. Im anschließenden Haltezyklus härtet das Bauteil aus und kann dann der Form entnommen werden.

Zur Prüfung der Vakuumleitungen und Werkzeugoberflächen setzt Grunewald das Kompakt-Vakuummeter VD810 des Passauer Herstellers Thyracont ein. Es misst sowohl Absolut- als auch Relativdruck im Bereich von 2000 bis 1 mbar (abs.) bzw. -1060 bis +1200 mbar (rel.) und ermöglicht so die Qualitätskontrolle. Dank seines chemiefesten Piezo-Keramikensors mit FKM-Dichtung ist das Vakuummeter unempfindlich gegen Verschmutzungen und eignet sich für Industrieprozesse.



Bei der Herstellung von CFK-Bauteilen muss die Luft aus der Form entzogen werden. Den Prozess kontrolliert bei Grunewald das Vakuummeter VD810. (Bild: Thyracont)

www.thyracont-vacuum.com

Busch Vacuum zieht positive Bilanz der Messe Iffa 2025

Neue Dienstleistung für Vakuumprozesse vorgestellt

Auf der Iffa 2025, einer der weltweit führenden Messen für die Fleisch- und Proteinwirtschaft, hat Busch Vacuum Solutions seine Vakuumsysteme vorgestellt. Im Mittelpunkt standen Anwendungen für die Lebensmittelproduktion.

Ein Highlight auf dem Messestand war Vacuum Diagnostics – eine Dienstleistung zur ganzheitlichen Analyse von Vakuumprozessen, wie das Unternehmen mitteilt. Experten analysieren vor Ort Vakuumsysteme, deren Energieverbrauch sowie die Umgebungsbedingungen und identifizieren Optimierungspotenziale. Auf dieser Basis erhalten Kunden Empfehlungen zur

Senkung von Energieverbrauch und Betriebskosten, zur Optimierung von Wartungsintervallen und zur Erhöhung der Prozessstabilität.

Daneben stellte Busch Produktneuheiten vor, darunter die kompakte R5 KD-Baureihe für Tabletop-Verpackungsmaschinen sowie die Cobra DX 0950 A Plus, eine trockene Schrauben-Vakuumpumpe für hygienekritische Anwendungen wie Gefriertrocknung, Pasteurisierung oder Vakuumkühlung.

www.buschvacuum.com



Busch Vacuum Solutions präsentierte auf der Iffa 2025 neue Produkte und Dienstleistungen für die Lebensmittelindustrie. (Bild: Busch Vacuum Solutions)

Pionier der industriellen Vakuumtechnik Leybold wird 175 Jahre alt

Kölner Unternehmen kann zahlreiche technische Durchbrüche für sich verbuchen

Der Vakuum-Pionier Leybold feiert sein 175-jähriges Firmenjubiläum. Zahlreiche Neuheiten für die Vakuumherzeugung und Prozessgasförderung markieren Meilensteine in der Unternehmensgeschichte.

Der deutsche Vakuumspezialist Leybold wurde im Jahr 1850 von Ernst Leybold in Köln gegründet. Jetzt, im Jahr 2025, feiert der renommierte Hersteller sein 175-jähriges Bestehen. Zu den Kernkompetenzen von Leybold gehören die Entwicklung und Herstellung von Systemen für die Vakuumherzeugung und Prozessgasförderung. Die Komponenten, Systeme und Dienstleistungen des Vakuum-Experten spielen bei der industriellen Beschichtung, der Analytik oder bei Forschungs- und Entwicklungsprozessen eine wichtige Rolle.

Mit der Eintragung in Köln wurde Leybold zum Begründer der industriellen Vakuumtechnik. 1906 gelang Leybolds Nachfolgern in Zusammenarbeit mit Dr. Wolfgang Gaede der Durchbruch in der Vakuumtechnik: zum Beispiel mit dem Grundprinzip der Turbomolekularpumpe (1911) und der Anwendung der Diffusionspumpe (1913), die beide noch heute im Einsatz sind. Auch das 1935 patentierte Gasballastgerät zum Abpumpen von Dämpfen ist noch in Gebrauch. 1870 wurde das

Unternehmen verkauft und unter dem Namen „E. Leybold's Nachfolger“ weitergeführt. Im September 2016 übernahm das schwedische Unternehmen Atlas Copco AB 100 % von Oerlikon Leybold Vacuum.

Die Vakuummetallurgie begann 1913: Dr. Wilhelm Rohn, Leiter des physikalischen Prüflabors der W.C. Heraeus GmbH, entwickelte in Hanau ein Verfahren zum Schmelzen hochreiner Metalle im Vakuum, das 1918 patentiert wurde. Wilhelm Carl Heraeus gelang es 1931, Metalle auf Glas zu verdampfen – dies

ebnete den Weg für die Vakuumbeschichtungstechnik. In der Folge wurde die Vakuumtechnik zunehmend in der Verfahrenstechnik angewandt.

Zu den derzeit relevanten Anwendungen der Vakuumtechnik im Strukturwandel gehören die Metallurgie, die Automobil- und Beschichtungsindustrie, Solar-, Display- und Lebensmittelanwendungen, die Analytik sowie Verfahren zur Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien für die Elektromobilität.

www.leybold.com



Köln ist nicht nur Gründungsort, sondern bis heute Unternehmenssitz von Leybold. (Bild: Leybold)

Simulationswerkzeuge für alle

Forscher wollen Zugang mithilfe von KI vereinfachen

Simulationen sind unverzichtbare Werkzeuge für Forschung und Entwicklung. Bisher sind sie jedoch meist spezialisierten Fachleuten vorbehalten. Das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (IST) in Braunschweig will das grundlegend ändern – mit einem neuen Ansatz, der die Simu-



Dr. Dennis Barton, Teamleiter Simulation, erklärt die neuen Simulationsansätze am Fraunhofer IST.
(Bild: Fraunhofer IST)

lation aus der Expertennische holt und in die industrielle Praxis überführt.

„Wir wollen die Simulation aus der reinen Expertenhand lösen und sie direkt in die Entwicklungspraxis integrieren“, sagt Dr. Dennis Barton, Teamleiter Simulation am Fraunhofer IST. Ziel sei es, Personen aus der Konstruktion und Entwicklung eine fundierte Entscheidungsgrundlage zu bieten, ohne dass sie sich in die Komplexität numerischer Modellierungen einarbeiten müssen.

Bereits heute nutzt das Institut einen selbst entwickelten und in der Fachwelt etablierten PICMC/DSMC-Code zur Simulation von Niederdruckplasmen und Gasflüssen in PVD-Beschichtungsprozessen. Die Modelle liefern Informationen zu Gastrennfaktoren, Targetabbrand und Schichtdickenprofilen. Ergänzt wird dies durch Methoden wie Computational Fluid Dynamics (CFD), etwa in der Auslegung von Elektrolytreaktoren oder Trocknerkonstruktionen.

Mit einem wachsenden Team, intelligenten Datenstrategien und künstlicher Intelligenz will das Fraunhofer IST den Zugang zu Simulationsverfahren vereinfachen. Machine-Learning-Methoden und Large Language Models sollen dabei helfen, simulationsgestützte Entscheidungen auch für Nicht-Experten zugänglich zu machen. Eine zentrale Rolle spielen dabei digitale Zwillinge, Datenmanagement und vernetzte Sensorik.

Auch die Förderung künftiger Fachkräfte hat das Institut im Blick. In seiner Lehrveranstaltung Modellierungsverfahren in der Oberflächentechnik an der TU Braunschweig vermittelt Barton das Rüstzeug: „Das Simulieren erfordert ein eigenes Mindset – ein Verständnis dafür, wann ein Modell gut genug ist, welche Rechenkapazitäten zur Verfügung stehen und wie Ergebnisse mit der Realität abzugleichen sind.“

www.ist.fraunhofer.de

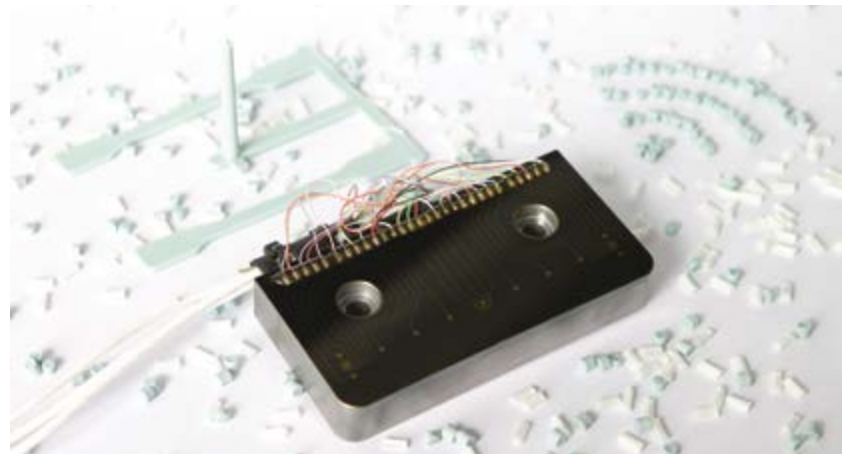
Messstellen direkt im Werkzeug abgeschieden

Dünnschichtsensorik ermöglicht eine automatisierte Echtzeit-Qualitätskontrolle beim Kunststoffspritzgießen

Für eine ressourcenschonende und wirtschaftliche Fertigung von Kunststoffbauteilen hat das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST ein Sensorsystem entwickelt, das Prozessdaten wie Temperatur und Druck in Echtzeit direkt im Werkzeug erfasst.

Die verschleißfesten Dünnschichtsensoren und die Anbindung an maschinelle Lernverfahren ermöglichen eine präzise Überwachung, eine automatisierte Qualitätssicherung und eine Optimierung des Spritzgießprozesses.

Die multifunktionalen Dünnschichtsensoren werden direkt auf der Werkzeugoberfläche abgeschieden. Sie ermöglichen eine orts aufgelöste Echtzeitmessung der Temperatur in den Hauptbelastungszonen des Spritzgießprozesses. Ein Beispiel ist das am Fraunhofer IST entwickelte System, das auf einem Werkzeugeinsatz appliziert wurde. Mit 13 Messstellen bietet es eine Analyse der Fließfront. Die thermoresistiven Sensoren sind so angeordnet, dass sie



Werkzeugeinleger mit Dünnschichtsensoren für das Kunststoffspritzgießen.
(Bild: Fraunhofer IST/Martin Rekowski)

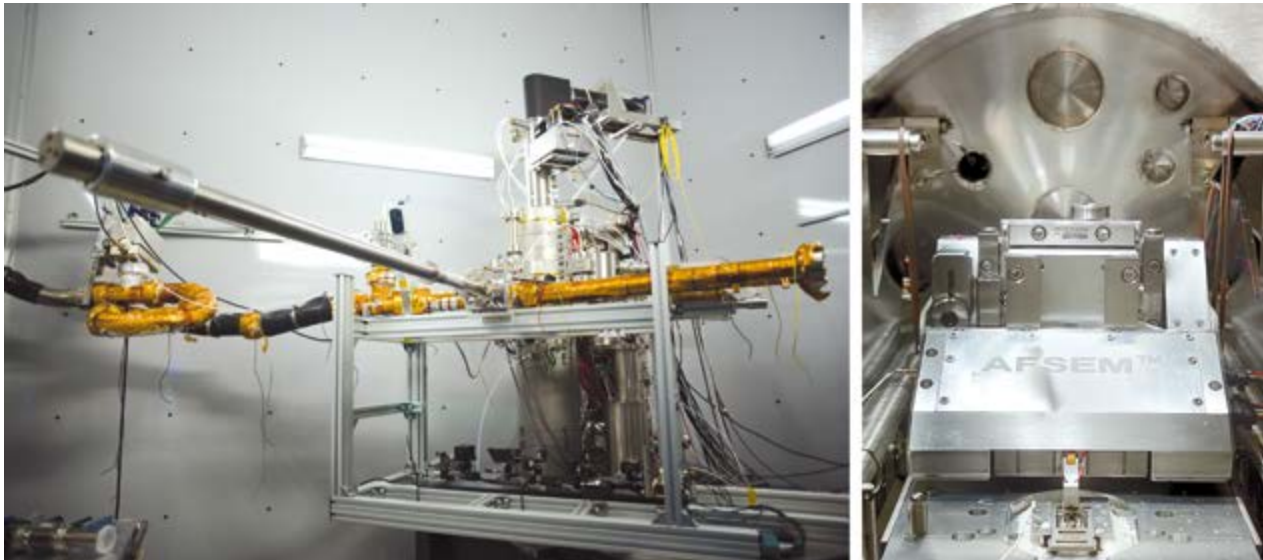
die Bauteilgeometrie abbilden. Die Daten werden in Echtzeit ausgelesen und verarbeitet. Mithilfe von maschinellen Lernalgorithmen auf Edge-Geräten können Störungen und Schwachstellen sofort erkannt werden. Die Bauteilqualität wird bestimmt und als Farbsignal ausgegeben, noch bevor das Werkzeug

nach dem Spritzvorgang geöffnet wird. Aufgrund der hohen Verschleißbeständigkeit des Dünnschichtsystems ist auch die Überwachung von Prozessen mit hohem Glasfaser- und Rezyklat-Anteil möglich.

www.ist.fraunhofer.de

Ultrasauberes Vakuum enthüllt neue Graphen-Eigenschaft

Forscher konstruieren besonderes System zur Untersuchung



Damit wurde die neue Graphen-Eigenschaft enthüllt: Links das drei Meter hohe Rastertransmissionselektronenmikroskop von Bruker, rechts die luftleere Kammer, die das Rasterkraftmikroskop von Quantum Design enthält. (Bild: Universität Wien)

Physiker haben es mit einer weltweit einzigartigen Methode geschafft, Graphen erstmals drastisch dehnbare zu machen – durch Wellung wie bei einem Akkordeon. Das gibt den Weg frei für neue Anwendungsmöglichkeiten, in denen eine gewisse Dehnbarkeit nötig ist.

Unter den zweidimensionalen Festkörpern sticht Graphen mit seiner enormen elektrischen Leitfähigkeit heraus, allerdings ist es auch sehr zugfest. Die extreme Zugfestigkeit ist ein Resultat der bienenwabenförmigen Anordnung der Atome im Material. Das Entfernen einiger Atome aus dem Material samt damit einhergehender Bindungen sollte intuitiv zu einer Verringerung der Zugfestigkeit führen, doch wissenschaftliche Studien zeigten sowohl eine kleine Verringerung als auch eine starke Erhöhung derselben, wie die Universität Wien mitteilt.

Universität Wien entwickelt eigenes System für diese Forschung

Diese Widersprüche konnten Forscher um Gruppenleiter Jani Kotakoski an der Universität Wien durch neue Messungen nun aufklären. Die Experimente fanden in luftleeren ultrasauberen Kammern statt, welche durch ebenfalls luftleere Metallröhren

miteinander verbunden waren. Dadurch konnten die Proben von einem Gerät zum anderen gelangen, ohne jemals in Kontakt mit der Umgebungsluft zu kommen. „Dieses einzigartige System, das wir an der Universität Wien entwickelt haben, ermöglicht uns eine ungestörte Untersuchung von 2D-Materialien“, erläutert Kotakoski.

Graphen für Untersuchungen komplett von der Umgebung isoliert

Wael Joudi, Erstautor der Studie fügt hinzu: „Damit ist es uns erstmals gelungen das Graphen während dieser Art von Experimenten dauerhaft von der Umgebungsluft und den darin enthaltenen Fremdpartikeln zu isolieren. Andernfalls würden sich diese in kurzer Zeit auf der Oberfläche ablagern und sowohl die Versuchsdurchführung als auch die Messung beeinflussen.“

Tatsächlich führte der Fokus auf penible Sauberkeit der Materialoberfläche zur Entdeckung des so genannten Akkordeoneffekts bezüglich der mechanischen Zugfestigkeit von Graphen: Bereits die Entfernung von nur zwei benachbarten Atomen verursacht eine gewisse Wölbung des ursprünglich flachen Materials. Zusammen resultieren mehrere solcher Wölbungen in einer Wellung des Graphens: „Man kann sich das wie ein Akkordeon vorstellen. Beim Auseinanderziehen wer-

den diese Wellen abgeflacht, was wesentlich weniger Kraft benötigt als das flache Material zu spannen, wodurch es schließlich dehnbare wird“, berichtet Joudi. Rika Saskia Windisch und Florian Libisch, beide theoretische Physiker an der Technischen Universität Wien, haben mit Simulationen sowohl die Wellenbildung als auch die daraus resultierende geringere Zugfestigkeit des Materials bestätigen können.

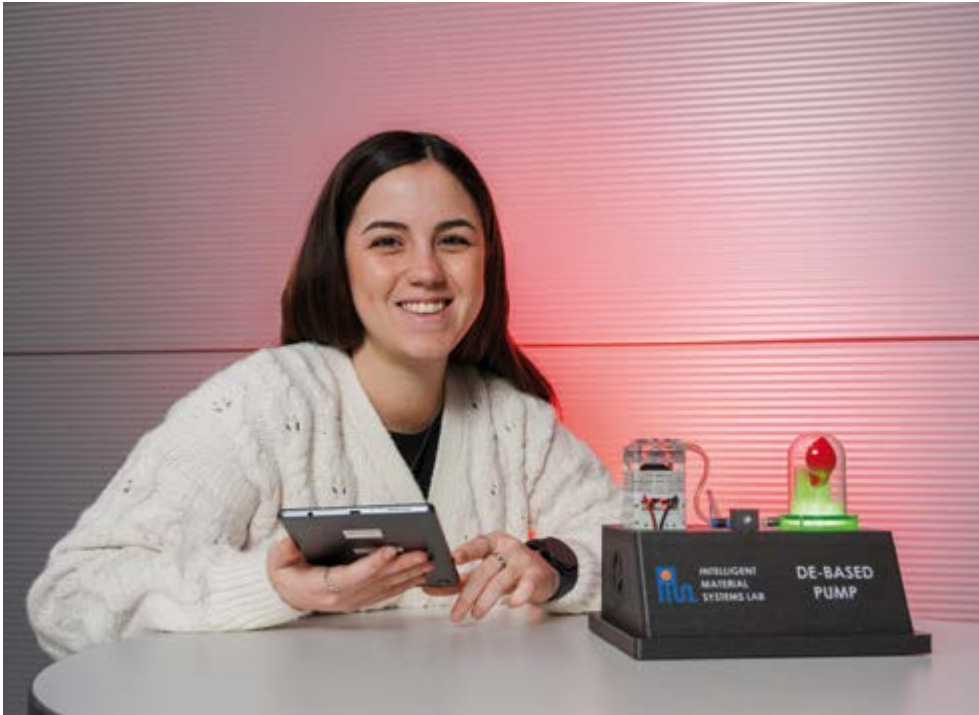
Widersprüchliche Eigenschaften durch Störfaktoren erzeugt

Während der Experimente zeigte sich auch, dass Fremdpartikel auf der Materialoberfläche diesen Effekt nicht nur unterdrücken, sondern sogar eine gegenteilige Wirkung hervorrufen. Konkret erscheint das Material dadurch zugfester, was auch die Widersprüche in der Vergangenheit erklärt. „Damit zeigen wir die Wichtigkeit der Messumgebung im Umgang mit 2D-Materialien. Die Ergebnisse öffnen einen Weg zur Regulierung der Zugfestigkeit von Graphen und legen damit den Weg frei für potenzielle Anwendungen“, sagt Joudi abschließend. Dazu könnte zum Beispiel die Integration von Elektronik in Bekleidung gehören (wearable electronics).

www.univie.ac.at

Dünne Folie wird zur Vakuumpumpe

Elektrodenbeschichtung ermöglicht Antrieb ohne Motor oder Druckluft



Im Vakuumpumpen-Prototyp zieht eine mit Elektroden beschichtete Silikonfolie ein Vakuum in einer Glasglocke mit Luftballon. Die Doktorandin Carmen Perri forscht an den smarten Pumpen und Ventilen. (Bild: Oliver Dietze)

Kompakt, leicht, flach und energieeffizient: Eine dünne Silikonfolie macht eine neue Art miniaturisierter Vakuumpumpen möglich. Sie funktionieren auf kleinem Raum, ohne Druckluft, ohne Motoren und Gerätschaften und ohne Schmiermittel, wie die Universität des Saarlandes mitteilt.

Die Aggregate sind zudem reinraumtauglich und lassen sich während des Betriebs regulieren. Mit dem Prototyp der Vakuumpumpe konnte das Team der Professoren Stefan Seelecke und Paul Motzki von der Universität des Saarlandes stufenlos ein Vakuum von bis zu 300 mbar Druck ziehen.

Elektrische Spannung setzt Folien in Bewegung

Die neuartigen Vakuumpumpen, aber auch Pumpen und Ventile, funktionieren mit dünnen Silikonfolien, in die allein mithilfe von elektrischer Spannung Bewegung kommen. „Die Technik ist

kostengünstig in der Herstellung, die Bauteile sind leicht, das hilft Platz und Gewicht zu sparen. Dazu sind diese Pumpen und Ventile erheblich energieeffizienter als heutige Verfahren“, sagt Motzki.

Energieverbrauch auf nur noch ein Vierhundertstel reduziert

„Im Vergleich zu einem marktüblichen Prozessventil für Druckluft mit einem Elektromagneten hat dasselbe Ventil mit unserem Antrieb einen 400-mal niedrigeren Energieverbrauch“, erläutert der Professor für Smarte Materialsysteme für innovative Produktion an der Universität des Saarlandes und Geschäftsführer des Zentrums für Mechatronik und Automatisierungstechnik (Zema). Auch kommen diese Verfahren ohne seltene Erden oder Kupfer aus. Und im Gegensatz zu mit Kompressoren betriebenen Pumpen sind die Folienpumpen zudem leise.

Damit die 50 µ dicken Folien nach Belieben Bewegungen vollführen

können, sind sie beidseitig mit einer elektrisch leitfähigen, hochdehnbaren Elektrodenbeschichtung bedruckt. Legen die Ingenieure hier eine elektrische Spannung an, drückt sich die Folie wegen der elektrostatischen Anziehung vertikal zusammen und dehnt sich in ihrer Fläche aus. Indem die Forscher das elektrische Feld verändern, können sie die Folien stufenlos Hub-Bewegungen verrichten oder auch mit beliebiger Frequenz und Schwingung vibrieren lassen. Die Folie kann auch jede gewünschte Stellung halten, wobei sie keinen Strom verbraucht.

Folien fungieren zugleich als Positionssensoren

„Die Funktion eines Positionssensors liefern die dielektrischen Elastomere gleich mit“, sagt Motzki. Jede Verformung der Folie lässt sich einem Messwert der elektrischen Kapazität zuordnen. Anhand der Messwerte erkennen die Ingenieure, wie die Folie mechanisch ausgelenkt ist. In einer Regelungseinheit können sie anhand dieser Messwerte mithilfe Künstlicher Intelligenz Bewegungsabläufe programmieren. Eingesetzt als Antrieb in entsprechenden Apparaturen ziehen und lösen die Folien in motorlosen Pumpen ein Vakuum mit gewünschtem Druck, dosieren als Ventil Flüssigkeiten exakt oder fungieren als stufenlose Schalter.

Außerdem können die Folienpumpen und -ventile ihren Zustand überwachen und signalisieren, wo der Fehler liegt. Die Messwerte verraten, wenn etwas schiefgeht, also etwa das Vakuum nicht richtig gezogen wurde oder Ventil oder Pumpe durch einen Fremdkörper blockiert sind. Passiert dies heute in großen Industrieanlagen, kann die Fehlersuche mitunter kompliziert werden. Die Technik lässt sich zudem einfach skalieren. „Hierzu schalten wir unsere Aktoren und Pumpenkammern entweder parallel oder in Reihe oder beides zugleich und können so Druck und Volumenstrom vergrößern“, sagt Motzki.

www.uni-saarland.de

Mit anodischem Bogen zu flexiblen Solarzellen

Forscher wenden Beschichtungsverfahren auf Werkstoffe mit anderen Eigenschaften an



Verdampfung von Cäsiumjodid mit dem anodischen Bogen. (Bild: Fraunhofer FEP)

Im EU-geförderten Projekt Luminosity entwickeln die Forschungs- und Industriepartner Perowskit-Solarzellen auf flexiblen Trägermaterialien weiter. Dabei hat ein Forschungsinstitut mit seiner Expertise in der anodischen Bogenverdampfung Fortschritte bei der Abscheidung von Zinnoxid und Cäsiumjodid erzielt.

Diese Technologien bilden die Basis für die Entwicklung flexibler Perowskit-Solarzellen, die umweltfreundliche Solarenergie der nächsten Generation ermöglichen, wie das Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik (FEP) mitteilt. Das Projekt wird auf der pro flex Konferenz für Rolle-zu-Rolle-Beschichtung flexibler Materialien am 6. und 7. Mai in Dresden vorgestellt.

Das Fraunhofer FEP untersucht im Projekt unter anderem die Eignung der von ihm entwickelten anodischen Bogenverdampfung für die Perowskit-Photovoltaik. Dieses Verfahren nutzt eine spezielle Elektronenquelle (Hohlkathodenbogenentladung) und bietet Vorteile bei der Einstellung von Schichtparametern für eine Vielzahl von Materialien. Die Kombination aus Verdampfung und Plasmaprozessen ermöglicht eine präzise Anpassung der Schichteigenschaften.

In vorangegangenen Projekten wurde bereits gezeigt, dass die anodische Bogenverdampfung hochwertige, dropletfreie und glatte, überaus harte Kohlenstoffschichten (ta-C-Schichten) für Hartstoffbeschichtungen erzeugen kann. Auch die schonende Abscheidung transparenter, leitfähiger Schichten für die nächste Generation der Silizium-Heterojunction-Solarzellen konnte mit der anodischen Bogenverdampfung durchgeführt werden.

Neue Beschichtungsmaterialien Zinnoxid und Cäsiumjodid abgeschieden

Bisher konnte die Methode nur für elektrisch leitfähige Materialien eingesetzt werden. Im Projekt Luminosity wurden jedoch erste Ergebnisse für die Abscheidung von Zinnoxid und Cäsiumjodid erzielt. Zinnoxid ist ein wichtiges Material für die Fertigung flexibler Solarzellen. Dabei gilt es, Schutz- und elektrische Funktionsschichten in sanfter Weise abzuscheiden, ohne darunter liegende Bereiche zu beschädigen, wie das FEP berichtet.

Die Verdampfung von Cäsiumjodid zeigt, dass perspektivisch auch die Abscheidung der aktiven Perowskit-Halbleiterschicht über dieses Verfahren von großem Interesse sein kann. Das Be-

schichtungsverfahren lässt sich durch die Kombination mehrerer Verdampfermodule in der Beschichtungsbreite leicht skalieren.

Insgesamt 15 europäische Partner an dem Forschungsprojekt beteiligt

Das Projekt Luminosity präsentierte sich im Mai auf der pro flex Konferenz am Fraunhofer FEP in Dresden mit einem Vortrag von Herbert Lifka von HyET Solar: „Scaling up a Roll to Roll line for flexible PV-modules“.

Das Luminosity-Konsortium besteht aus 15 europäischen Partnern, darunter Forschungsorganisationen, Universitäten und Privatunternehmen. Dabei sind das Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, das Fraunhofer FEP, das Consiglio Nazionale delle Ricerche, die Hyet Solar B.V., die Technische Universität Eindhoven, die Universität Lund, die Technische Universität Delft, Amires – The Business Innovation Management Institute z. Ü., Infinity PV ApS, die Von Ardenne GmbH, die Universität Hasselt, die LPKF Solarquipment GmbH, die Cyprus University of Technology sowie die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa). Projektkoordinator ist die niederländische Organisation für angewandte naturwissenschaftliche Forschung TNO.

www.fep.fraunhofer.de



Verdampfung von Zinnoxid mit dem anodischen Bogen. (Bild: Fraunhofer FEP)