

Sonderausgabe

Rea/IZM Online-Magazin
Wissenschaftsblog für Mikroelektronik

»Making Ideas Happen« 5 Jahre *RealIZM*

Liebe Leser*innen,

am 5. September 2019 wurde mit *RealIZM* der erste Wissenschaftsblog der Fraunhofer-Gesellschaft im Bereich Mikroelektronik ins Leben gerufen. Die Vision von Yulia Fedorovich und Marieke Lienert, zwei ehemaligen Kolleginnen unseres Marketing & PR-Teams, hat sich in den letzten fünf Jahren zu einer Plattform für Elektronik-Enthusiast*innen entwickelt.

RealIZM bietet Einblicke in die spannenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zum Electronic-Packaging des Fraunhofer IZM. Von der Wiederbelebung des Moore'schen Gesetzes durch Chiplelets bis hin zu den Herausforderungen und Chancen von Co-Packaged Optics – unsere über 100 veröffentlichten Beiträge, unterstützt von mehr als 80 Expert*innen, sind ein Zeugnis unserer gemeinsamen Bemühungen.

Unser Blog ist ein Dialograum für Forscher*innen, Expert*innen und Interessent*innen. Der Erfolg zeigt sich nicht zuletzt in der Auszeichnung beim »Ideenwettbewerb Internationales Forschungsmarketing« der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Jahr 2022.

Im Namen des Redaktionsteams danke ich Ihnen, unseren Leser*innen. Ein Wissenschaftsblog lebt von qualitativ hochwertigen Inhalten und dem Austausch zwischen Forschenden und Expert*innen weltweit.

In dieser Sonderausgabe präsentieren wir Ihnen die jeweils erfolgreichsten Artikel aus den letzten fünf Jahren in einem neuen Format. Nutzen Sie die Gelegenheit, sich weiterhin mit Wissenschaftler*innen, Innovator*innen und Visionär*innen im Bereich Mikroelektronik zu vernetzen und Ideen auszutauschen.

Ich wünsche Ihnen viel Freude bei der Lektüre!
Herzliche Grüße
Katja Arnhold



Kontakt

katja.arnhold@
izm.fraunhofer.de
+ 49 30 46403-213

***RealIZM*-Blog**

www.blog.izm.fraunhofer.de

Newsletter

[www.blog.izm.fraunhofer.de/
de/realizm-newsletter/](http://www.blog.izm.fraunhofer.de/de/realizm-newsletter/)

LinkedIn

[/fraunhofer-izm-berlin](https://www.linkedin.com/company/fraunhofer-izm-berlin/)

Instagram

[@fraunhofer_izm](https://www.instagram.com/fraunhofer_izm/)

Youtube

[@Fraunhofer-IZM](https://www.youtube.com/Fraunhofer-IZM)



Inhalt

Editorial

»Making Ideas Happen« - 5 Jahre *RealIZM* 2

Beliebtester Beitrag 2019/20

Malte von Krshiwoblozki berichtet von seiner Vision
für die Zukunft elektronischer Textilien 4

Beliebtester Beitrag 2020/21

Prof. Martin Schneider-Ramelow präsentiert
neue Forschungsergebnisse zum Drahtbonden 11

Beliebtester Beitrag 2021/22

Dr. Robert Hahn gibt einen Einblick in die Entwicklung
von Mikrobatterien für Bienen 16

Beliebtester Beitrag 2022/23

Julian Schwietering erklärt die Vorteile von
elektrisch-optischen Leiterplatten aus Glas 22

Beliebtester Beitrag 2023/24

Lars Böttcher erläutert die Herausforderungen
beim Packaging von SiC-Leistungshalbleitern
für Elektrofahrzeuge 26

Herausgeberin/ Redaktionelle Bearbeitung

Katja Arnhold, Fraunhofer IZM

Layout/ Satz

Enrica Theuke und Katja Arnhold, Fraunhofer IZM

Fotografie

Fraunhofer IZM zusammen mit Volker Mai:
Titel, 2; fad1986/istock.com: 2; MIKA Berlin: 16, 26

© Fraunhofer IZM 2024

Wie E-Textilien Schutzausrüstung, Health-Tech, Mode und Kommunikation verändern werden

Autor*in: Marieke Lienert

Es gibt bereits Smartphones und Smart Home-Systeme. Jetzt erobern auch smarte Textilien unseren Alltag. Ihre Einsatzmöglichkeiten werden bereits z.B. von Rettungsdiensten und Militär getestet. Elektronische Textilien werden weltweit an Bedeutung gewinnen, von der Medizin bis zur Mode.

Rea/IZM sprach mit Malte von Krshiwoblozki, Gruppenleiter »System-on-Flex« am Fraunhofer IZM, über Forschungsprojekte und Zukunftsvisionen.

Rea/IZM: Was ist Ihr Werdegang am Fraunhofer IZM?

Malte von Krshiwoblozki: Ich habe Mikrosystemtechnik an der FHTW studiert und während meines Praxissemesters 2007 zum Fraunhofer IZM gefunden. Nach meinem Abschluss blieb ich in der Arbeitsgruppe »System-on-Flex«, was mir von Anfang an die Arbeit mit intelligenten Textilien ermöglichte. Inzwischen leite ich diese Arbeitsgruppe und bin verantwortlich für alle textilbezogenen Aktivitäten an unserem Forschungsinstitut.

Hatten Sie einen bestimmten Berufswunsch, den Sie nach Ihrem Studium verfolgen wollten?

Nun, um ehrlich zu sein, nicht wirklich. Ich habe Mikrosystemtechnik studiert, was bedeutet, dass man zunächst wenig mit intelligenten Textilien zu tun hat. Das erste Mal, dass ich mit intelligenten Textilien in Kontakt kam, war bei leitfähigen Reinraumanzügen. Abgesehen davon war dieses Thema – und ehrlich gesagt ist es immer noch exotisch.

Ich dachte immer, dass ich in einem klassischen Bereich der Mikrosystemtechnik landen

würde. Deshalb war alles hier auch für mich eine ziemliche Überraschung. Es ist einfach so passiert.

Und trotzdem sind Sie hier: Können Sie mir bitte das Konzept der »smarte Textilien« erläutern?

Ich bevorzuge die beiden Begriffe »elektronische Textilien« und »e-Textilien«. Die Bezeichnung »smarte Textilien« bezieht auch Textilien aus intelligenten Materialien wie formverändernden Polymeren ein, die keine elektronische Funktionalität haben. E-Textilien bieten viele Einsatzmöglichkeiten. Viele Menschen denken zunächst an leuchtende Kleidung oder die Modebranche. Allerdings werden sich E-Textilien in diesen Bereichen wahrscheinlich erst später durchsetzen.

Kurz- und mittelfristig ist die Medizintechnik vielversprechender. Hier können wir nah am menschlichen Körper arbeiten und bequeme, atmungsaktive Systeme zur Überwachung von physiologischen Parametern entwickeln.

Ein weiteres wichtiges Thema ist die Schutzkleidung für den professionellen Einsatz. Beispielsweise könnte in die Kleidung von



Malte von Krshiwoblozki

+49 30 46403-649
malte.von.krshiwoblozki@
izm.fraunhofer.de

Gruppenleiter
»System-on-Flex«
am Fraunhofer IZM



Feuerwehrlauten oder auch Soldaten ein Energie- und Datennetzwerk integriert werden, das es ihnen ermöglicht, im Notfall jedes tragbare Gerät anzuschließen, das sie benötigen.

Der Sportsektor bietet ebenfalls viel Potenzial. Bewegungsanalysen ermöglichen es, die Körperbewegungen von Athleten mithilfe von Textilsensoren aufzuzeichnen und daraus wertvolle Erkenntnisse zu gewinnen. Muskelaktivitäten können mit einem Elektromyogramm (EMG) erfasst werden, oder es ist sogar möglich, Muskeln mit elektrischen Impulsen zu stimulieren. Zudem sind regelmäßige EKG-Messungen durch tragbare Systeme realisierbar. Alles, was das Training effizienter gestaltet und Übertraining verhindert, ist im Bereich der Wearables von großem Interesse.

Wir vergessen oft, wie vielfältig Textilien eingesetzt werden. Zu Hause treten wir auf einen Teppich und sitzen auf einem Sofa und auch unser Auto ist mit textilen Produkten ausgestattet. All diese Anwendungsbereiche bieten Potenzial, textile Produkte mit neuen Funktionen auszustatten und innovative Geschäftsmodelle zu entwickeln.

Ein Beispiel ist die Elektromobilität: In einem Elektroauto ist die Abwärme des Motors vernachlässigbar, da ein Elektromotor nicht so viel Wärme erzeugt wie ein Verbrennungsmotor. Daher muss eine Lösung gefunden werden, um den Fahrgastraum bei kaltem Wetter zu heizen. Dies könnte durch textile Heizflächen

geschehen, die in die Verkleidung integriert sind.

Angesichts der vielen verschiedenen Märkte für intelligente Textilien ist es schwierig, sich auf ein einzelnes Feld zu konzentrieren. Stattdessen ist es als technologieorientiertes Forschungsinstitut sinnvoller, sich breiter aufzustellen. Wenn man sich spezialisiert, sollte dies eher auf einer der zugrunde liegenden Technologien geschehen, die dann in verschiedenen Bereichen Anwendung finden können.

Verfolgen Sie am Fraunhofer IZM einen speziellen Forschungsschwerpunkt im Bereich der elektronischen Textilien?

Die Forschung an unserem Institut konzentriert sich auf die Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT). Wir arbeiten daran, elektronische Bauteile und Komponenten effizient und materialgerecht in Textilien zu integrieren. Standard-Lötverfahren sind für viele Textilien auf industrieller Ebene nicht anwendbar. Viele Textilien sind nicht für extrem hohe Temperaturen ausgelegt und Lötverbindungen halten Waschvorgängen und mechanischen Beanspruchungen wie Biegen nicht lange stand.

Deshalb entwickeln wir Alternativen wie Klebtechnologien, bei denen die Module mechanisch und elektrisch verbunden werden. Darüber hinaus haben wir dehnbare Leiterplatten entwickelt, die nicht mehr auf Kupferfolie oder gedruckter Silberpaste basieren.

*Connexstyle - Fraunhofer-Forschende und Designer*innen vereinen Stil mit Funktionalität: hier mit Kleidung, die Muskelaktivität misst und somit Rehabilitationsprozesse optimiert.*

© Jessica Smarsch

#Elektronische Textilien

Durch die Integration elektronischer Komponenten können Textilien mit vielen verschiedenen Funktionen wie Sensoren und Beleuchtung ausgestattet werden. Dies ermöglicht völlig neue Anwendungsbereiche für E-Textilien.

Textilien sind ein unverzichtbarer Bestandteil unseres Alltagslebens. Sie beschränken sich nicht nur auf Kleidung aus Stoff, Strick und Vlies, sondern umfassen auch technische Textilien und Verbundwerkstoffe. Sie halten extremen Belastungen beim Waschen stand, haben viele verschiedene Funktionen und sind dabei leicht und hochflexibel.

Stattdessen verwenden wir voll leitfähige Stoffe, die von Natur aus sehr robust sind. Diese strukturieren wir mit einem Laser und betten sie in ein elastisches Polymer ein. Das Polymer isoliert den leitfähigen Stoff dort, wo es nötig ist, erhöht dessen Robustheit und ermöglicht eine einfache Integration in textile Produkte.

Woran arbeiten Sie derzeit noch?

Wir erweitern unsere Möglichkeiten in der Kontaktierungstechnologie und bringen diese auf größere Formate als in der Elektronikindustrie üblich sind. Textilbonding beinhaltet das Verbinden von elektrischen Modulen mit Textilien, die integrierte Leiter haben. Dadurch entsteht in einem Schritt sowohl eine mechanische als auch eine elektrische Verbindung.

So können viele Kontakte gleichzeitig hergestellt werden, und es wird sogar möglich, isolierte Leiter zu integrieren, wenn die Isolierung entsprechend angepasst ist. Momentan arbeiten wir an textilen Bändern, die als zusätzliches Gurtsystem für Schutzbekleidung oder als besonders robuste Gürtel für medizinische Anwendungen eingesetzt werden können.

Es ist herausfordernd, neue Produkte auf den Markt zu bringen. Wenn jedoch ein bestehendes Produktportfolio weiterhin genutzt werden kann und sie zusätzliche Upgrades anbieten, ist diese Hürde oft geringer. Da solche Erweiterungen leicht wieder entfernt werden können, beeinflussen sie nicht die Standardlogistik, wie zum Beispiel die Reinigung. Es ist wichtig zu beachten, dass die meisten Kund*innen mit E-Textilien noch nicht vertraut sind und möglicherweise vorsichtig gegenüber dieser neuen Technologie sind.

Welche Anwendung nutzen wir bereits in unserem Alltag?

Gemeinsam mit einem Start-up und dem Fraunhofer HHI arbeiten wir an einem Projekt im Bereich der Medizintechnik. Dieses Projekt der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland zielt darauf ab, Patient*innen zu unterstützen, die ihren Tastsinn in den Händen verloren haben. Wenn diese Patient*innen ihre Hände nicht sehen können, wissen sie nicht,

ob sie etwas halten oder wie fest sie drücken. Das Fraunhofer HHI entwickelt einen Sensorhandschuh, während wir am Fraunhofer IZM eine Weste mit 16 textilintegrierten Vibrationsmotoren entwerfen. Diese Weste ermöglicht es dem Körper von Patient*innen, Informationen über Vibrationen zu empfangen, ohne auf Sehen oder Hören angewiesen zu sein.

Durch Vibrationen an sechzehn Stellen auf dem Rücken kann ein Algorithmus spezifische Informationen vom Sensorhandschuh übermitteln. Die dafür benötigte haptische Sprache wird von dem Start-up entwickelt. Das Ziel des Handschuhs ist es, Informationen zu erfassen und sie durch Vibrationen weiterzugeben.

Gibt es eine Technologie, die Sie entwickelt haben, auf die Sie besonders stolz sind?

Ich habe bereits die Kontakttechnik angesprochen, die wir als »Textilbonding« bezeichnen. Dieses Verfahren stammt ursprünglich aus der Mikrosystemtechnik. In der Mikroelektronik wissen wir, dass Chips mithilfe der Flip-Chip-Methode montiert werden, bei der die Kontakte direkt nach unten gerichtet sind. Wir haben diesen Prozess erfolgreich auf Textilien übertragen. Das Thema meiner Diplomarbeit war ebenfalls das Textilbenden, und seitdem habe ich die Technologie weiterentwickelt. Ich bin begeistert davon, diese Innovation bald in die Industrie zu bringen.

Wo möchten Sie in einem Jahr stehen?

E-Textilien sind schon lange ein Thema. Am Institut wurden die ersten Projekte 1999 durchgeführt, und ich arbeite seit über 12 Jahren in diesem Bereich. Aber wenn man sich in einem Kaufhaus oder draußen umschaut, sind diese Produkte immer noch sehr selten.

Es gibt einige Nischenprodukte, die bereits e-textile Technologie nutzen, aber alles geht sehr langsam voran. Es wäre großartig, wenn wir den Sprung schaffen würden, all dies zu industrialisieren und wirklich bald auf den Markt zu bringen.



Wie entwickelt sich der Markt? Gibt es Konkurrenz?

Es gibt definitiv Wettbewerb in diesem Bereich. Viele unterschiedliche Ansätze sind vielversprechend und haben Potenzial. In letzter Zeit ist mir aufgefallen, dass immer mehr große Unternehmen wie Google und Microsoft in Projekte in diesem Bereich investieren. Auch viele Start-ups erhalten beträchtliche finanzielle Mittel.

Man bemerkt momentan einen enormen Schub, und ich bin überzeugt, dass es früher oder später einen florierenden Markt dafür geben wird. Die Herausforderung besteht darin, sich so klug zu positionieren, dass man auch in fünf Jahren noch gefragt ist.

Verfügt das Fraunhofer IZM über spezielle Kompetenzen, um eine solche Marktsituation zu erreichen?

Wir sind im Bereich der Kontaktiertechniken, hochrobuster E-Textilien sowie Tests und Analytik sehr gut aufgestellt. Es gibt viele Institute, die sich allgemein mit E-Textilien beschäftigen, sei es aus der Perspektive der Elektronik oder der Textilindustrie. In der Regel sind sie in einem bestimmten Teilbereich stärker.

Unser Alleinstellungsmerkmal liegt jedoch darin, dass wir die verschiedenen Aspekte erfolgreich miteinander verbinden können. Unsere Ausstattung und die jahrelange

Forschung haben uns viel Erfahrung eingebracht, und ich bin überzeugt, dass wir in einer hervorragenden Position sind.

Könnten Sie uns bitte einen Einblick in aktuelle Projekte geben?

Unter anderem bearbeiten wir derzeit das EU-Projekt »Re-Fream«, in dem wir Teil des Berliner Hubs sind. In diesem Projekt präsentieren Künstler*innen ihre Ideen und beantragen Fördermittel für Technologien. Innerhalb eines bestimmten Budgets können sie die Technologien, die wir bereitstellen, nutzen, um die nächste Generation von E-Textil-Prototypen zu entwickeln.

Darüber hinaus arbeiten wir mit unseren Kolleg*innen aus dem Bereich der Umwelttechnik zusammen, um die Umweltauswirkungen dieser Ansätze und das Potenzial für eine Kreislaufwirtschaft zu untersuchen.

Ein weiteres Projekt ist das »Textile Prototyping Lab« (TPL), das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird. Ziel ist es, ein zentrales und lokales Labor mit anderen Partnern aus Deutschland aufzubauen, in dem schnelles Prototyping intelligenter Textilien möglich ist. Viele Unternehmen, insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMUs), haben Schwierigkeiten, das nötige textile und elektronische Fachwissen sowie die erforderlichen finanziellen und zeitlichen Ressourcen im Voraus sicherzustellen.

EU-Projekt Re-Fream - Second Skins designt von Malou Beemer

Das Kleidungsbestück besteht aus drei Schichten. Unterkleid: Mit integrierten LED-Modulen, die Licht erzeugen. Diffuse Schicht: Diese verändert das Licht mithilfe von Profactor. Obere Schicht: Sie gibt dem Kleidungsstück seine endgültige Form. Die Trägerin oder der Träger kann eigene LED-Farbmuster hochladen und sie mithilfe eines Tap-Sensors anpassen. Durch die Möglichkeit, Farben, Muster und Strukturen individuell zu gestalten, wird die Lebensdauer des Kleidungsstücks verlängert.

© Fraunhofer IZM | Patrik Klein Meuleman

[Erfahren Sie mehr über das TPL!](#)

Zudem ist es oft schwierig, Maschinenzeit für neue Projekte zu bekommen. Hier kann das Textile Prototyping Lab unterstützen. Unser Ziel ist es, Ressourcen für Textilien, Design und Elektronik sowie die notwendige Ausstattung bereitzustellen, damit Prototypen schnell hergestellt werden können.

Ist es manchmal schwierig, den Balanceakt zwischen einem ernsthaften Forscher und dem Ausprobieren, wie zum Beispiel dem Erfinden von fabrwechselnden Schuhen, zu managen?

(Lacht). Es gibt Kolleg*innen, die viel Freude am Experimentieren haben, besonders weil wir am Institut viele Technologien, Geräte und Materialien zur Verfügung haben. Das macht es einfach, Ideen sofort umzusetzen, was für die Forschung wichtig ist. Leider haben wir dafür nicht immer genug Zeit.

Ich bin jedoch im Moment mit dem Weg, den meine Karriere nimmt, zufrieden. Ich betrachte alles gerne aus einer Vogelperspektive und steuere es so, dass ich am Ende dorthin komme, wo ich hinwollte.

Das ist auch wichtig, wenn man vermeiden möchte, einen Tunnelblick zu entwickeln und Dinge zu entwickeln, die an den tatsächlichen Bedürfnissen der Menschen vorbeigehen.

Alexa und Siri sind schon Teil unseres Alltags – könnten wir bald auch mit unserer Kleidung kommunizieren? Ist das ein ernsthaftes Thema?

Wenn ich von E-Textilien spreche, beziehe ich mich auf die Technologien, die dahinterstecken. Es ist eine große Herausforderung, all diese Technologien marktreif zu machen.

Ein Computer hat ein robustes, stabiles Gehäuse und ist elektromagnetisch abgeschirmt. Textilien hingegen sind täglichen Bewegungen und Biegungen ausgesetzt. Zudem sind Nutzende direkt mit dem elektronischen System verbunden.

Die Textilien werden heiß und kalt gewaschen, werden nass und kommen mit Schweiß und Schmutz in Kontakt. Diese Bedingungen sind äußerst anspruchsvoll. Denken Sie nur daran, wie schnell normale T-Shirts nach ein paar Wäschen abnutzen.

Wenn man nun Elektronik mit Leiterbahnen in diese Textilien integriert, deren Widerstand über die gesamte Lebensdauer hinweg gewährleistet sein muss, wird dies zu einer extremen Herausforderung.

Die Sprachsteuerung selbst muss für Kleidung nicht neu erfunden werden. Es reicht aus, ein

Textil mit elektronischen Ziffern als temperaturresistente Anzeige für Vitalwerte in Feuerwehrjacken
© Fraunhofer IZM



neues Add-On bereitzustellen und anzuschließen – theoretisch ist das ein ganz normales Geschäft. Die eigentliche Herausforderung liegt jedoch derzeit woanders.

Werden E-Textilien, wenn sie verfügbar sind, als Luxusgut gelten oder werden sie für durchschnittliche Verbraucher*innen erschwinglich sein?

Im Modebereich werden die Produkte wahrscheinlich anfangs teuer sein oder nicht lange halten. Die wirklich hochwertigen Produkte werden erst dann verfügbar sein, wenn die Fertigungstechnologien im professionellen Sektor etabliert sind, wie zum Beispiel in der Schutzkleidung, Medizintechnik oder im Profisport.

Sobald diese Technologien soweit fortgeschritten sind, dass sie in großen Mengen und zu niedrigen Preisen produziert werden können, denke ich, dass auch erschwingliche Modeprodukte auf den Markt kommen werden.

Da Nachhaltigkeit häufig diskutiert wird, wenn es um Mode geht: Wie nachhaltig sind E-Textilien wirklich?

Neben der Rohstoffindustrie gehört die Textilindustrie zu den Branchen mit den schlechtesten Umweltauswirkungen. Das bedeutet, dass die Textilindustrie, auch ohne »intelligente« oder »E-Textilien«, unter starkem Druck steht, ihre Prozesse umweltfreundlicher zu gestalten.

Wenn Textilien jedoch in Kombination mit Elektronik auf einem hohen Integrationsniveau angeboten werden, wird dies komplizierter. Daher müssen von Anfang an sinnvolle Lösungen entwickelt werden. Eine Lösung besteht darin, Technologien zu nutzen, bei denen die elektronischen Module von den reinen Textilteilen getrennt werden können, um sie zu recyceln.

Metalle in Kleidung gibt es tatsächlich schon länger, als man denkt: Socken mit Silber zur Bekämpfung von Körpergeruch oder Reinraumanzüge. In Pflegeheimen werden häufig Silberfasern in Stoffvorhänge eingewebt, da sie antibakterielle Eigenschaften haben. Es wird eine Herausforderung sein, Metall von

Nichtmetall zu trennen. Nachhaltigkeit und die Kreislaufwirtschaft werden in diesem Bereich definitiv große Herausforderungen darstellen.

Im E-Textilbereich arbeiten Sie mit Branchen zusammen, die üblicherweise nicht miteinander agieren. Stellt das ein Problem dar?

Es hat eine Weile gedauert, bis ich die Textilprofis richtig verstanden habe. Wenn man aus der Elektrotechnik oder Mikrosystemtechnik kommt und mit einem Textilprofi spricht, muss man zunächst sicherstellen, dass man die gleichen Begriffe für dieselben Dinge verwendet. Das bedeutet, dass es eine Phase der Kommunikation gibt, in der man einen gemeinsamen Nenner finden muss, bevor man mit der Arbeit beginnen kann.

Wir sind auf einem guten Weg: Viele Unternehmen nähern sich einander an und bauen Know-how in ergänzenden Bereichen auf. Es gibt viele Textilunternehmen, die multidisziplinäre Teams bilden, in denen Elektronikingenieur*innen, Chemiker*innen, Materialwissenschaftler*innen und Mediziner*innen zusammenarbeiten, um E-Textilprodukte zu entwickeln.

Wenn man sich die Fertigungstechnologien ansieht, erkennt man, dass die Mikrosystemtechnik präzises Löten, Labore und Reinnräume erfordert – alles muss hochgenau und steril sein. In einer Weberei hingegen fliegen je nach Material Fasern in der Luft herum, und die Genauigkeit liegt nur im Millimeterbereich. Es wird also noch einige Jahre dauern, bis man auf der industriellen Seite einen gemeinsamen Nenner erreicht.

Wie sieht ein typischer Arbeitstag im Labor aus?

Leider bin ich nur selten im Labor tätig. Die meiste Zeit verbringe ich am Computer, in Besprechungen oder am Telefon. Oft reise ich auch, um Kund*innen und Projektpartner*innen zu treffen. Zu meinen Aufgaben gehören das Verfassen von Projektanträgen, das Lesen von Projektberichten und die Sicherstellung, dass die Projekte reibungslos verlaufen.

Erstveröffentlichung
am 02.06.2020

... weil Sie die Laboraufgaben an andere delegieren?

Als Gruppenleiter hat man nicht mehr die Möglichkeit, direkt hands-on zu arbeiten. Stattdessen übernehmen das wissenschaftliche Personal, Techniker*innen und unsere Studierenden diese Aufgaben. In meiner Position bewegt man sich eher in eine Planungs- und Controlling-Rolle. Das mag auf den ersten Blick langweilig erscheinen, doch man kann dennoch viel lernen, da man Zugang zu einer Vielzahl von Informationen hat.

Suchen Sie nach Kooperationspartner*innen?

Ja, wir sind ständig auf der Suche nach Industriepartnern, die E-Textilien herstellen und unser Know-how nutzen möchten, um neue Produktionstechnologien zu entwickeln. Mit unserem umfangreichen Technologieportfolio können wir ihnen helfen, ihre innovativen Ideen erfolgreich umzusetzen.

Abschließend gefragt: 2017 wurde prognostiziert, dass bis 2021 238 Millionen intelligente Kleidungsstücke auf dem Markt sein werden. Ist das realistisch?

Natürlich hängt es davon ab, was man als intelligentes Kleidungsstück betrachtet. Kurz gesagt, wenn man alles einbezieht, das leitfähiges Material enthält, kann ich mir diese Zahl gut vorstellen.

*In interaktiven Workshops erarbeiten Wissenschaftler*innen des Fraunhofer IZM und der KHB zusammen mit Partnern aus der Industrie, KMUs, Kunstschaffenden, Studierenden und Start-Ups textile Visionen mit elektronischen Funktionalitäten im Textile Prototyping Lab.*
© Fraunhofer IZM | TPL



Drahtbonden: Eine bewährte Technik mit Zukunft

Autor*innen: Yulia Fedorovich and Marieke Lienert

Nach mehr als einem halben Jahrhundert Technologie-Entwicklung geht der Fortschritt im Bereich Drahtbonden noch immer weiter. Als Beispiel für das enorme Potenzial dieser Technologie, blicken wir auf das DFG/Fraunhofer-Forschungsprojekt »AlCuBo«. Gemeinsam mit dem Forschungszentrum Strangpressen der Technischen Universität Berlin und weiteren Projektpartnern hat das Fraunhofer IZM ein neues Al/Cu-Bonddraht-Herstellungsverfahren entwickelt, um dieses für die Serienproduktion von leistungselektronischen Modulen zum Einsatz zu bringen.

Rea/IZM sprach mit Prof. Martin Schneider-Ramelow vom Fraunhofer IZM über die Ergebnisse des DFG-Forschungsprojektes »AlCuBo«.

Rea/IZM: Wie entstand die Idee zu dem Projekt »AlCuBo«?

Prof. Martin Schneider-Ramelow: Ich komme aus dem Bereich der Materialwissenschaften, insbesondere der Drahtbondtechnik, hier am Fraunhofer IZM.

Bei meiner Arbeit mit dem Forschungszentrum Strangpressen der TU Berlin, unserem Partner für dieses Forschungsprojekt, habe ich festgestellt, dass die kleinsten metallischen Drähte, die sie durch Strangpressen herstellen können, nur 500 Mikrometer dünn sind. Das entspricht dem Durchmesser der größten Drähte, die wir für das Bonden in der Leistungselektronik verwenden. Drahtbonden wird in über neunzig Prozent der Leistungselektronikmodule angewendet.

Unser Ansatz ist es, neue Verbundmaterialien für Dickdraht-Bondverbindungen zu entwickeln, um zuverlässigere und langlebigere Leistungsmodule bauen zu können. Weltweit gibt es nur wenige Unternehmen, die diese Drähte herstellen. Vor diesem Hintergrund haben wir die Bimetall-Drähte eines Unternehmens getestet und festgestellt, dass sie sich für das Drahtbonden eignen.

Wegen der relativ dünnen Ummantelung aus Aluminium sind jedoch viele Halbleiterchips während des Bondvorgangs ausgefallen. Gemeinsam mit unseren Kolleg*innen am Forschungszentrum Strangpressen der TU Berlin wollen wir daher u.a. die Dicke dieser Aluminium-Ummantelung optimieren. Die Verbunddrähte werden hier im Institut getestet und systematisch analysiert. Wir hoffen, dass wir damit neue sehr zuverlässige Leistungsmodule bauen können.

Das Verfahren gibt es schon lange. Warum ist es noch relevant?

Die Drahtbondtechnik entstand Ende der 1950er Jahre und wurde in den 1960er Jahren weiterentwickelt. Drahtbonden ist vielseitig einsetzbar. Vollautomatische Drahtbonder können so programmiert werden, dass nahezu jede geometrische Form auf der Oberfläche exakt hergestellt werden kann. Zum Vergleich: Bei der Embedding-Technologie kommt ein Laser zum Einsatz, um an die Kontaktpunkte zu gelangen. Das wird besonders schwierig, wenn auf großen Flächen (Panel) gearbeitet wird. Diese Schwierigkeit gibt es beim Drahtbonden nicht. Das macht diese Technologie so flexibel und so kosteneffizient. Nicht zu



**Prof. Martin
Schneider-Ramelow**

+49 30 46403-100
martin.schneider-ramelow@
izm.fraunhofer.de

Institutsleiter des
Fraunhofer IZM
Er ist zudem Professor an
der TU Berlin sowie Senior
Mitglied beim IEEE, Fellow bei
IMAPS USA und 1. Vorsit-
zender bei IMAPS Deutsch-
land sowie Obmann der AG
Bonden des DVS.



Ich gehe davon aus, dass die Drahtbondtechnologie auch in Zukunft von Bedeutung sein wird. Das Drahtbonds wird sich im Bereich der dünneren Standarddrähte deutlich weiterentwickeln, wobei die große Auswahl an verschiedenen Materialien und die präzisen Maschinen dazu beitragen werden.«

vergessen ist die Schnelligkeit - zwei oder drei Dickdrahtbonds pro Sekunde sind möglich.

Warum suchen Sie nach neuen Materialien für die Zukunft der Technologie?

Die Rückseiten von Leistungshalbleitern werden seit einiger Zeit nicht mehr gelötet, sondern mit hoch zuverlässigen Sinterverbindungen hergestellt. In der Vergangenheit war diese Chip-Rückseitenverbindung die Schwachstelle, da Lötstellen dazu neigen, eher zu versagen. Als mit dem Sintern begonnen wurde (was wir hier am IZM auch realisieren), wurden die Dickdrahtbondverbindungen auf der Chip-Oberseite zur Schwachstelle.

Bei den üblichen 99,99 % hochreinen Aluminiumdrähten traten relativ schnell Ermüdungserscheinungen auf. Konkret entstehen diese Ermüdungsrisse, wenn thermomechanische Wechselbeanspruchungen auftreten. Letztendlich kommt es zum Abheben der Drähte und zum Ausfall des Moduls.

Was kann man tun, um das zu vermeiden?

Die Idee ist, mit neuen Aluminium-Kupfer-Drähten höhere Festigkeiten zu erreichen. Mit den bisherigen Alternativen aus Kupfer haben wir nur einen sehr geringen Yield (Ausbeute an funktionalen Chips) erzielt. Die auftretenden Kräfte waren zu groß. Viele Chips sind während des Bond-Prozesses gebrochen (Cratering). Deshalb wurden bisher keine zu Aluminium alternativen Materialien beim Bonden auf Chips in der industriellen Produktion eingesetzt.

In unserem Projekt wollen wir die Dicke des Aluminium-Mantels auf jenen Sweet-Spot einstellen, an dem die Chips nicht durch Cratering ausfallen und wir uns dem Best-Case-Szenario einer hundertprozentigen Ausbeute nähern.

Andererseits soll der Kupferquerschnitt so groß wie möglich bleiben, weil Kupfer eine bessere elektrische und thermische Leitfähigkeit und eine höhere mechanische Festigkeit hat. Das Ziel des Projekts ist, die Materialzusammensetzung für den Einsatz für Leistungsmodule zu optimieren.

Man könnte also sagen, dass Kupfer die zentrale Rolle in diesem Materialmix spielt?

Kupfer ist wichtig, da es eine bessere elektrische und thermische Leitfähigkeit und eine höhere mechanische Festigkeit besitzt. Bei reinem Kupfer - wenn es ein Vollkupferdraht wäre - bestünde die Gefahr, dass die Halbleiter unter der sehr dünnen Aluminium-Metallisierung von drei bis fünf Mikrometern während des Bondprozesses beschädigt werden könnten (Cratering). Damit wären wir wieder bei Leistungsmodulen, die ausfallen.

Aluminium ist wichtig, weil es relativ weich und sehr gut bondbar ist. Genauer gesagt ist die Aluminiumschicht um den Cu-Draht auf die Aluminium-Metallisierung abgestimmt, die auf der Oberfläche fast aller Leistungshalbleiter zu finden ist. Zusammengefasst lässt sich sagen: Aluminium ist wichtig für den Drahtbondprozess. Kupfer ist wichtig aufgrund seiner elektrischen, thermischen und mechanischen Eigenschaften.

Gibt es alternative Materialien, beispielsweise Gold oder Silber?

Gold und Silber werden auch beim Drahtbonden verwendet, aber aus Kostengründen nicht für dicke Drähte. Die Unterscheidung zwischen Standard- und Dickdrähten ist sehr wichtig. Leistungshalbleiter werden wegen der hohen Ströme, die für diese Chips notwendig sind, ausschließlich mit Dickdrähten in der Wedge/Wedge-Technologie gebondet.

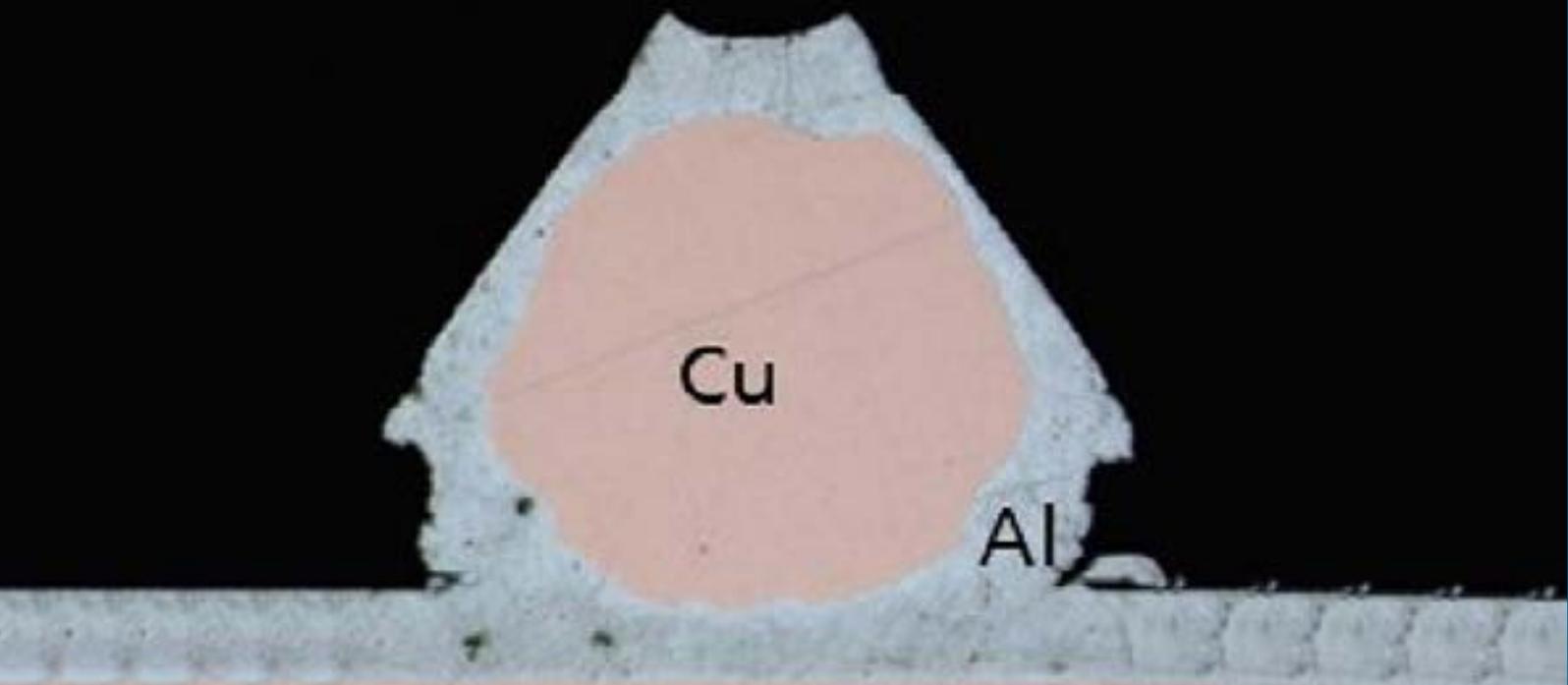
Der Durchmesser von Dickdraht liegt zwischen 100 und 500 Mikrometern. Standarddrähte sind in der Regel dünner als fünfzig Mikrometer. Sie werden meist mit dem Ball/Wedge-Bondverfahren verarbeitet. Die kleinsten Durchmesser liegen im Bereich von weniger als 15 Mikrometern. Vor zwanzig Jahren wurden sie fast ausschließlich aus Gold hergestellt. In den letzten zehn Jahren wurde aus Kostengründen bei vielen Anwendungen auf Kupfer und Silber umgestiegen.

*Links: Bondkopf eines voll-automatischen Dickdrahtbonders beim Bonden auf einem Power-Modul-Substrat
© Fraunhofer IZM | Volker Mai*

#Drahtbonden

Drahtbonden ist ein weit verbreitetes Standardverfahren für die elektrische Kontaktierung in der Aufbau- und Verbindungstechnik. Es wird u.a. bei der Chip-on-Board-Technologie und in der Leistungselektronik angewendet.

Beim Drahtbonden werden elektrische Verbindungen mit Drähten aus Aluminium, Gold, Kupfer oder Silber hergestellt. Die Verbindung wird mit verschiedenen Techniken durch die kurzzeitige Einwirkung von Druck, Temperatur und/oder Ultraschall erzeugt.



Schwerer Draht Al-Cu-Bi-
Metall Bondkeil
© Fraunhofer IZM

0,5 mm
beträgt der
Durchmesser der
Bonddrähte.

> 75 %
der mikro-
elektronischen
Produkte sind
drahtgebondet.

Könnten Sie uns die Projektziele und die Aufteilung der Verantwortlichkeiten erläutern?

Am Forschungszentrum Strengpressen der TU Berlin werden die Verbunddrähte hergestellt. Sie werden stranggepresst, anschließend gezogen. Die Bonddrähte haben einen Durchmesser von zirka einem halben Millimeter. Sie bestehen aus einem Aluminiummantel um einen Kupferkern. Die Umformbedingungen werden durch numerische Prozesssimulation ermittelt. Die Ergebnisse validieren wir, indem wir sie mit Beobachtungen aus realen Umformversuchen vergleichen.

Am Fraunhofer IZM werden die mechanischen Eigenschaften der Bonddrähte durch Zugversuche und Härteprüfungen (Mikro-/Nanoindentation) bestimmt. Ferner ermitteln wir ihre Strombelastbarkeit und vergleichen sie mit anderen kommerziell erhältlichen Drähten. Zudem bestimmen wir die optimale Dicke des Aluminiummantels. Der Fokus liegt auf der Bondausbeute auf dem Halbleitermaterial (mit 100% Yield und ohne Cratering) und auf einer hohen Stromtragfähigkeit, die mit einem möglichst großen Kupferkern erreicht wird.

Mit einem Demonstrator-Setup für industrielle Drahtbondanlagen führen wir gemeinsam mit unseren Industriepartnern Hesse GmbH und Vitesco Technologies GmbH Bondtests durch und passen die Anlagen und Tool-Geometrien entsprechend an. Schließlich führen wir

Temperaturwechsel- und mechanische Belastungstests als Teil unserer Zuverlässigkeits- und Lebensdauer-Untersuchungen durch.

Welche Erkenntnisse soll das Projekt liefern?

Aus wissenschaftlicher Sicht könnten die Analysen der Prozesskette Strangpressen und Drahtziehen eine weiterführende Prozesskette anstoßen, um dadurch die Materialeigenschaften zu verbessern. Mit unseren mechanischen und thermomechanischen Untersuchungen zeigen wir neue Bimetall-Kombinationen für Bonddrähte auf.

Diese könnten den Anforderungen der Leistungsmodule der Zukunft gerecht werden, indem sie beispielsweise höheren Temperaturen standhalten. Die aus diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse werden eine wichtige Grundlage für die Herstellung und die Verarbeitung von Aluminium-Kupfer-Bonddrähten sein.

Wie sieht es aus kommerzieller Sicht aus?

Die Aluminium-Kupfer-Bonddrähte, an denen wir arbeiten, sind für den Einsatz in Leistungselektronikmodulen gedacht. Leistungselektronik wird beispielsweise in Wandlern eingesetzt, die den aus Wind- oder Solarenergie erzeugten Gleichstrom in Wechselstrom umwandeln, der in unser Stromnetz eingespeist werden kann.

Leistungselektronikmodule können einen wichtigen Beitrag zu unseren Bemühungen leisten, unseren CO₂-Fußabdruck zu reduzieren, da die verlustfreie Umwandlung einen geringeren Energieverbrauch verspricht.

Das gilt auch für Wandler im Bereich der Elektromobilität. Damit die heutigen und zukünftigen Elektroautos alle Funktionen bieten, die wir erwarten, wie autonomes Fahren, müssen wir Gewicht einsparen, die Leistung steigern und/oder ihre Komponenten verkleinern.

Wie sieht die Zukunft des Drahtbondens aus? Wird diese Technologie auch in fünfzehn Jahren noch relevant sein?

Ich kann Ihnen eine Anekdote dazu erzählen: Als ich vor 22 Jahren hier am Fraunhofer IZM begann, sagte der damalige Leiter und Gründer des Instituts, Professor Reichl, zu Professor Lang, seinem späteren Nachfolger und damals Leiter der Drahtbond-Gruppe, dass er anfangen sollte, nach einem neuen Forschungsthema zu suchen, weil Drahtbonden bald tot sei. Dennoch sind heute nach grober Schätzung über 75 Prozent der mikroelektronischen Produkte drahtgebondet, eben weil diese Technologie so flexibel und kostengünstig ist.¹

Ich gehe davon aus, dass diese Technologie auch zukünftig relevant bleiben wird. Das Drahtbonden wird signifikante Fortschritte mit dünneren Standarddrähten machen, unterstützt durch eine größere Auswahl an verschiedenen und hochpräzisen Maschinen. Innovationen geschehen bereits, insbesondere in den Bereichen der Flip-Chip-, Chiplet- oder Embedding-Technologien. Aber all das wird Zeit brauchen.

Vielen Dank für das Gespräch!

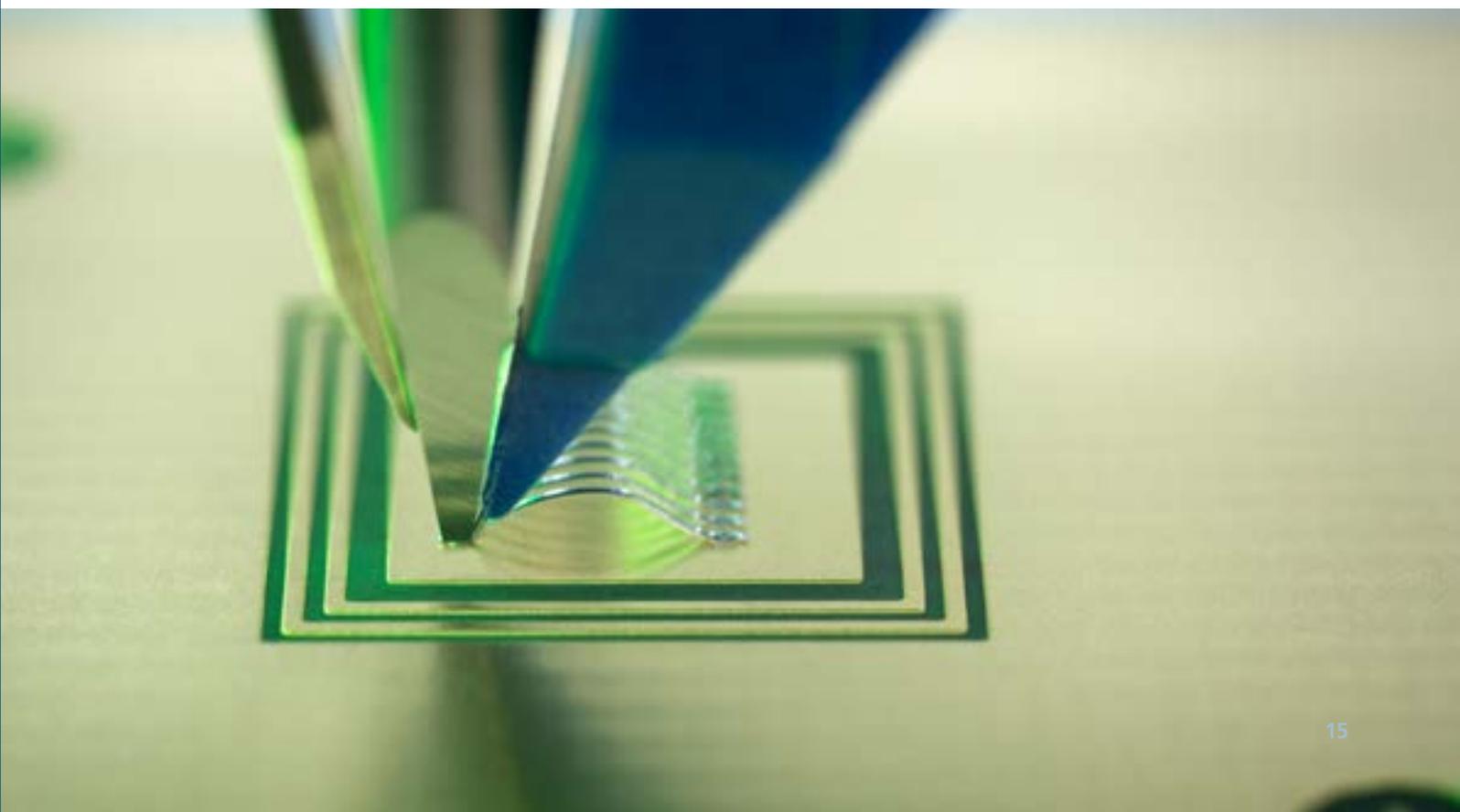
Das Transferprojekt Aluminium-Kupfer-Bimetall-Bonddrähte wurde von der DFG gefördert.

Quelle:

¹ Yole Report 2019: Automotive Packaging Market & Technology Trends

Erstveröffentlichung am
26.11.2020

*Detailansicht eines Dickdraht-Bondtools mit Drahtführung und Messer (Frontcut) bei einer Bonddrahtanprobe
© Fraunhofer IZM | Volker Mai*



Miniaturisierte Batterien für Bienen

Autor*in: Jacqueline Kamp

Das Fraunhofer IZM treibt die Entwicklung extrem kleiner Lithium-Ionen-Batterien voran: Sie messen nur einen Quadratmillimeter und werden in winzigen Hörgeräten oder auf dem Rücken von Bienen eingesetzt.

Dr. Robert Hahn, Leiter der Arbeitsgruppe »Mikroenergiesysteme« am Fraunhofer IZM, gibt uns einen Einblick in die neuesten Entwicklungen im Bereich der kleinsten Anwendungen. Erfahren Sie, wie Bienen mit winzigen Rucksäcken ausgestattet werden, die mit hochmodernen Miniatorsensoren gefüllt sind.

Rea/IZM: Was genau sind Lithium-Ionen-Batterien und was ist das Besondere an ihnen?

Dr. Robert Hahn: Lithium-Ionen-Batterien sind heute als aufladbare Batterien am weitesten verbreitet. Zuerst waren sie in Handys verbaut, später auch in Notebooks und Tablets. Jetzt sind sie auch in Elektroautos als Antriebsbatterie zu finden.

Was ist der Schwerpunkt des Fraunhofer IZM bei der Entwicklung von Lithium-Ionen-Batterien?

Wir konzentrieren uns am Fraunhofer IZM auf die Entwicklung extrem kleiner Batterien, die sonst niemand herstellen kann. Dazu nutzen wir unsere Silizium-Wafer-Level-Prozesse, die hier im Reinraum stattfinden. Diese Batterien sind in der Tat sehr klein: nur 1x1 mm². Aufgrund dieser winzigen Größe können einige Tausend davon auf einem einzigen Wafer hergestellt werden. Allerdings gibt es noch nicht so viele Anwendungen, die solche extrem kleinen Batterien benötigen.

Wir waren an einem Projekt eines großen Medizintechnikherstellers beteiligt, der Elektronik in eine Kontaktlinse einbauen wollte. In einem anderen Projekt ging es darum, sehr kleine Hörgeräte direkt auf dem Trommelfell zu platzieren.

Im Moment entwickeln wir Batterien, die in sehr kleine Sensoren für die Bienenforschung

passen. Die Bienen werden mit diesen Sensoren ausgestattet, um Daten zu erfassen, während sie herumfliegen. Unsere Innovation ist dieses kleine Gehäuse. Die Batteriematerialien, die wir verwenden, sind eigentlich genau die, die auch in Mobiltelefonen oder Elektroautos verwendet werden. Bei Lithiumbatterien gibt es viele Untergruppen und verschiedene Elektrolyte, und wir versuchen immer, die neuesten und besten Entwicklungen zu verwenden.

Können Sie uns etwas mehr über die Bienen mit den Minibatterien auf dem Rücken erzählen?

Das Projekt Sens4Bee wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft gefördert. An dem Projekt sind ein Elektronikunternehmen, Imker*innen und Expert*innen beteiligt, die die Bienenstöcke und Rahmen für die Bienenvölker herstellen.

Das Fraunhofer IZM stellt die kleinen Batterien für dieses Projekt her?

Genau, wir stellen winzige Batterien und ein sehr kleines Solarmodul her, das an den Bienen befestigt wird. Da die Bienen normalerweise tagsüber bei Sonnenschein fliegen, kann die Batterie während ihres Flugs aufgeladen werden. Es wäre kompliziert, Bienen an ein Ladegerät anzuschließen.

Wir haben uns für Solarzellen aus Silizium entschieden, die im Wesentlichen den Solarzellen auf Hausdächern ähneln. Silizium reagiert



Dr. Robert Hahn

+49 30 46403-611
robert.hahn@
izm.fraunhofer.de

Gruppenleiter
»Micro Energy Systems«
am Fraunhofer IZM



empfindlich auf Infrarotstrahlung. Bienen hingegen nehmen Infrarotstrahlung nicht wahr.

Deshalb können die Batterien im Bienenstock mit Infrarot aufgeladen werden, falls die Flugzeit zum Aufladen nicht ausreichend war. Auf diese Weise können wir auch Sensordaten im Bienenstock sammeln.

Weltweit sind die Forscher*innen am Fraunhofer IZM die einzigen, die diese extrem kleinen Batterien herstellen können, haben Sie gerade gesagt. Können Sie die Fertigungsmethode noch etwas genauer beschreiben?

Uns sind bisher zu diesem Thema keine wissenschaftlichen Veröffentlichungen von Dritten bekannt. Ich kann mir vorstellen, sobald es einen Markt für Miniaturbatterien gibt, werden Unternehmen diese auch herstellen.

Das Lithium in der Batterie reagiert sehr empfindlich auf Luftfeuchte. Die Batterie muss daher hermetisch verkapselt werden. Größere Batterien haben ein gutes Gehäuse. Sie sind in eine Verbundfolie aus Polymer und Aluminium eingeschweißt. Das Polymer selbst ist nicht zu einhundert Prozent wasserdicht. Ein paar Moleküle diffundieren immer hinein. Bei großen Batterien ist dies nicht kritisch.

Bei sehr kleinen Batterien ist das jedoch anders: Jedes Wassermolekül, das in das System eindringt, reagiert mit einem

Lithiumatom, so dass die Kapazität der Batterie immer kleiner wird. Deshalb muss das Gehäuse auf jeden Fall hermetisch verschlossen sein. Bis dato gab es solche superkleinen hermetischen Gehäuse noch nicht.

Hermetisch verkapselte Gehäuse kommen bei Herzschrittmachern zum Einsatz. Es gibt Batterien, die für Implantate und für andere Anwendungen im Körper verwendet werden. Diese Batterien sind jedoch mit Glasdurchführungen, kleinen Glasscheiben mit einem montierten Draht und einem Titangehäuse um die Einheit herum eingeschweißt. Metall und Glas dichten zusammen gut ab. Diese Durchführung hat aber alleine schon mindestens einen Durchmesser von 2 Millimetern. Wenn aber die ganze Batterie jetzt kleiner als ein Millimeter sein soll, geht so etwas natürlich nicht.

Das ist ein Problem: Je kleiner die Batterie ist, desto mehr Platz nimmt die Gehäusetechnik in Anspruch und der Platz für das eigentliche Batteriematerial wird immer kleiner. Es gibt Technologien mit Silizium, bei denen Durchgänge von einer Seite zur anderen in das Silizium eingebracht werden. Das Kupfer wird vertikal hindurchgeführt und geht durch das Lithium. Das kann auch für normale Schaltkreise zum Durchführen für die Batterie verwendet werden.

Die Batterie braucht nur zwei Pole. Silizium hat den Vorteil, dass es sehr fein strukturiert werden kann. Deswegen wird es häufig in der

Mikrointegration von Solarzellen, Li-Ionen Mikrobatterie und Sensorik für die Erforschung und Überwachung von Bienengesundheit und Umwelteinflüssen im Projekt Sens4Bee

© Fraunhofer IZM | Volker Mai

1 x 1 mm²
groß sind die vom Fraunhofer IZM entwickelten Batterien.

Rechts: Wiederaufladbare Mikrobatterien
1,5 x 3 mm²
© Fraunhofer IZM

Halbleitertechnik verwendet. Die vorhandenen Strukturen liegen im Nanometerbereich. Bei Bedarf könnten wir Siliziumsensoren für das Batteriegehäuse herstellen, die 50 Mikrometer breit sind. Wichtig ist, dass es auch mechanisch stabil bleibt. Deshalb sind der Deckel und die Ober- und Unterseite der Batterien etwa 40 Mikrometer dick.

Obwohl diese Technik schon dünner als ein menschliches Haar ist, besteht der größte Teil des Batteriekörpers aus aktivem Material, wie Anode und Kathode, die mit Lithium gefüllt sind. Die Hülle darum herum ist sehr klein. Deshalb verwenden wir Silizium. Eigentlich ist Silizium nicht ideal für das Gehäuse, weil es sehr gut passiviert werden muss. Andernfalls könnte das Silizium auch mit dem Lithium reagieren. Glas wäre da besser, aber das lässt sich nicht so fein strukturieren.

Es geht also darum, ein Siliziumsubstrat herzustellen, das Vertiefungen für Anode und Kathode und möglichst dünne Wände ringsherum hat. Die hermetische Verkapselung erfolgt folgendermaßen: Zuerst wird ein Deckel aus Polymer aufgeklebt. Danach wird die gesamte Oberfläche mit einer Metallbeschichtung versehen. Diese Metallschicht ist 5 Mikrometer dünn, so dass das Ganze am Ende vollständig dicht ist.

Was waren die größten Herausforderungen bei diesem Projekt und bei der Entwicklung dieser Technologie?

Das Schwierigste ist, dass der flüssige Elektrolyt in jede dieser millimetergroßen Batterien eingefüllt werden muss. Bisher ist nur das Fraunhofer IZM dazu in der Lage.

In jede von den Tausenden von Batterien auf dem Wafer müssen Tröpfchen des Elektrolyts eingefüllt werden. Wenn der Deckel aufgeklebt wird, darf der Elektrolyt nicht mit dem Kleber in Kontakt kommen, da er sonst nicht richtig haften würde. Gleichzeitig sollte der verfügbare Raum möglichst gut mit Elektrolyt gefüllt sein, damit der Innenwiderstand der Batterie niedrig bleibt und die Ionenleitfähigkeit hoch ist. Das ist eine sehr komplexe Technologie.

Eine weitere Schwierigkeit: Batterien sind nicht temperaturstabil. Sie halten etwa eine Stunde lang eine Temperatur von 80 Grad Celsius aus. Ist es eine längere Zeit so warm oder noch wärmer, werden sie schnell unbrauchbar. Daher sollte man ein Mobiltelefon nicht in einem warmen Auto liegen zu lassen. Wärme lässt Batterien schnell altern. Auch bei der Fertigung ist es nachteilig, wenn Batterien Wärme ausgesetzt sind.

Im Reinraum mit all den Prozessen und Maschinen, die zum Beispiel für die abschließende Metallisierung verwendet werden, kann es schnell über 80 Grad Celsius werden. Die Prozesse müssen daher so optimiert werden, dass sie bei möglichst niedrigen Temperaturen funktionieren. Das war viel Arbeit für uns.

Was sind zukünftige Anwendungsbereiche für diese superkleinen Batterien?

Wir sehen Potenzial in drei Bereichen: Der größte Markt wird voraussichtlich im Bereich Medizintechnik liegen. Sehr kleine elektronische Sensoren können am oder im Körper von Patient*innen platziert werden. Diese Sensoren werden mit künstlicher Intelligenz oder dem Internet der Dinge verbunden. So könnten Vitalparameter wie der Augendruck oder andere Werte gemessen werden. Momentan ist das jedoch noch nicht möglich.

Wir haben bereits viele Anfragen zu Sensoren für den Einsatz im Mund erhalten. Diese Sensoren könnten verschiedene Werte messen, zum Beispiel über Implantate in den Zahnzwischenräumen oder in einem Zahnchip mit sehr kleiner Elektronik. Die Elektronik muss natürlich sehr dünn sein, damit die Träger*innen sie nicht spüren. Ähnliches funktioniert auch im Ohr: Es gibt sehr kleine Hörgeräte, die direkt auf dem Trommelfell sitzen. Dadurch benötigen wir keine kleinen Versionen herkömmlicher Lautsprecher mehr, sondern nutzen einen Piezoantrieb, der das Trommelfell bewegt. Das ist sehr effektiv und verbraucht insgesamt weniger Energie.

Das reicht bis zu Implantaten wie Herzschrittmachern, die direkt im Herzen an der Stelle platziert sind, wo der Impuls abgegeben werden soll. Diese Implantate sind nur so groß



Wir investieren viel Arbeit, um die höchstmögliche Energiedichte in unseren kleinen Batterien zu erreichen. Dazu nutzen wir größere oder energiereichere Materialien als in herkömmlichen Batterien. Dadurch gleichen wir den Skalierungseffekt aus, der dazu führt, dass sehr kleine Batterien weniger Energie speichern können.«

#Wafer-Level-Packaging

Wafer-Level-Packaging beschreibt das gesamte Technologiespektrum für die Aufbau- und Verbindungstechnik, die eine Direktmontage des integrierten Schaltkreises auf die Leiterplatte ermöglicht. Im Unterschied zum reinen Wafer-Bumping sind zusätzliche Verdrahtungsebenen notwendig, die aber auch das Potenzial für eine höhere Integrationsdichte bieten wie die Integration von passiven oder aktiven Bauteilen z.B. direkt auf dem CMOS-Wafer. Die Technologie kann auf CMOS-Wafer und auf Bauelemente anderer Technologien oder Sensoren angewendet werden.

wie ein etwas größeres Korn. Sie müssten jedoch anders aufgeladen werden. Es gibt bereits Projekte, die darauf abzielen, sie direkt über die Druckschwankungen im Herzen aufzuladen, so dass die Energie durch mechanische Umwandlung erzeugt wird.

Diese Ideen sind derzeit noch Zukunftsvisionen. Es gibt jedoch bereits Produkte wie Hörgeräte und Zahnspangen. Die Technologie ist im Moment noch etwas größer, wird aber wahrscheinlich in Zukunft kleiner. Auch für mögliche Kontaktlinsen sind viele Anwendungen denkbar. Eine Linse mit einem Display könnte beispielsweise Informationen anzeigen, ähnlich wie in James Bond-Filmen. Solche Technologien könnten helfen, Augenkrankheiten besser zu behandeln. Es gibt viele Möglichkeiten, bis hin zu elektronischen Linsen, die heute Gleitsichtbrillen ersetzen könnten.

Der zweite Bereich ist die Forschung, in der sehr kleine Sensoren benötigt werden, die Messungen durchführen, ohne die Umgebung zu beeinflussen. Wenn man beispielsweise die Temperatur eines kleinen Objekts messen möchte, könnte ein Thermoelement die Messung bereits verfälschen. Deshalb kommen sehr kleine Sensoren zum Einsatz. Das gilt nicht nur für Temperaturmessungen, sondern auch für viele andere Sensoren, die schwer zugänglich sind.

Im Projekt mit den Bienen möchten wir untersuchen, wie sich die Bienen verhalten, wie gefährdet sie durch Umweltgifte sind und wie ihre Leistung gesteigert werden kann. Bienen sind bereits zu einer Art Nutztier geworden, was als Massentierhaltung betrachtet werden kann, und das kann ethisch problematisch sein. Es gibt jedoch gute Überwachungsmethoden, um sicherzustellen, dass das Wohl der Bienen nicht leidet.

Im Gegensatz zu anderen Nutztieren, die fast vollständig unter menschlicher Kontrolle gezüchtet werden, ist dies bei Bienen noch nicht möglich. Die Bienenkönigin trifft in der Luft auf Drohnen, und das lässt sich nur schwer kontrollieren.

Daher ist es wichtig, das Verhalten besser zu beobachten, um zu verstehen, was passiert.

Deshalb benötigen wir Sensoren, die an den Drohnen angebracht werden.

Andererseits werden auch Bienen, Hummeln und andere Insekten als Träger von Messtechnik verwendet. An ihnen sind Sensoren angebracht, die verschiedene Umweltmessungen vornehmen können. Sie fliegen überall herum, über das ganze Land, so dass Tausende von Messungen analysiert werden können, auch mit künstlicher Intelligenz. Dies ist ein weiteres Forschungsgebiet, für das diese kleinen Sensoren gebraucht werden könnten.

Ein dritter Anwendungsbereich, der in Zukunft noch interessanter werden wird, ist die elektronische Hardwaresicherheit. Da Elektronik immer mehr in unseren Alltag integriert ist, wird es auch wichtiger, dass sie nicht manipuliert werden kann. Alle möglichen Prozesse müssen reibungslos funktionieren, deshalb gibt es viele Verschlüsselungssysteme. Die Elektronik muss also absolut sicher und zuverlässig sein. Eine Möglichkeit, aktuelle Verschlüsselungssysteme oder die Schlüssel selbst besser zu schützen, ist Hardware. Man könnte eine dieser superkleinen Batterien an einen integrierten Schaltkreis anschließen, auf dem der Schlüssel gespeichert ist.

Die Batterie kann dann permanent überwachen, ob jemand versucht, den Schlüssel unbefugt auszulesen, und den Schlüssel zerstören. Dies ist Teil eines besonders fälschungssicheren elektronischen Systems und ein realistisches Anwendungsgebiet für diese kleinen Batterien. Bislang haben wir Projekte in zwei dieser Bereiche durchgeführt. Das eine ist für kleine Sensoren in der Forschung, das andere für die Medizintechnik. Wir haben uns auch mit sicherer Elektronik beschäftigt, hatten aber noch kein aktives Projekt in diesem Bereich.

Bei welchen medizintechnischen Projekten am Fraunhofer IZM haben Sie diese Batterien eingesetzt?

Wir hatten bereits ein Projekt für Hörgeräte, die auf dem Trommelfell sitzen. Der Innenwiderstand unseres Akkus war noch etwas zu hoch, denn man wollte, dass sich der Akku möglichst schnell auflädt. Eine gute

Möglichkeit, sie aufzuladen, wäre eine kleine Solarzelle und Infrarotstrahlung. Dazu würde man sich einen Infrarotstecker ins Ohr stecken, um das Gerät aufzuladen. Aber das Unternehmen wollte, dass das Aufladen innerhalb von 15 bis 60 Minuten funktioniert, und das haben wir noch nicht geschafft. Jetzt arbeiten wir daran, den Innenwiderstand und die Schnellladefähigkeit zu verbessern.

Ein weiterer Punkt ist die Kapazität, die geringer wird, wenn der Akku kleiner wird. Deshalb ist es für uns auch wichtig, immer die neuesten Materialien mit der höchsten Energiedichte zu verwenden. Wir arbeiten sehr intensiv daran, die höchstmögliche Energiedichte in unseren kleinen Batterien zu erreichen. Dazu verwenden wir größere oder energiereichere Materialien als die, die heute in normalen Batterien verwendet werden, um den Skaleneffekt auszugleichen, dass sehr kleine Batterien auch weniger Energie speichern können. Das Hörgerät zum Beispiel muss mindestens 12 Stunden halten, bevor es wieder aufgeladen werden muss.

Wird bei der Verwendung neuer Materialien immer die Kostenoptimierung berücksichtigt?

Der Prozess mit der Silizium-Wafer-Produktion ist zwar recht teuer, aber da die Batterien so klein sind, spielen die Materialien eigentlich keine Rolle. Außerdem kann man in der Medizintechnik recht gute Preise erzielen. Diese Vorform des Hörgeräts, in der unsere Batterie in der nächsten Generation zum Einsatz kommen könnte, kostet meines Wissens etwa 80 Euro für eine wiederaufladbare Batterie. Wenn wir Batterien auf Vertragsbasis herstellen, geht es in der Regel um ein paar Tausend Stück. Der Preis pro Akku liegt dann bei 50 bis 100 Euro. Das ist auf jeden Fall akzeptabel. Wir sind ja keine Fabrik, sondern stellen nur Kleinserien und Prototypen her.

Erstveröffentlichung am
13.01.2022

*Mikrobatterie-Linie
am Fraunhofer IZM
© Fraunhofer IZM | Volker Mai*



Highspeed durch optische Signalübertragung: Ist die Leiterplatte der Zukunft aus Glas?

Autor*in: Katja Arnhold

Das Rückgrat unserer digitalen Welt ist aus Glas: ein Netz aus Glasfasern umspannt die Erdkugel und ermöglicht die weltweite Datenübertragung. Auch unser Blick ins Digitale erfolgt oft durch eine Glasscheibe. Über das Glas-Display unserer Smartphones interagieren wir täglich mit der Online-Welt.

Seit fast 20 Jahren arbeitet das Fraunhofer IZM daran, dass Glas bei der Datenübertragung eine noch größere Rolle spielt. Bei der Übertragung von Daten auf kleinen Distanzen im Zentimeterbereich, beispielsweise auf Leiterplatten, kommen bisher elektronische Verbindungen aus Kupfer zum Einsatz. Um für diese kurzen Distanzen genau wie in Glasfasern optische Signalübertragung nutzen zu können, wurde am IZM die elektrisch-optische Leiterplatte (EOCB) erfunden. In enger Zusammenarbeit mit Forschungs- und Industriepartnern wurde ein vollständiger Prozess entwickelt, EOCBs aus Glas herzustellen. *RealIZM* sprach mit Julian Schwietering über den faszinierenden Werkstoff Glas, die Vorteile von elektrisch-optischen Leiterplatten und zukünftige Anwendungsfelder dieser photonischen Aufbautechnik.



Julian Schwietering

+49 30 46403-731
julian.schwietering@
izm.fraunhofer.de

Gruppenleiter »Optical Interconnection Technologies« am Fraunhofer IZM

Die Idee, eine optische Lage in Leiterplatten zu integrieren, wurde 1999 erstmals von Wissenschaftler*innen des Fraunhofer IZM veröffentlicht. Im Jahr 2003 wurde entschieden, Glas als Material für die optische Lage zu verwenden. Die Wellenleiter für diese optische Lage werden mit einem Ionenaustauschverfahren in das Glas eingebracht. Dieser Prozess ist seit den 70er Jahren bekannt, kam jedoch nur auf kleinformatischem Glas zur Anwendung. Ein Team des Fraunhofer IZM hat die Technologie auf großformatiges Dünnglas übertragen, um sie so für Leiterplatten nutzbar zu machen. Bis heute ist das Fraunhofer IZM führend in der Herstellung elektrisch-optischer Leiterplatten auf Formaten bis zu 457 mm x 303 mm.

Wie werden Lichtwellenleiter in Glas integriert? Welche einzelnen Prozessschritte werden dabei durchlaufen?

Antworten auf die Fragen weiß Julian Schwietering, Leiter des Teams EOCB in der Gruppe

»Optical Interconnection Technologies« am Fraunhofer IZM: »Zur Integration der Lichtwellenleiter in Glas ist eine lange Prozesskette notwendig. Diese wurde bei uns für kommerzielle, meist geschlossenen Anlagen im Reinraum, entwickelt. Diesen Prozess sichtbar zu machen, ist mir ein großes Anliegen. So ist auch der nachfolgende Film entstanden.«



[Video auf Youtube](#)



Elektrisch-optische Leiterplatten bringen alle Vorteile mit, die die optische Signalübertragung im Vergleich zur elektrischen Übertragung hat. Zudem verfügen glasbasierte EOCBs über alle Vorzüge, die der Werkstoff Glas besitzt: sehr gute dielektrische Eigenschaften – insbesondere für Hochfrequenz-Anwendungen, sowie eine hohe Dimensionsstabilität, Biokompatibilität und eine hohe chemische Beständigkeit.

»Glas gehört zu den ältesten Werkstoffen der Menschheit. Obwohl es seit Jahrtausenden in verschiedenen Formen eingesetzt wird, sind noch viele Effekte im Glas nicht vollständig verstanden. Das macht es für uns Forschende zu einem spannenden Arbeitsmaterial«, so leitet Schwietering seinen Exkurs über Glas ein.

Glas: Fest und flexibel zugleich

Anders als ein Kristall hat Glas keine Fernordnung. Dank der regelmäßigen Struktur eines Kristalls kann man sich darauf verlassen, dass die Struktur (Gitterzelle) auch nach Millionen Atomen, genauso wieder anzutreffen ist. Das macht Kristalle besser berechenbar. Glas dagegen ist amorph. Seine Struktur besteht aus Ringen unterschiedlicher Größe, die ungleichmäßig angeordnet sind. Viele Theorien aus

der Festkörperphysik funktionieren daher für Glas nicht. Zu den grundlegenden Eigenschaften von Glas besteht nach wie vor viel Forschungsbedarf, berichtet Schwietering: »Auf der diesjährigen Konferenz anlässlich des 100jährigen Bestehens der Deutschen Glas-technischen Gesellschaft kam ein führender Glasforscher zu dem Schluss, dass die Lösung für die bestehenden Herausforderungen in der Theorie des chemischen Härtens von Glas in der Künstlichen Intelligenz liegen. Mit den bisherigen konventionellen Forschungsmethoden kommt man nicht weiter. Es gibt noch viel zu entdecken und Glas hat unglaublich viel Potenzial!« Es ist nicht verwunderlich, dass die UN das Jahr 2022 zum Internationalen Jahr des Glases und ein führender Hersteller von Spezialgläsern sogar das Glas-Zeitalter ausgerufen haben.

Die gläserne Zukunft: Größer, dünner und biegsam

Bei der Herstellung von EOCBs verwendet die IZM-Forschungsgruppe kommerziell erhältliches Borosilikatglas im Halbformat. Dies entspricht in etwa der Größe eines DIN-A3-Blattes und hat eine Dicke von 550 µm. Borosilikatglas ist preisgünstig und im Gegensatz zu teuren Spezialgläsern auch in großen Formaten gut erhältlich.

Elektrisch-Optische Leiterplatte aus Glas

© Fraunhofer IZM / Volker Mai

#Glassubstrate

Handelsübliche Größen von Leiterplatten:

In Vorbereitung
515 mm x 510 mm

Derzeitiger Entwicklungsstand
457 mm x 303 mm

Derzeitige Standardgröße
303 mm x 227 mm

Rechts: Illuminierte
Lichtwellenleiter

© Fraunhofer IZM | Volker Mai

#Photonisch Integrierte Schaltungen

Die Photonik hat sich als wesentliche Säule moderner und effizienter Beleuchtung, ultraschneller Datenübertragung und -verarbeitung sowie moderner Sensorik für Umwelt-, Verkehrs-, Industrie- und Medizinanwendungen etabliert.

2 m
lange Single-mode Wellenleitern wurden in Dünnglas vom Fraunhofer IZM realisiert.

Erstveröffentlichung am
15.12.2022

»Das Fraunhofer IZM ist bisher weltweit das einzige Forschungsinstitut, das so großformatiges Glas elektrisch und optisch funktionalisieren kann«, sagt Julian Schwietering. Von der Lamination von weiteren elektrischen Lagen auf dem Glas bis hin zur Glasbearbeitung, die Forscher*innen verfügen über ein breites Prozesswissen zur Herstellung von Leiterplatten aus Glas. »Unser Ziel ist es, die Glasgröße auf das sogenannte Vollformat zu verdoppeln und zugleich noch dünner zu werden, um flexible EOCBs herzustellen. Die Integration der Lichtwellenleiter funktioniert mittlerweile prozesssicher. Diese Technologie kann jederzeit in die Industrie transferiert werden.«

Die Entwicklungsarbeit ist dennoch lange nicht abgeschlossen. Derzeit wird daran gearbeitet, weitere Funktionen in Glas zu integrieren. »Wir sind dabei Multi-Mode-Interferenzkoppler mit unserem Prozess zu realisieren, um Licht von einem auf mehrere Wellenleiter aufzuteilen. Ferner arbeiten wir daran Charakterisierungsmethoden und die dauerhafte Ankopplung an optische Fasern zu automatisieren. Einen automatisierten Messplatz zur Bestimmung der Einfügedämpfung hunderter Wellenleiter auf einem Panel haben wir bereits entwickelt. Solche Anlagen sind essenziell, wenn die Technologie in der Industrie eingesetzt werden soll«, führt Schwietering dazu aus.

Technologie der Zukunft für Rechenzentren, (autonome) E-Fahrzeuge und Quantentechnologie

Noch werden elektrisch-optische Leiterplatten nicht serienmäßig eingesetzt. Erste mögliche Anwendungsbereiche für die photonische Aufbautechnik sind neben der Telekommunikation die Sensorik und das Quantum Packaging.

»Wir gehen davon aus, dass EOCBs zuerst in Datenzentren und überall dort zum Einsatz kommen werden, wo extrem viele Daten in kürzester Zeit sicher zu verarbeiten sind«, so die Einschätzung des Wissenschaftlers. Bis EOCBs auch in Consumer Produkten notwendig werden, wird es noch eine Weile dauern. Es ist jedoch nur eine Frage der Zeit, bis die elektrische Signalübertragung auch dort an

ihre Grenzen stößt. Neben der höheren Datenrate sprechen noch weitere Vorteile für einen Einsatz in bestimmten Anwendungen. Bei E-Autos spielt die optische Signalübertragung eine zunehmend größere Rolle als bei Verbrennern. Moderne Fahrzeuge ähneln immer mehr einem Supercomputer. Bei einem batteriebetriebenen Auto ist es wichtig, dass die einzelnen Komponenten, die Steuerelemente und alle sicherheitsrelevanten Bauteile galvanisch, also elektrisch isoliert von der Batterie und dem Batteriemangement sind.

Im Fall eines Unfalls oder Schadens dürfen die Sicherheitssysteme nicht durch elektrische Kurzschlüsse zerstört werden. Die Verwendung von Lichtwellenleiter in Glas, die somit keine elektrische Leitung ermöglichen, bringt also hierbei Vorteile in der Sicherheit mit sich.

Aktuell bauen die IZM-Wissenschaftler*innen ein mit 3,39 Mio. Euro von der Europäischen Union und dem Land Berlin gefördertes QuantumPackagingLab am Berliner Standort auf. In dem Labor sollen Quantentechnologien auf Glasbasis weiterentwickelt werden. Mit hochspezialisierten Anlagen wird es den Forschenden unter anderem möglich sein, hermetische Packages aus Glas herzustellen und diese elektrisch und optisch zu funktionalisieren. Auch die Strukturierung von Glas mittels Laser wird weiter vorangebracht und das Beschichten von Glas mit nanometergenaue Schichtdicken wird am Fraunhofer IZM möglich.



Das Fraunhofer IZM ist bisher weltweit das einzige Forschungsinstitut, das so großformatiges Glas elektrisch und optisch funktionalisieren kann. Unser Ziel ist es, die Glasgröße auf das sogenannte Vollformat zu verdoppeln und zugleich noch dünner zu werden, um flexible EOCBs herzustellen.«

Elektrifizierung auf der Überholspur: Wie Siliziumkarbid die Leistungs- elektronik vorantreibt

Autor*in: Katja Arnhold

Neuere Halbleiter-Generationen mit größerer Bandlücke (Wide Band Gap (WBG)) wie Siliziumkarbid (SiC) haben das Potenzial das E-Auto auf die Überholspur zu setzen. Sie zeichnen sich durch einen deutlich höheren Wirkungsgrad im Vergleich zu herkömmlichen Silizium-IGBT-Schaltungen aus und bieten zahlreiche weitere Vorteile wie Temperaturstabilität und geringere Verlustleistung.

Im Interview mit *Rea/IZM* sprach Lars Böttcher, Gruppenleiter »Einbettungs- und Substrattechnologien« am Fraunhofer IZM, über die Herausforderungen des Packings von SiC-Leistungshalbleitern für die Elektrofahrzeugindustrie.

Rea/IZM: Welche Vorteile bieten SiC-Leistungshalbleiter für Elektrofahrzeuge und wo kommen sie hauptsächlich zum Einsatz?

Lars Böttcher: Bisher kommen SiC-Leistungshalbleiter vorrangig in Traktions- und Wechselrichtern von E-Fahrzeugen zum Einsatz. Zum einen um den Gleichstrom der Hochvolt-Batterie in Wechselstrom für die Elektromotoren umzuwandeln. Zum anderen um den Wechselstrom, den E-Fahrzeuge aus dem Ladenetz beziehen, in Gleichstrom für die HV-Batterien umzuwandeln. Beim Batteriemanagementsystem von Elektrofahrzeugen spielen SiC-Leistungshalbleiter derzeit noch keine große Rolle. Aus Kostengründen wird dort nach wie vor auf Siliziumtechnik gesetzt.

Für hocheffiziente Antriebsumrichter mit hoher Leistungsdichte für Elektrofahrzeuge sind SiC-Leistungs-MOSFETs eine sehr gute Option. Kurz gesagt, sie sind effizient, zuverlässig und kompakt. Im Vergleich zu Silizium-IGBT-Schaltungen zeichnet sich Siliziumkarbid (SiC) durch einen deutlich höheren Wirkungsgrad aus. SiC ist zuverlässiger in Bezug auf

Temperaturstabilitäten, ermöglicht höhere Betriebstemperaturen und hat eine höhere elektrische Durchschlagsfestigkeit.

Eine Optimierung des Wirkungsgrads ist nicht nur für die Schaltgeschwindigkeit, sondern auch für eine verbesserte Reichweite und längere Haltbarkeit von Batterien in E-Fahrzeugen von Bedeutung. Ein weiterer entscheidender Vorteil besteht in der geringeren Verlustleistung, die es ermöglicht, die Leistungsdichten deutlich zu reduzieren. Im Motorraum eines Fahrzeuges ist jeder Kubikzentimeter Gold wert. Die Möglichkeit, das Volumen und Gewicht durch Strukturen bei Traktionswechsel- und Regelumrichtern zu minimieren, ist ein Wettbewerbsvorteil.

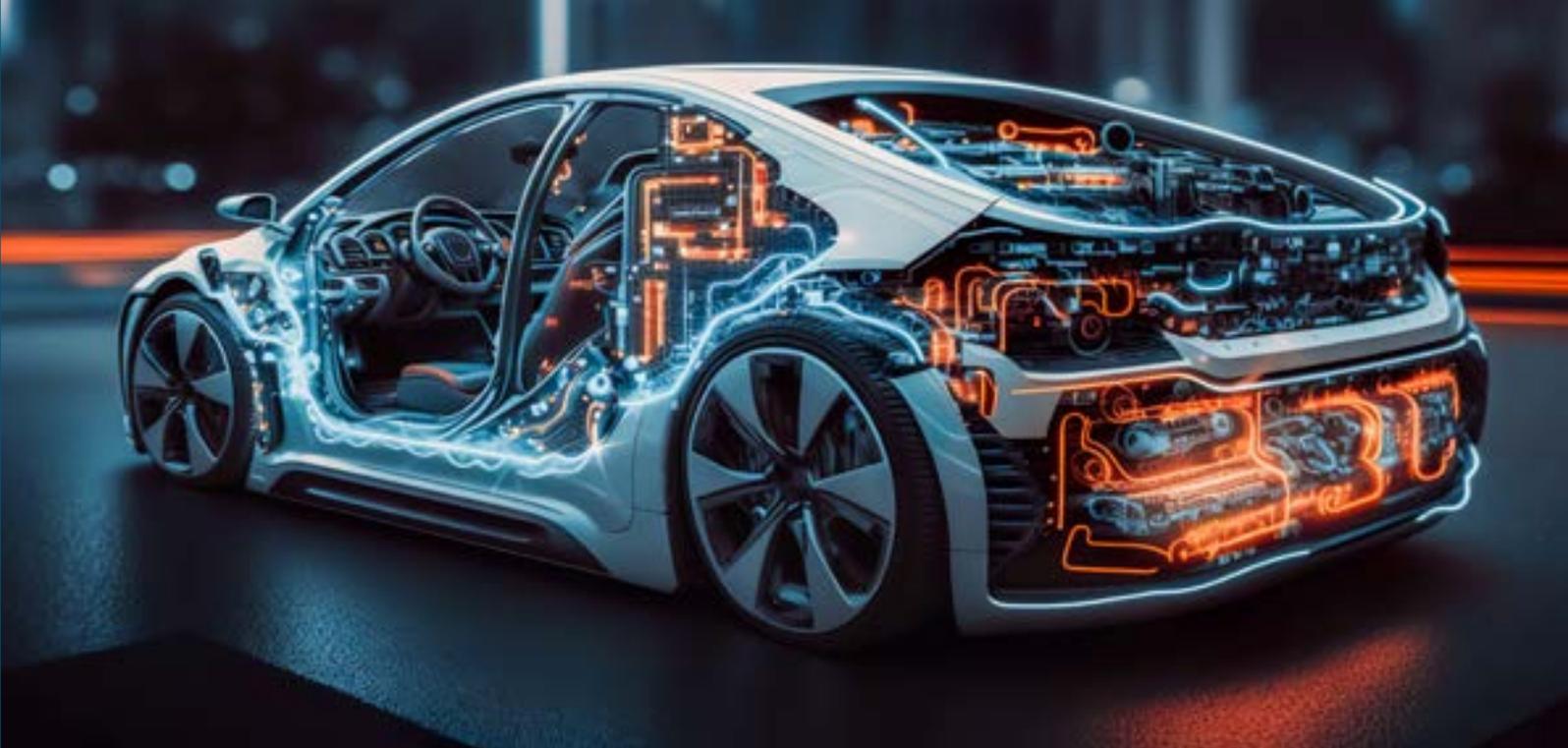
Der hohe Wirkungsgrad von SiC bringt für uns Technolog*innen spannende Herausforderungen mit sich. Die dielektrischen Eigenschaften von SiC wirken sich unter anderem auf die Entwicklung von Gate-Treibern und Schutzvorrichtungen aus. Neben konstruktiven Herausforderungen ist sicherzustellen, dass die Antriebsumrichter eine hochgradige Isolierung von der empfindlichen



Lars Böttcher

+49 30 46403-643
lars.boettcher@
izm.fraunhofer.de

Gruppenleiter »Embedding
and Substrate Technologies«
am Fraunhofer IZM



Niederspannungselektronik der Fahrzeuge bieten. Wo Leistung umgesetzt wird, entsteht Wärme. Die thermische Auslegung von SiC-Modulen im Vergleich zu traditionellen IGBT-Modulen für konkrete Anwendungsbereiche zu verstehen und zu beherrschen, ist essentiell. Wir müssen die Materialien – die elektrische Isolation und den thermischen Pfad – aufeinander abstimmen. Hinzukommt der innovative Ansatz dieser Technologie. Alle den Halbleiter umgebenden Materialien müssen belastbar sein und die einzelnen Bauelemente müssen Temperaturen von bis zu 175 °C über den gesamten Lebenszyklus standhalten.

Welche Rolle spielt die Aufbau- und Verbindungstechnologien (AVT) bei der Funktionalisierung von SiC-Chips?

Salopp formuliert: Ich kann ein Stück Siliziumkarbid nicht einfach in die Steckdose stecken. Chips müssen mittels Aufbau- und Verbindungstechnologien funktionalisiert werden. Dies kann entweder mit klassischen Technologien des Draht-, Bändchen- oder Clipbondens oder auch mittels innovativer Techniken erfolgen wie z.B. dem leiterplattenbasierten Einbetten, der SKiM- oder auch der eMPack-Technologie von Semikron Danfoss.

Die Welt der AVT, in der sich unser Forschungsinstitut seit über 30 Jahren erfolgreich bewegt, ist eine zentrale Schnittstelle zwischen der Wafer-Welt – den Fabs, die die

Wafer bestückt mit Halbleitern herstellen – und dem jeweiligen Anwendungsbereich. Die Fabs liefern die Halbleiter, die ohne die entsprechende AVT für die Tier 1 und für die Fahrzeughersteller zunächst ohne Nutzen sind. Die AVT bildet die Grundvoraussetzung, um aus den Devices Einzelpackages und aus den Einzelpackages wiederum einen Umrichter zu bilden.

In meiner Arbeitsgruppe »Einbettungs- und Substrattechnologien« fokussieren wir auf den technologischen Ansatz. Wir verfügen über langjährige Erfahrung bei der Einbettung von Si-, SiC- und GaN-Chips und eine komplette Prozesslinie auf dem neuesten Stand der Technik. Eine der Stärken am Fraunhofer IZM liegt in der interdisziplinären Zusammenarbeit. Wir kooperieren sehr eng mit der Arbeitsgruppe »Power Electronics Systems« unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Eckart Hoene. Somit können wir für unsere Auftraggeber*innen SiC-Module von der elektrischen Schalttechnik über den Aufbau der Lagen entwerfen.

An unserem Forschungsinstitut gibt es Expert*innen für Materialeigenschaften und Teams, die nach kundenspezifischen Anforderungen Lastwechseltests und Zuverlässigkeitsbewertungen und -untersuchungen wie z.B. Temperaturwechsel von Hochtemperatur und Lagerung durchführen.

Mit jeder neuen Generation der Leistungselektronik werden bessere Funktionalitäten und

*Elektrisch
angetriebenes Fahrzeug
© Limitless Visions – adobe.
stock.com*

> 1 Mio. Belastungszyklen für die Lebens- dauer von Halb- leitern in einer Testreihe

#Leistungselektronik

Die (Energie-)Effizienz von stromverbrauchenden Produkten, von Schaltnetzteilen über Elektro- und Hybridautos und Bahnantriebe bis hin zu großen Industrieantrieben, ist entscheidend.

Alle letztgenannten Technologiebereiche und mehr stützen sich auf die Leistungselektronik, und jeder stellt individuelle Anforderungen an das System, die berücksichtigt werden müssen berücksichtigt werden müssen die beim Schaltungsentwurf und -layout berücksichtigt werden müssen.

Gute Lösungen zur Verbesserung der Energieeffizienz und Miniaturisierung von Wechselrichtern sind Wide Band Gap (WBG)-Halbleiter wie Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN).

niedrigere Kosten ermöglicht. Zugleich werden sie aber auch größere Herausforderungen in Bezug auf die Zuverlässigkeit der Isolierung und das Wärmemanagement mit sich bringen. Bei neuartigen Halbleitern mit extrem hoher Bandbreite werden Standardtests mit starren Prüfverfahren für die Bewertung der (verbleibenden) Lebensdauer nicht (mehr) ausreichen, vielmehr dürften anwendungsspezifische »Einsatzprofile« diesen Tätigkeitsbereich dominieren.

Das Fraunhofer IZM war im Auftrag von Industriekunden und auch im Rahmen von verschiedenen öffentlich geförderten Projekten wie z.B. SiCModul, SiCEfficient und HiEFFICIENT an der Entwicklung und Umsetzung von Embedding-Technologien für Inverterstrukturen in Hochvolt-Traktionsumrichtern für Automotive beteiligt.

Von der Machbarkeitsbewertung für eine neue Technologie bis hin zur konkreten Umsetzung einer Traktionsinverterstruktur prüfen wir die technologische Realisierbarkeit kundenspezifischer Anforderungen in Bezug auf die thermische und elektrische Auslegung. Wir sind in der Lage, Prototypen und in einer überschaubaren Anzahl Muster herzustellen und bei einer schnellen Überführung in eine industrielle Fertigung in Europa mit Kooperationspartnern zu unterstützen.

Warum sind innovative Packaging-Verfahren für SiC-Halbleiter notwendig?

Traditionelle drahtgebundene Module stoßen bei der Leistungsdichte und den elektrischen Eigenschaften sehr schnell an natürliche physikalische Grenzen. Drahtbonds weisen bei aktiven Powerzyklen, bei denen das Bauelement aktiv bestromt und in sehr kurzer Zeit um 100 bis 120 Kelvin aufheizt wird, nur eine begrenzte Lebensdauer auf.

Im Vergleich zu anderen Verbindungstechniken sind Drahtbonds zudem in ihren elektrischen Eigenschaften deutlich eingeschränkter. Das Ausnutzen des schnellen Schaltens und der geringen Verluste erreicht man mit Drahtbonds, bei denen relativ hohe parasitäre Effekte bei den Induktivitäten durch die elektrischen Verbindungen zum Halbleiter selber

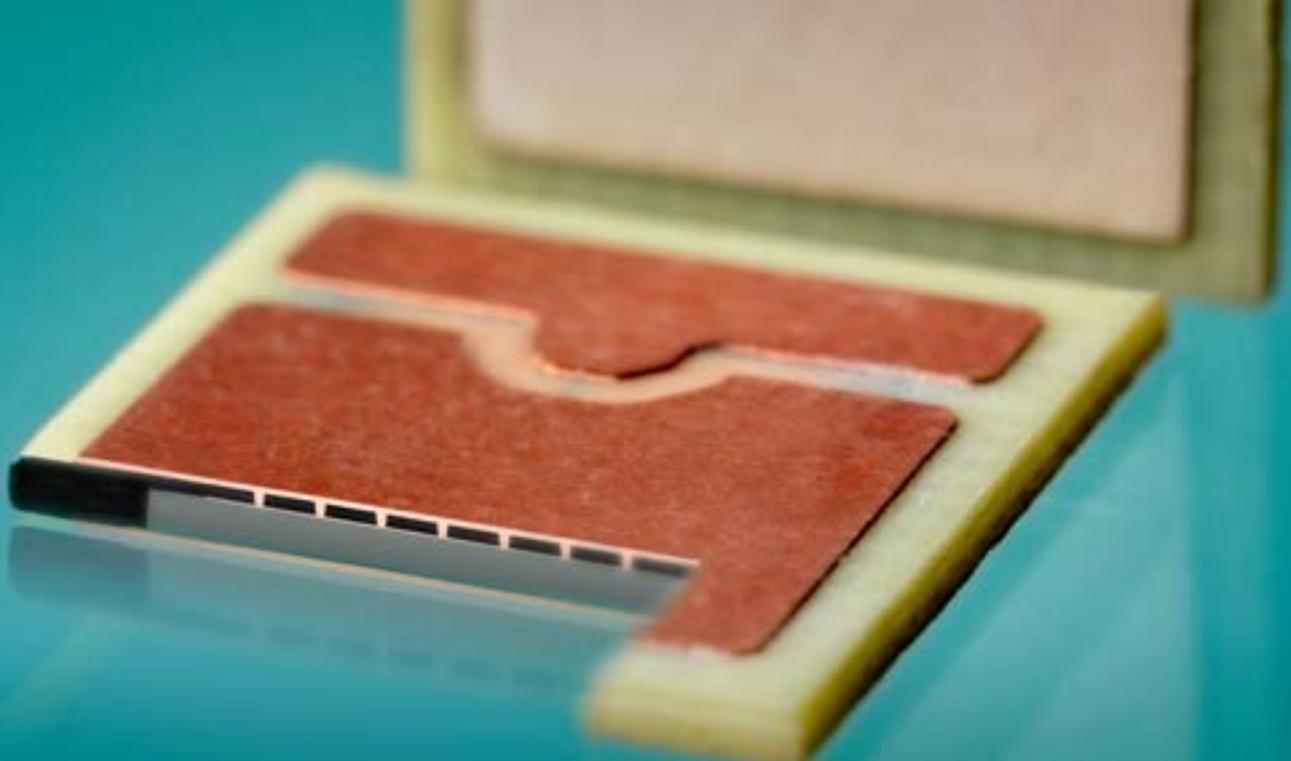
auftreten, nicht. D.h. bestehende Packaging-Verfahren sind entweder an den Werkstoff SiC angepasst weiterzuentwickeln oder die Entwicklung komplett neuer Verfahren ist notwendig.

Tendenziell steht die Entwicklung neuer Methoden im Fokus. Ein Referenzbeispiel aus der Fachliteratur wäre die eMPack Leistungsmodul-Plattform für Automotive von Semikron Danfoss. Hierbei handelt es sich um eine Verdrahtung über ein flexibles Substrat, die mithilfe des Silbersinterns sowohl der Vorder- als auch der Rückseite des Halbleiters gesetzt wird.

Klassische Packaging-Verfahren über Drahtbonds und Rahmenmoduls auf keramischen Substraten sind zweidimensional ausgelegt. Es ist nicht möglich, direkt oberhalb der Halbleiter weitere stromführende Lagen zu integrieren, um zusätzliche Bauteile aufzubringen, die durch die Reduzierung von parasitären Effekten ein verlustärmeres Schalten begünstigen würden.

Für eine dreidimensionale Auslegung kommt unserer Erfahrung nach vor allem die Leiterplatten-Embedding-Technologie (PCB-Embedding-Technologie) in Frage. Wir verzeichnen hierzu auch ein zunehmend großes Interesse bei Tier 1 und OEMs. Mit diesem Verfahren lassen sich die elektrische Leistungsfähigkeit, das Wärmemanagement und die Zuverlässigkeit der Isolierung optimieren sowie die parasitären Effekte und die Schalt- und Durchlassverluste minimieren.

Als Technologie können wir an zahlreichen Stellschrauben ansetzen. Zwei zentrale Aspekte, die für die PCB-Embedding-Technologie sprechen, sind: die signifikante Verbesserung des elektrischen Schaltverhaltens aufgrund der niederinduktiven Anbindung und die deutliche Steigerung der Zuverlässigkeit. Nachweislich führt eine direkte Kupfer-Metallisierung für Siliziumkarbid-Leistungshalbleiter zu einer deutlichen Steigerung der aktiven Lastwechselzyklen und somit auch zur Verlängerung der Lebensdauer. Wir mussten beispielsweise im Rahmen eines Projekts eine Testreihe nach über 1 Mio. Lastwechselzyklen abbrechen. Bei Drahtbonds treten in der Regel bereits nach



zirka 100.000 bis 120.000 Zyklen signifikante Ausfälle auf.

Die Industrie zeigt ein zunehmendes Interesse an eingebetteten SiC-Leistungshalbleitern für elektrische Antriebe mit hoher Leistung insbesondere Traktionsinvertern für hybride und vollelektrische Fahrzeuge. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Eingebettete SiC-Module unterscheiden sich in der Schaltleistung nicht grundsätzlich von drahtgebondeten SiC-Umrichtermodulen. Letztere werden in Fahrzeugen eingesetzt.

Der Unterschied liegt in der Effizienz. Eingebettete SiC-Module weisen verbesserte elektrische Schalteigenschaften auf. Durch die Reduzierung der parasitären Induktivitäten werden Schaltverluste reduziert. Hinzukommt, dass sich Volumen und Höhe der eingebetteten Module und somit auch deren Gewicht minimieren lassen. Die Einsparung von nur ein bis zwei SiC-Halbleitern pro Modul ergeben Kostenvorteile.

Welche Vorteile bietet das Pre-Packaging von SiC-Modulen in Bezug auf die Reduzierung von Verlusten und das Risiko des Ausfalls einzelner Module?

Nehmen wir in einem fiktiven Beispiel an: Ein 3-phasiger Umrichter mit drei Halbbrücken ist mit über 20 SiC-Leistungshalbleitern pro Halbbrücke ausgestattet. Durch den Ausfall bzw. die Beschädigung nur eines dieser SiC-Module

wäre die gesamte Halbbrücke nicht nutzbar. Wirtschaftlich wäre das ein großer Verlust. Um die Ausbeute deutlich zu erhöhen, empfiehlt sich unserer Meinung nach das SiC Pre-Packaging, z.B. auf einer keramischen Isolierung. In den Forschungsprojekten SiCEffizient und DauerPower haben wir mit dieser Methode jeweils Umrichtermodule auf einer Hochstromleiterplatte geformt und mit einer niederinduktiven Anbindung realisiert.

Beim Pre-Packaging werden die SiC-Module analog zu einer kompletten Halbbrücken montiert, dann in das Leiterplattenmaterial eingebettet und mit Mikro-Via-Kupfermetallisierungen nach außen verdrahtet. Als Resultat entstehen zu 100 Prozent robust in das Material verpackte und getestete Einzelchips, die dann entweder auf SMDs oder Hochstromleiterplatten zum Einsatz kommen können. Das Risiko, bei einem fehlerhaften SiC-Modul gleichzeitig über 20 weitere Module zu verlieren, ist mit dem Pre-Packaging-Ansatz gering. Ein Nachteil, der nicht unerwähnt bleiben sollte, ist, dass die Reduzierung des Volumens und die Höhe der Leistungsdichte beim Pre-Packaging eingeschränkt sind.

Welche weiteren Entwicklungen und Forschungen sind in Bezug auf alternative Halbleitermaterialien mit großer Bandlücke zu erwarten?

Neben seinen elektrischen Eigenschaften hat SiC den Vorteil, dass es sich hervorragend

*Innenansicht eines Power Chip Scale Packages mit eingebettetem SiC-Leistungs-MOSFET
© Fraunhofer IZM | Volker Mai*

*Innenansicht eines 90A
Embedded Power Moduls
(HHK-Projekt)*

© Fraunhofer IZM | Volker Mai

für Hochvolt-Anwendungen im Automotive-Bereich eignet. So ermöglicht ein 1200-V-SiC-MOSFET einen sehr effizienten Betrieb bei Batteriespannungen im Bereich von 850 V. GaN-Halbleiter hingegen kommen bisher überwiegend im niedrigeren Voltbereich mit Kleinstspannungen beispielsweise in Hochleistungs-ladegeräten für Handys, die bis zu 100 Watt schalten, zum Einsatz. Vereinzelt sind GaN-Halbleiter für Anwendungen im Bereich von 850 Volt verfügbar. Das Thema 1.200 Volt befindet sich jedoch noch in der Entwicklungsphase. Sollte es zukünftig derartige Halbleiter auf Basis von GaN geben, wären sie eine gute und preiswerte Alternative zu SiC.

Zu alternativen Halbleitermaterialien mit großer Bandlücke wie z.B. synthetischem Diamant, Galliumoxid (Ga_2O_3) und Aluminiumnitrid (AlN) wird ebenfalls geforscht. Serienreife Halbleiter wurden nach unserer Kenntnis bisher noch nicht realisiert.

Welche Prognosen gibt es für den Markt von SiC-Halbleitern und wie hat sich die Nachfrage in den letzten Jahren entwickelt?

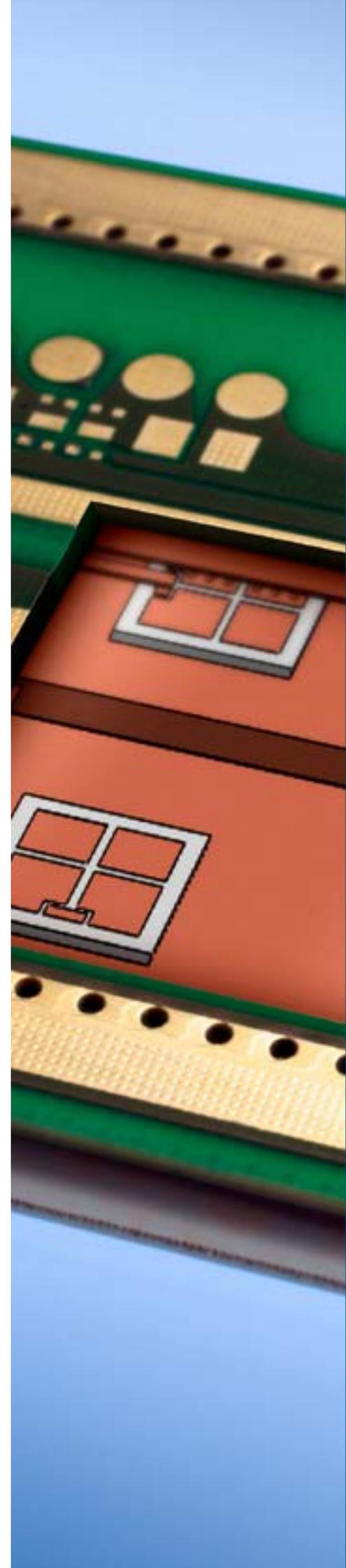
Die SiC-Technologie ist ausgereifter geworden. Dennoch besteht die Herausforderung, dass der Einzelkristall auch unter optimalen Züchtungsbedingungen nach wie vor sehr viele Defekte aufweist. Die Hersteller sind auf einem guten Weg, die Ausbeute pro Wafer zu steigern und die Produktionskosten zu reduzieren. Die Nachfrage nach SiC ist höher als die vorhandenen Produktionskapazitäten zulassen.

Die Halbleiterhersteller investieren daher immens in bestehende und neue Standorte für die Wafer-Produktion, um Formate von mindestens 150 mm und 200 mm Durchmesser fertigen zu können. Yole prognostiziert für SiC ein Marktvolumen von zirka 1,5 Milliarden US-Dollar für das Jahr 2022. Für 2027 wird von einer Vervierfachung des Volumens auf über 6 Milliarden US-Dollar ausgegangen.¹

Erstveröffentlichung am
18.01.2024

Quelle:

¹ Market and Technology Report - Power SiC 2022, Yole





Der Schlüssel für den Erfolg von SiC liegt im Packaging der Halbleiter. Um von seinen Vorteilen vollumfänglich profitieren zu können, reichen Standard-Packaging-Verfahren nicht aus.«