

PRESSEINFORMATION

28. September 2022 || Seite 1 | 5

Laserbasierte Siliziumkristallisation für die monolithische Integration bei MEMS-Sensoren

Mikro-elektromechanische Systeme (MEMS) haben sich als Sensoren milliardenfach u. a. in smarten Autos, Handys und Mini-Insulinpumpen bewährt: Damit diese MEMS künftig noch leistungsfähiger werden, haben Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT aus Aachen in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISIT und IST ein CMOS-kompatibles Beschichtungs- und Laserkristallisationsverfahren entwickelt. Im Gegensatz zu sonst üblichen Verfahren entfallen hierbei Drähte und Lötstellen, was perspektivisch die Bauteilgröße deutlich senken und die Sensorleistung erhöhen kann.

Sichere und zuverlässige Autofahrten verdanken wir MEMS-Sensoren, die viele Schlüsselparameter des Fahrzeugbetriebs erfassen. Sie ermöglichen die Steuerung vieler Fahrzeugsysteme wie Airbags, Antiblockiersysteme oder elektronische Stabilitätsprogramme. Zur Messung von Beschleunigungen etc. sind MEMS-Inertialsensoren zu Milliarden auch in Consumer-Produkten wie Smartphones, -watches, Quadrocoptern usw. eingebaut. Damit die MEMS-Sensoreinheiten diese Aufgaben zuverlässig und prozesssicher bewältigen können, werden sie mit einem elektronischen, anwendungsspezifischen, integrierten Schaltkreis (ASIC) kombiniert, der auf einer Silizium-Trägereinheit (Wafer) sitzt.

Weil die Umgebungstemperatur in der Nähe des integrierten Schaltkreises mit seinen temperaturempfindlichen CMOS-Transistoren jedoch 450°C nicht überschreiten darf, werden MEMS-Sensoren aus kristallinem Silizium aufgrund der konventionell hohen Herstellungstemperaturen zunächst separat hergestellt. Anschließend folgt das Kontaktieren mit dem Schaltkreis via Draht- und Lötverbindungen oder Waferbondverfahren. »Die konventionelle Verbindungstechnik benötigt jedoch relativ viel Platz und verhindert eine weitere Miniaturisierung der MEMS«, erklärt Florian Fuchs, wissenschaftlicher Mitarbeiter der Gruppe Dünnschichtverfahren am Fraunhofer ILT. MEMS aus kristallinem Silizium lassen sich daher bisher nicht direkt auf dem ASIC aufbauen. Wegen der Temperaturinkompatibilitäten im Herstellungsprozess sind somit der weiteren Miniaturisierung und Leistungssteigerung der Sensoren Grenzen gesetzt.

Pressekontakt

Petra Nolis M.A. | Gruppenleiterin Kommunikation | Telefon +49 241 8906-662 | petra.nolis@ilt.fraunhofer.de
Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT | Steinbachstraße 15 | 52074 Aachen | www.ilt.fraunhofer.de

Schonende Kristallisation empfindlicher Siliziumschichten

28. September 2022 || Seite 2 | 5

Als Alternative zu konventionellen Fügeverfahren setzt das Fraunhofer ILT auf ein laserbasiertes Verfahren, das es ermöglicht, MEMS-Sensoren aus kristallinem Silizium direkt (monolithisch) auf den temperaturempfindlichen Schaltkreisen aufzubauen. Dabei liegen die Projektschwerpunkte in der Abscheidung von Si-Schichten durch das Fraunhofer IST und ISIT, der selektiven Laserkristallisation durch das Fraunhofer ILT und der Auslegung sowie der mikroelektronischen Weiterverarbeitung der Schichten zu Sensoren durch das Fraunhofer ISIT. Die Forschenden machen sich dabei die Tatsache zunutze, dass sich amorphe Siliziumschichten bereits bei niedrigen Temperaturen unterhalb von 450°C auf dem schaltkreistragenden Wafer bei hohen Abscheideraten herstellen lassen. Der Laser kristallisiert nicht nur diese Siliziumschicht, sondern aktiviert auch die darin enthaltenen Dotierstoffe und sorgt damit für eine geeignete elektrische Leitfähigkeit. Anschließend folgt das Freistellen der Sensoreinheiten mit Hilfe klassischer mikroelektronischer Fertigungsverfahren.

Effiziente Wärmeabfuhr in drei Raumrichtungen

Die Hochtemperatur-Kristallisation mittels Laserstrahlung unterhalb des Schmelzpunktes von Silizium geschieht ortsselektiv und sehr schnell (im unteren Millisekundenbereich), sodass sie im Zusammenspiel mit gezieltem Temperaturmanagement die empfindliche Elektronik auf dem darunter liegenden Substrat nicht beschädigt und mechanische Spannungen im Schichtmaterial minimiert. Die Kristallisation läuft mit einem fokussierten Laserstrahl mit einem Durchmesser von einigen 10 µm ab, der spiegelgelenkt die gesamte Oberfläche schrittweise abfährt. Die Wärmeabfuhr geschieht bei diesem ortsselektiven Prozess effektiv in drei Raumrichtungen. Das unterscheidet das Verfahren von alternativen photonischen Verfahren wie der Blitzbelichtung (Flash-Lamp), bei der die Wärmeabfuhr aufgrund der großflächigen Bearbeitung nur in eine Richtung stattfinden kann.

»Aufgrund der sehr schnellen Energieeinbringung in nur ein kleines Volumenelement erzielen wir mit der Laserbearbeitung eine Festphasenkristallisation des Siliziums bei Temperaturen, die eigentlich oberhalb der Zerstörschwelle des darunterliegenden Schaltkreises liegen. Aufgrund der kurzen örtlichen Bearbeitungszeit wird dieser dennoch nicht geschädigt«, erklärt Dr. Christian Vedder, Leiter der Gruppe Dünnschichtverfahren am Fraunhofer ILT. Das neu entwickelte Laserverfahren verringert die elektrischen Widerstände der Silizium-Schichten um mehr als vier Größenordnungen unter einen Wert von 0,05 Ω*cm. Das entspricht bei einer Schichtdicke von 10 µm einem Flächenwiderstand von 50 Ω/sq. Aus diesen Schichten konnten MEMS-Sensoren mit typischen Fingerstrukturen für einen kapazitiv arbeitenden Beschleunigungssensor hergestellt werden.

Vorteile für die monolithische MEMS-Integration

28. September 2022 || Seite 3 | 5

»Die Fähigkeit, kristalline Siliziumschichten unter CMOS-kompatiblen Bedingungen auf einem ASIC-Wafer herzustellen, eröffnet neue Möglichkeiten für die MEMS-IC-Integration, da Eingriffe in die CMOS-Herstellungsprozesse entfallen«, sagt Fraunhofer ILT-Wissenschaftler Fuchs. Die dadurch wegfallenden Prozessverschränkungen erlauben eine unabhängige Entwicklung von MEMS und IC und stellen damit eine deutliche Reduzierung der Entwicklungszeiten und -kosten in Aussicht. Neben einer höheren Integrationsdichte lässt die Einsparung von Drahtverbindungen und Bondpads zudem geringere parasitäre Störgrößen sowie eine verbesserte Abschirmung gegen elektromagnetische Störfelder erwarten, was sich positiv auf die Signalqualität und das Driftverhalten der Sensoren auswirkt.

Interessante Anwendungen für Automobilindustrie, Medizintechnik und Feuerwehr

Die gewonnenen Erkenntnisse lassen sich künftig in mehrere Richtungen vertiefen und weiterführen. Interessant wäre z. B. die Anpassung des Verfahrens an die spezifischen Anforderungen unterschiedlicher Sensortypen mit anderer Schichtdicke oder anderen Dotierstoffen. Fuchs: »Wir suchen nun Anwender aus der Industrie, mit denen wir das im Team entwickelte Verfahren gewinnbringend für ihre Produkte einsetzen können.«

Der Ausblick auf Leistungssteigerung bei gleichzeitiger Miniaturisierung macht die MEMS-Technologie auch für weitere Einsatzfelder interessant, deren Anforderungen heutige MEMS-Systeme noch nicht erfüllen können. Denkbar wäre der Einsatz im Bereich des autonomen Fahrens, bei dem sehr genau arbeitende Beschleunigungssensoren die Empfangslücken des GPS-Signals z. B. in Tunneln oder Parkhäusern überbrücken könnten. Interessantes Potenzial bietet das Verfahren auch in der Medizintechnik, um etwa Temperatursensoren in Kopfhörer zu integrieren und die gewonnenen Daten zur Überwachung von Patienten oder zur Pandemiebekämpfung zu nutzen. Außerdem könnten miniaturisierte, hochpräzise Beschleunigungs-MEMS-Sensoren die genaue Lokalisation von Einsatzkräften der Feuerwehr in brennenden Gebäuden ermöglichen und damit die Sicherheit von Einsatzkräften erhöhen.

Fraunhofer ILT auf der electronica

Kommen Sie auf der electronica, Weltleitmesse und Konferenz der Elektronik vom 15. bis zum 18. November 2022 in München, mit unseren Expertinnen und Experten ins Gespräch: Fraunhofer-Gemeinschaftsstand 258 in Halle B4.

Projekt MUSIC

28. September 2022 || Seite 4 | 5

An dem internen, von der Fraunhofer-Gesellschaft geförderten Projekt zur marktorientierten Vorlaufforschung beteiligten sich:

- Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen
- Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT, Itzehoe (Projektleitung)
- Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST, Braunschweig

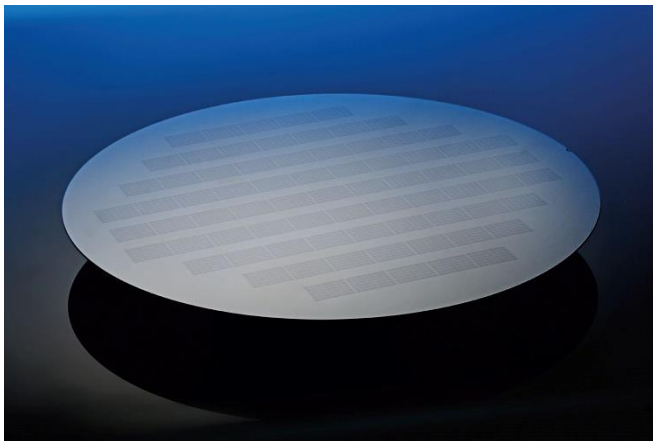


Bild 1: Schonende Hochtemperatur-Kristallisation: Das Fraunhofer ILT hat mit dem Fraunhofer ISIT und IST ein selektives, laserbasiertes Kristallisationsverfahren für die Herstellung von MEMS-Sensoreinheiten direkt auf aktiven Schaltkreisen entwickelt.

© Fraunhofer ILT, Aachen.



Bild 2: Detailansicht der vom Fraunhofer ILT selektiv laserkristallisierten Siliziumfelder.

© Fraunhofer ILT, Aachen.

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

Bild 3: Prozessbild des vom Fraunhofer ILT entwickelten, selektiven Laserkristallisationsverfahrens für Siliziumwafer.
© Fraunhofer ILT, Aachen.

28. September 2022 || Seite 5 | 5

Fachlicher Kontakt**Florian Fuchs M. Sc.**

Gruppe Dünnschichtverfahren
Telefon +49 241 8906-676
florian.fuchs@ilt.fraunhofer.de

Dr.- Ing. Christian Vedder

Gruppenleitung Dünnschichtverfahren
Telefon +49 241 8906-378
christian.vedder@ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT
Steinbachstraße 15
52074 Aachen
www.ilt.fraunhofer.de

Die **Fraunhofer-Gesellschaft** mit Sitz in Deutschland ist die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Mit ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess. Als Wegweiser und Impulsgeber für innovative Entwicklungen und wissenschaftliche Exzellenz wirkt sie mit an der Gestaltung unserer Gesellschaft und unserer Zukunft. Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 30 000 Mitarbeitende, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,9 Milliarden Euro. Davon fallen 2,5 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung.