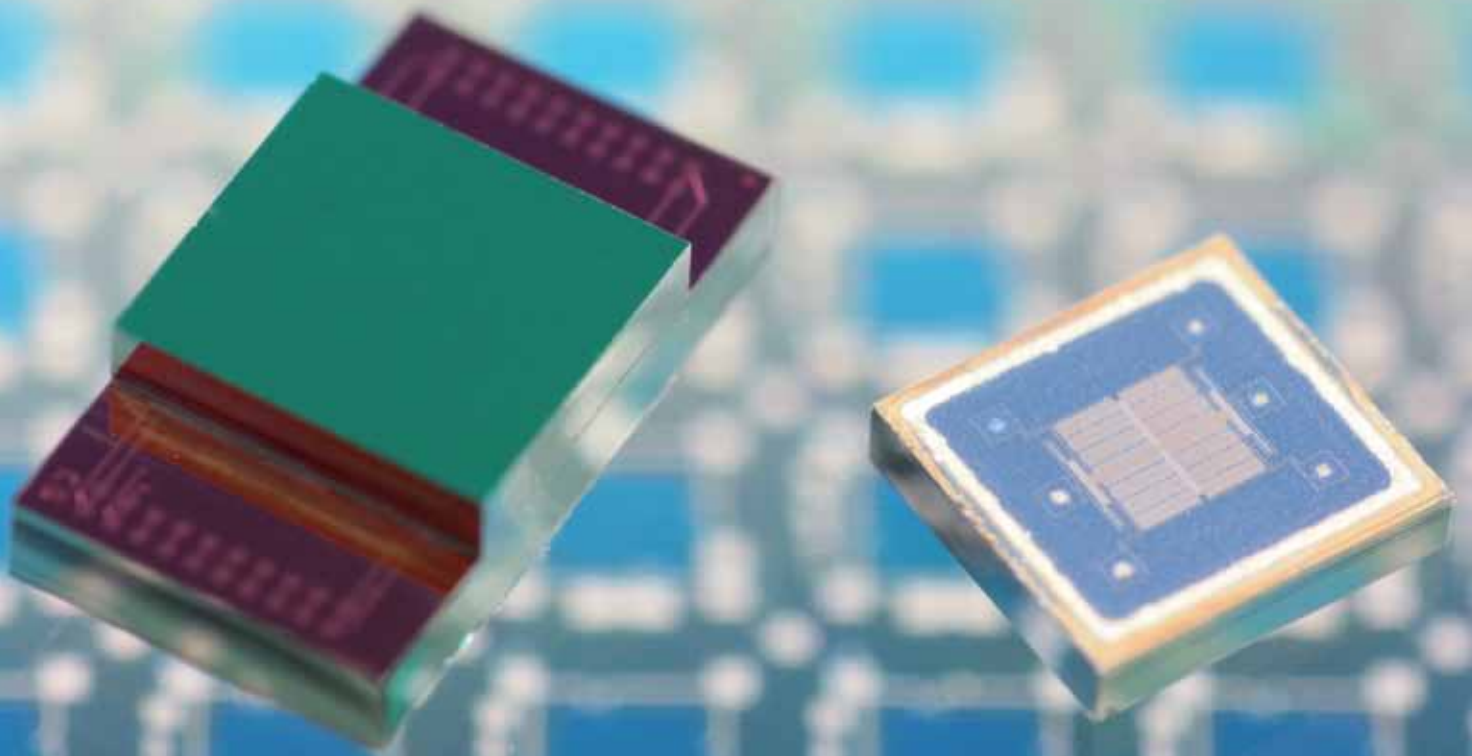
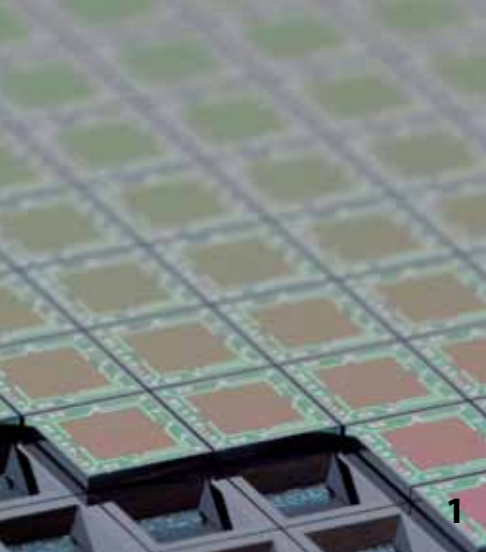


SYSTEM PACKAGING

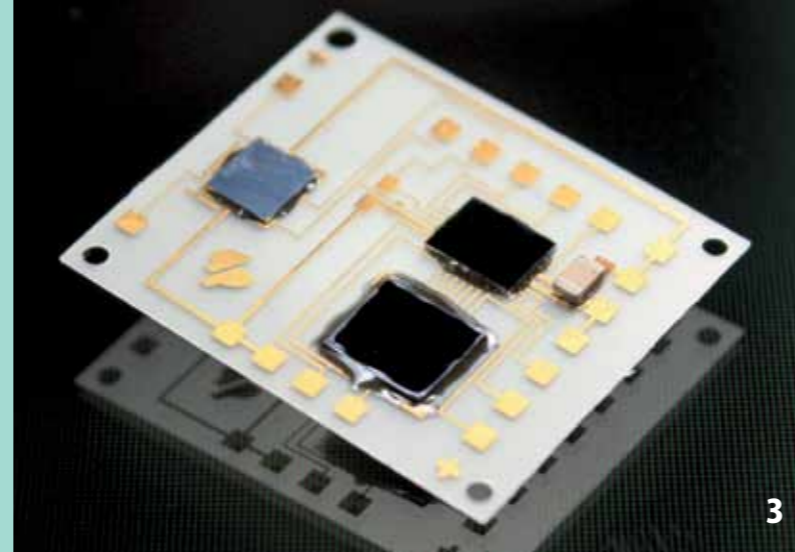




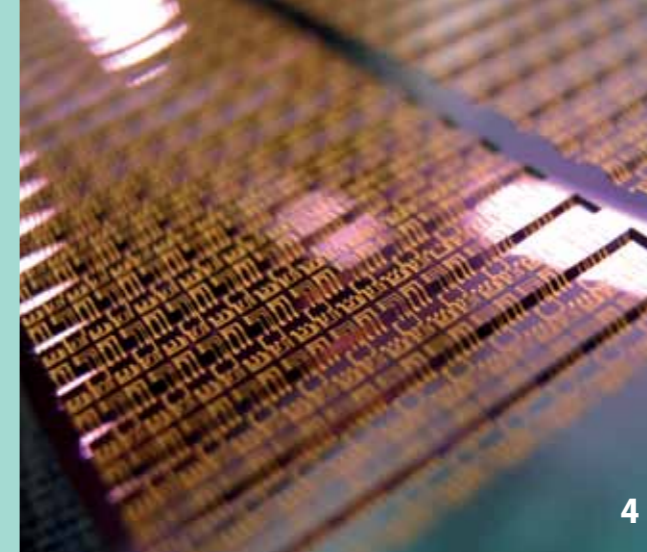
1



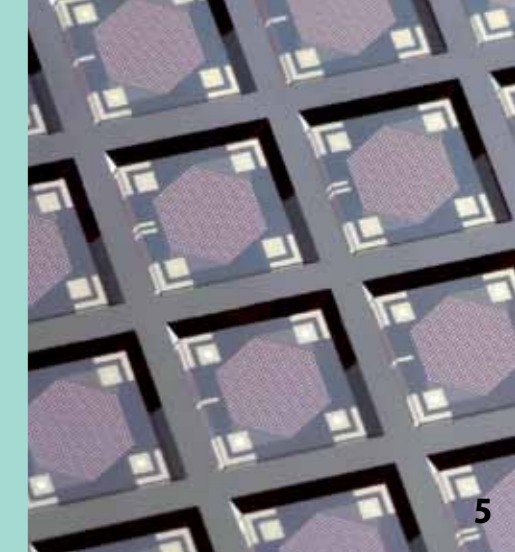
2



3



4



5

Die gegenwärtigen Entwicklungen der Mikro- und Nanotechnologie sind faszinierend. Unbestritten spielen sie heutzutage eine Schlüsselrolle bei Produktentwicklungen und dem technischen Fortschritt. Mit einer großen Auswahl verschiedener Komponenten, vielfältiger Technologien und Materialien ermöglichen sie die Integration von mechanischen, elektrischen, optischen, chemischen, biologischen und anderen Funktionen in ein einziges System auf kleinstem Raum.

Das Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS in Chemnitz ist spezialisiert auf Forschung und Entwicklung im Bereich Smart Systems Integration unter Nutzung von Mikro- und Nanotechnologie gemeinsam mit Partnern aus Deutschland, Europa und weltweit. Abgeleitet von zukünftigem Bedarf der Industrie bietet das Fraunhofer ENAS Dienstleistungen in folgenden Bereichen:

- ▶ Entwicklung, Design und Test von MEMS und NEMS (mikro- und nano-elektro-mechanischen Systemen),
- ▶ Packaging von MEMS und NEMS auch auf Wafer Ebene,
- ▶ Metallisierungs- und Interconnectsysteme für Mikro- und Nanoelektronik sowie 3-D-Integration,
- ▶ Neue Sensor- und Systemkonzepte unter Einsatz innovativer Materialsysteme,
- ▶ Integration von gedruckten Funktionalitäten in Systemen,
- ▶ Zuverlässigkeit und Sicherheit von Mikro- und Nanosystemen.

Im Mittelpunkt der angewandten Forschung der Abteilung System Packaging stehen vielfältige Technologien sowohl zur Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) von MEMS und NEMS in verschiedenen Stufen der Packaging-Hierarchie als auch zur Mikro- und Nanostrukturierung von Oberflächen in der Mikrosystemtechnik. Neben verschiedenen Waferbondverfahren wie Siliziumdirektbonden, anodischem, eutektischem, adhäsivem und Glas-Fritte-Bonden werden Verfahren wie laserunterstütztes Bonden, reaktives Bonden sowie Niedertemperatur- und Thermokompressionsbonden untersucht und für spezielle Anwendungsbereiche weiterentwickelt. Alle Waferbondverfahren werden auf ihre Verbindungsqualität, Festigkeit und Dichtheit charakterisiert, um damit ihre Eignung für die Anwendung sicherzustellen.

Die Kompetenz der Abteilung System Packaging schließt das Vereinzeln und das Chip- und Drahtbonden ebenso ein wie Technologien zur Integration komplexer, miniaturisierter und auch intelligenter Systeme. Die Möglichkeiten der Integration sind vielfältig, angefangen von hybrider Integration der Komponenten auf anwendungsspezifischen Substratträgern über die Integration von elektronischen, sensorischen und aktorischen Komponenten auf einem Siliziumsubstrat (Interposer) hin zur vertikalen Integration, also dem Stapeln in die dritte Dimension auf Chip- und Wafer Ebene. Neben der Funktionalität und Zuverlässigkeit stellen die Miniaturisierung und die Integration die größten Herausforderungen für den Technologietrend „More-than-Moore“ dar. Die Abteilung System Packaging trägt mit ihren Arbeiten wesentlich zur Umsetzung dieser Entwicklungsrichtung in neue, kundenspezifische Anwendungen bei.

MEMS-Packaging und 3-D-Integration

Die Bedeutung des MEMS-Packaging lässt sich an dessen Kostenanteil bei der Herstellung eines Mikrosystems ableiten. Hier können zwischen 20 und 95 Prozent anteilige Kosten entstehen, wobei die große Spanne den anwendungsspezifischen Forderungen geschuldet ist. Das MEMS-Package muss den erwünschten, zu messenden Medien, wie Flüssigkeiten, Gase oder Licht, einen Zugang erlauben aber gleichzeitig unerwünschte Einflüsse von außen abschirmen und die Funktionalität langfristig gewährleisten. Heute verfügbare Packaging-Technologien werden nicht nur an passiven Elementen wie Inertial- oder Gassensoren angewandt, sondern auch für aktive Elemente wie Mikrospiegel und Druckköpfe verwendet. Im Hinblick auf die weiter fortschreitende Systemintegration können auch elektronische Komponenten in das MEMS-Packaging einbezogen werden.

Neben der Integration auf Wafer Ebene und der hybriden Integration auf Chipebene werden Integrationstechnologien in die dritte Dimension entwickelt. Die 3-D-Integration bietet große Potenziale hinsichtlich Verringerung der Chipfläche und Verbesserung der Signalqualität. Bei solchen vertikalen Stapeln sind besonders die Auswirkungen der einzelnen Verbindungstechnologien auf Materialien aber auch auf das elektrische und thermische Verhalten des Gesamtsystems zu beachten. Für die Charakterisierung und Evaluierung der Technologien hinsichtlich Dichtheit und Festigkeit stehen unterschiedliche Messgeräte und Bewertungsrichtlinien zur Verfügung.

Die folgenden Schwerpunkte beschreiben die Arbeiten der Abteilung auf dem Gebiet des MEMS-Packaging:

- ▶ Wafer-Level-Packaging und MEMS-Packaging
- ▶ 3-D-Integration mit Durchkontaktierungen (Through Silicon Via - TSV)
- ▶ Wafer-, Chip- und Drahtbonden
- ▶ Nanoimprint-Lithographie und Heißprägen
- ▶ Aerosol-Jet- und Siebdruck
- ▶ Sprühbeschichtung und Aufschleudern
- ▶ Vereinzeln durch Trennschleifen
- ▶ Schichtabscheidung durch PLD, PVD und ECD
- ▶ Oberflächenaktivierung durch CMP und Plasma
- ▶ Elektronische Sondersubstrate, Interposer, Bondwafer
- ▶ Elektrische, mechanische, thermische Kontaktierung
- ▶ Charakterisierung (Hermetizität, Festigkeit, Ultraschall- und IR-Mikroskopie, REM, FIB, EDX)

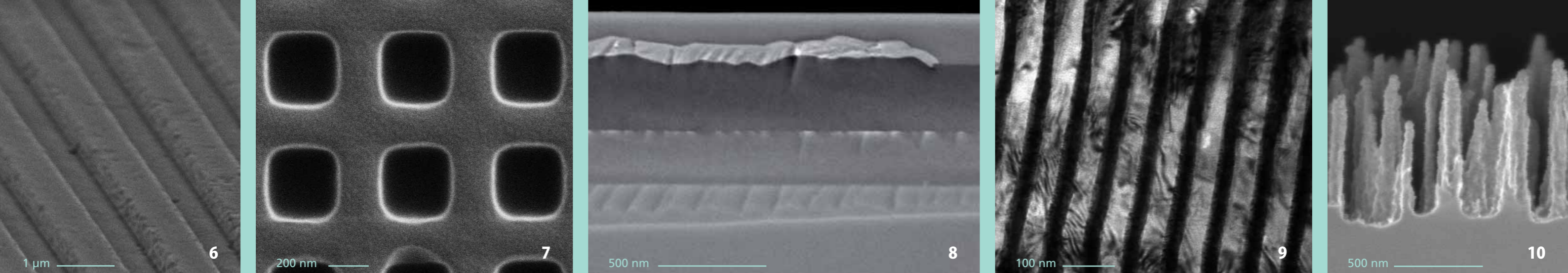
Abb. 1: Auf Wafer Ebene gebondete Drucksensoren (in Kooperation mit Aktiv Sensor GmbH)

Abb. 2: MOEMS-Packaging (in Kooperation mit RICOH, Ltd.)

Abb. 3: Hybridintegration auf flexiblem Substrat

Abb. 4: Silizium-Interposer mit Umverdrahtung auf Waferlevel

Abb. 5: Kapazitives, mikromechanisches Ultraschallwandler-Array



Waferbonden

Unter dem Begriff Waferbonden werden alle Fügeverfahren verstanden, die zwei oder mehrere Wafer mit und ohne Zwischenschicht verbinden. Standardverfahren wie das Siliziumdirektbonden, das anodische, eutektische, adhäsive und das Glas-Fritte-Bonden werden eingesetzt, aber auch von der Abteilung System Packaging anforderungsspezifisch weiterentwickelt. Forschungsschwerpunkte sind Niedertemperatur-Bondverfahren mit Prozesstemperaturen kleiner 200 °C. Darüber hinaus stellen Nanoskaleneffekte ein bedeutendes Forschungsgebiet für die Verfahren dar. Beispiele hierfür sind das reaktive Bonden mit nanoskaligen Multischichten oder auch die Schmelztemperaturniedrigung bei nur wenigen Nanometer dünnen Zwischenschichten. Mit dem laserunterstützten Bonden steht ein selektives Bondverfahren ohne Temperatureinfluss auf die Funktionskomponenten zur Verfügung. Ein Thulium-Faserlaser mit einer Wellenlänge von 1908 nm erlaubt das Bonden im für Silizium transparenten Bereich unter Nutzung spezieller Absorberschichten.

Weitere Ansätze für Technologieentwicklungen sind durch die zunehmende Materialvielfalt in der Mikrosystemtechnik gegeben. Insbesondere Kunststoffe, Metalle und Keramiken werden derzeit intensiv untersucht, um Aspekte wie Temperatur- und Medienbeständigkeit oder auch niedrige Kosten in die Produktentwicklung einzubeziehen. So wird beispielsweise das Polymerfügen mit dem Ziel einer dichten und ganzflächigen Verbindung von Kunststoffen untersucht. Hinzu kommen Forschungsarbeiten auf den Gebieten des Thermokompressionsbondens und der direkten Integration von Funktionskeramiken.

Diese Verbindungstechnologien werden für die Waferlevel-integration von elektronischen, mikromechanischen oder optischen Komponenten angewendet und im Hinblick auf ihre Prozessparameter, Ausbeute und Festigkeit fortwährend optimiert. Für das Bonden auf Waferebene steht eine vollständige Reinraum-Präparationslinie einschließlich automatischer Bondauftragsbearbeitung sowie Charakterisierungsausrüstung für die Bearbeitung von 4- bis 8-Zoll-Substraten zur Verfügung.

Nanoskaleneffekte

Um Nanoeffekte für das MEMS-Packaging nutzen zu können, werden in der Abteilung Untersuchungen zu nanoskaligen Zwischenschichten und Schichtsystemen durchgeführt, die mit Verfahren wie PLD, PVD und Aerosol-Jet abgeschieden werden können. Während mit PLD und PVD auch flächige Nanoschichten und Multistapel metallischer, keramischer, oxidischer, organischer Materialien oder Halbleiter abgeschieden werden können, werden beim Aerosol-Jet-Printing Tinten verwendet, die Nanopartikel enthalten. Diese Nanopartikel können nach weiterer Bearbeitung als leitfähigen Verbindungen aber auch als Materialkombinationen, Schichtstapel und Bondzwischen-schichten verwendet werden. Zudem werden Oberflächen- und Materialeffekte anhand metallischer Nanostrukturen untersucht und charakterisiert. Diese Nanostrukturen werden für neue Verbindungsverfahren auf Chip- und Waferebene eingesetzt. Ziel dieser Verfahren ist eine feste und hermetisch dichte Verbindung bei möglichst geringem Wärmeeintrag in das System.

Imprint-Technologien

Das maßgebliche Verfahren für die Nanostrukturübertragung ist die Nanoimprint-Lithographie (NIL), mit der Strukturen bis in den einstelligen Nanobereich realisierbar sind. Das Abformen dieser Mikro- und Nanostrukturen erlaubt die präzise Formgebung von optischen und fluidischen Strukturen mittels eines Masterwerkzeugs. Es kann prinzipiell zwischen Heiß- und Kaltprägeverfahren unterschieden werden, wobei die Prozesstemperatur beim Heißprägen von Gläsern, ungesinterten Keramiken und Thermoplasten über der Glasübergangstemperatur des jeweiligen Materials liegt. Die Forschungsarbeiten der Abteilung schließen neben der Prägeprozessentwicklung auch den Entwurf und die Herstellung von Siliziummastertools, bei Bedarf mit Antihaftbeschichtung ausgestattet, Tools mit strukturiertem Fotoresist oder Silikon (PDMS - soft tools) und galvanisch abgeformte Nickeltools (UV-LIGA) ein.

Oberflächenmodifikation

Beim Fügen von Substraten kommt der Oberflächenbeschaffenheit eine große Bedeutung zu. Während bei relativ dicken Zwischenschichten, wie Glaspaste oder Epoxy, die Rauheit der Oberflächen eine untergeordnete Rolle spielt, ist bei zwischenschichtfreien Verfahren der atomare Kontakt der Fügepartner von entscheidender Bedeutung. Anodische Bondverfahren erfordern Oberflächen mit einer Rauheit $R_a < 1$ nm. Für andere Verfahren ist die Vorbehandlung durch spezielle Prozesse, wie Plasmaaktivierung oder Hydrophilisierung, bedeutend.

Neben einer nasschemischen Wafervorbehandlung kann durch chemisch-reaktive Plasmaentladungen die Festigkeit von direkt gebondeten Materialverbänden gesteigert werden. Bei dieser Vorbehandlung, die sowohl ganzflächig als auch lokal möglich ist, können bei Auslagerungstemperaturen von lediglich 200 °C ähnlich stabile Bondverbindungen wie beim Hochtemperaturbonden erreicht werden. Dementsprechend können hiermit neuartige Materialien sowie bisher nicht bondbare, heterogene Materialpartner wie Lithiumtantalat und Silizium miteinander verbunden werden.

Chemisch-mechanisches Polieren (CMP) wird sowohl für die Mikrosystemtechnik als auch im Bereich der 3-D-Integration entwickelt und angewendet. Wesentliche Herausforderungen und Untersuchungsgegenstände für das CMP sind die extremen Verhältnisse von Strukturabmaß zu Strukturabstand sowie vielfältige Materialien. Neben dem CMP von Aluminium,

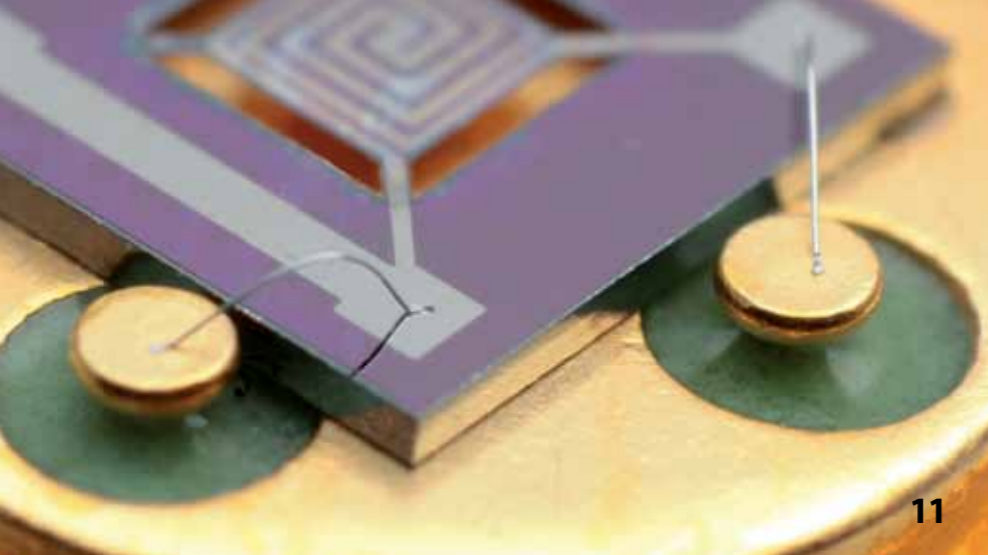
Abb. 6: Submikrometer-Resiststrukturierung mittels Mikroprägen

Abb. 7: Nanostrukturen hergestellt mittels Nanoimprint-Lithographie (UV-NIL)

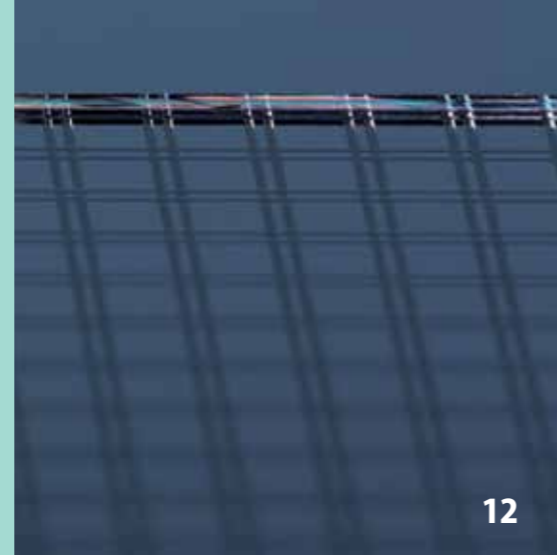
Abb. 8: Planarisiertes SOMI-Substrat (Silizium auf Metall und Isolator) mit vergrabener Silizidschicht

Abb. 9: Nanoskaliger Mehrschichtaufbau für das Waferbonden

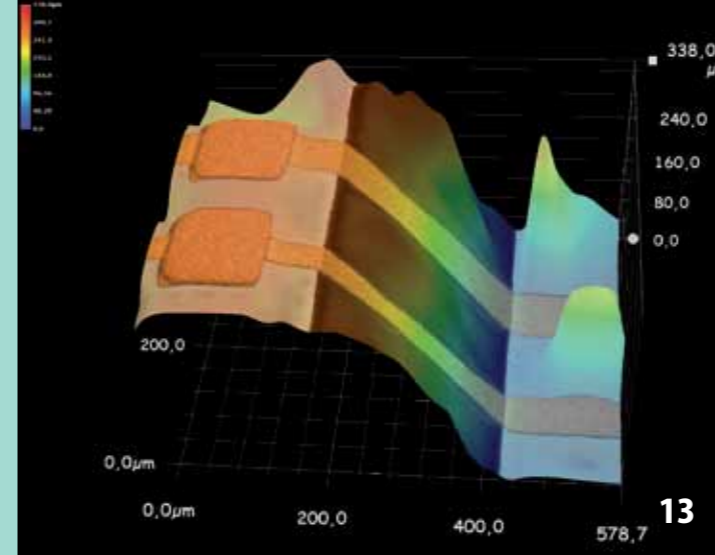
Abb. 10: Nanoskalige Oberflächenstrukturierung für das Waferbonden



11



12



13



14

Kupfer oder Germanium, das für Prozesse der 3-D-Integration untersucht wird, können auch Silizium und Siliziumdioxid chemisch-mechanisch poliert werden. Dies spielt beispielsweise eine bedeutende Rolle bei der Herstellung neuartiger SOI-Substrate mit vergrabenen Silizidschichten, die für Bauelemente der BiCMOS-Technologie und für Hochtemperaturanwendungen benötigt werden.

Aerosol-Jet- und Siebdrucken

Aerosol-Jet-Drucken erlaubt es, mittels eines additiven Prozesses eine Vielzahl von Materialien auf unterschiedliche Substrate ohne herkömmliche Masken- oder Dünnschichttechnologien abzuscheiden. Neben dem Drucken von Polymeren, Klebern und bio-relevanten Materialien können mit dem Aerosol-Jet-System auch elektrisch leitende sowie andere funktionale Materialien abgeschieden werden. Die abgeschiedenen Schichtbreiten liegen zwischen 10 µm und 300 µm. Ein integrierter Laser ermöglicht das Verdichten bzw. Sintern der abgeschiedenen Schichten und verbessert somit die Leitfähigkeit und die Reproduzierbarkeit der Schichteigenschaften. Mit zwei Atomizern und zwei Druckköpfen ist außerdem das Drucken verschiedener Materialien möglich.

Zur selektiven Strukturierung von Zwischenschichten für das Waferbonden wird das Siebdrucken eingesetzt. Über ein flexibles Sieb können verschiedene pastöse Materialien auf ein Substrat gerakelt werden, wobei die Strukturgrößen im Wesentlichen vom Sieböffnungsgrad, von der Maschenweite und der Dicke des Siebes sowie von der Zusammensetzung der Paste abhän-

gen. Aktuelle Untersuchungen werden zu minimal druckbaren Strukturgrößen durchgeführt. Mit der zur Verfügung stehenden Anlagentechnik können Glas-Fritte-Pasten für das Waferbonden aber auch andere Hilfsmittel wie Lotpasten oder keramische Kleber auf Substrate bis zu einer Größe von 250 mm x 250 mm unter Reinraumbedingungen gedruckt werden.

Chipbonden

Auf Packaging-Level I werden vereinzelte Chips auf einen Substratträger oder in ein Gehäuse montiert. Als Verbindungsmaterialien werden Epoxidharze, keramische Kleber und Pasten sowie eutektische Lote und Lotlegierungen genutzt. Neben diesen konventionellen Verfahren wird zudem ein neuartiges Raumtemperatur-Fügen mit interner Wärmequelle angewendet. Haupteinsatzgebiet ist die Prototypenfertigung von mikromechanischen Sensor- und Aktorsystemen. Die verfügbare Ausstattung erlaubt die flexible Umsetzung aller modernen Aufbautechnologien wie Flip-Chip-Bonden (FC) und Oberflächenmontage (SMD). Eine X-Y-Finpositionierung auch für 8-Zoll-Wafer erlaubt das präzise Aufsetzen der Chips und damit ein hohes Integrationsniveau.

Charakterisierung

Begleitend zur Technologieentwicklung werden alle Aufbau- und Verbindungstechniken charakterisiert und messtechnisch bewertet. Dafür stehen in Zusammenarbeit mit anderen Abteilungen des Fraunhofer ENAS Zug-, Druck- und Schertests einschließlich optischer Bildverarbeitung, elektrische Tests sowie Klima- und Temperaturtests zur Verfügung. Insbesondere die Waferbond-

verfahren werden auf ihre elektrische und mechanische Verbindungsqualität, Festigkeit und Dichtheit charakterisiert. Hierbei kommen Untersuchungsmethoden wie Infrarot-, Ultraschall- und Rasterelektronen-Mikroskopie einschließlich FIB und EDX zum Einsatz. Die Proben werden für die jeweilige Untersuchungsmethode speziell aufbereitet und können gebrochen, geschliffen und vergossen werden. Mittels Maszara-Blade-, Micro-Chevron- und Schertests wird die Festigkeit bestimmt. Die Dichtheit der gebondeten Wafer oder Chips wird mit Lecktests (Helium, Lachgas) bis zu einer Auflösung von 1×10^{-11} mbar/l/s charakterisiert oder mit integrierten resonanten Strukturen elektrisch bewertet.

Service und Equipment

Mit der verfügbaren Ausstattung ist es möglich, Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen im Direktauftrag oder als „Second Source“ für unsere Kunden zu bearbeiten sowie die Prototypenfertigung zu übernehmen. Ein wesentlicher Vorteil ist hierbei, dass Technologien und Prozesse flexibel und an die jeweiligen Anforderungen angepasst, zusammengestellt und durchgeführt werden können.

Wir bieten folgende Dienstleistungen an:

- ▶ Forschungs- und Entwicklungsaufträge
- ▶ geförderte Projekte und Förderberatung
- ▶ Prozess- und Technologietransfer
- ▶ strukturierte und gebondete Substrate
- ▶ Machbarkeits- und Marktstudien
- ▶ Seminare und Trainings
- ▶ Technologieberatung.

Zur Entwicklung der beschriebenen Prozesse und Technologien steht folgende Ausrüstung für Wafergrößen von 4 bis 8 Zoll zur Verfügung:

- ▶ CMP IPEC 472
- ▶ Cleaner Suss CL 200
- ▶ Bondaligner Suss BA8 und EVG6200NT (NIL)
- ▶ Substratbender EVG540, Suss SB6 und SB8
- ▶ Siebdrucker R29 Spectrum und MV100
- ▶ Aerosol-Jet-System 300CE
- ▶ Spin- und Sprühbelackler
- ▶ Creamet 600 S/PLD
- ▶ Chipbender Tresky T-3002-FC3
- ▶ Drahtbender FEK Delvotec 5450
- ▶ Hochtemperatur-Rohröfen Centrotherm
- ▶ Plasma- und Laser-Tools
- ▶ Wafersäge Disco DFD 6340
- ▶ Mikroskope (VIS, IR, US, REM)
- ▶ Tira-Test 2805 (Zug-, Druck-, Schertester)
- ▶ Micro-Chevron-Tester
- ▶ GOM Aramis Messsystem mit Bilderfassung.

Abb. 11: Aufbau und Kontaktierung eines Infrarot-Emitters (in Kooperation mit Siegert TFT GmbH)

Abb. 12: Siebgedruckte Glaslot-Strukturen

Abb. 13: Analyse einer Leitbahnmetallisierung über eine 300 µm tiefe Silizium-Ätzschräge

Abb. 14: MHz-Ultraschallreinigung vor Waferbonden

Kontakt:

Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS
Abteilung System Packaging

Technologie-Campus 3
09126 Chemnitz

Leiter der Abteilung System Packaging:

Dr. Maik Wiemer

Telefon: 0371 45001-160

Fax: 0371 45001-333

E-Mail: maik.wiemer@enas.fraunhofer.de

Internet: <http://www.enas.fraunhofer.de>

Titelseite:

Quasimonolithische Integration von ASIC und MEMS

Bilder: Fraunhofer ENAS, Andreas Morschhauser