Technische Universität Ilmenau

Mikrogalvanoformung von hochdichten Säulen-Arrays für photonisch integrierte Schaltkreise

Zusammen mit dem Abbe Center of Photonics der Universität Jena forschen die Fachgebiete Elektrochemie und Galvanotechnik, Elektroniktechnologie und Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik der TU Ilmenau im Rahmen des öffentlich geförderten Forschungsprojekts „Flexibel anpassbare und skalierbare Technologien für photonisch integrierte Schaltkreise (FastPIC)“ an neuartigen photonisch integrierten Schaltkreisen (PICs). Das Vorhaben wird vom Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur und vom Europäischen Sozialfonds (ESF) Plus finanziert (Vorhaben-Nr. 2025 FGR 0044).

Die herkömmliche elektrische Übertragung großer Datenmengen ist durch Faktoren wie Bandbreite und Signalverluste begrenzt, während optische Signale die Vorteile einer hohen Bandbreite, einer hohen Übertragungsgeschwindigkeit, einer geringen Verzögerung und eines niedrigen Energieverbrauchs bieten. PICs ermöglichen daher eine Hochgeschwindigkeits-Datenkommunikation.

Ein PIC besteht im Wesentlichen aus einer Lichtquelle, einem Fotodetektor, Modulatoren und weiteren passiven Komponenten (siehe Abbildung 1). Seine Funktionsweise lässt sich vereinfacht wie folgt beschreiben: 1) Ein Lichtstrahl wird in zwei Teilstrahlen aufgeteilt; 2) eingehende elektrische Signale steuern den Modulator an, um die Phase des Lichts zu verändern; 3) die beiden Lichtstrahlen interferieren, wobei die Intensität des resultierenden Signals die Eingangsinformationen überträgt; 4) ein Fotodetektor wandelt das optische Signal in ein elektrisches Ausgangssignal um und schließt die Datenübertragung ab. Die beschriebenen Vorgänge erfordern eine Vielzahl elektrischer Verbindungen, unter anderem für die Einspeisung elektrischer Signale und die Stromversorgung. Ein wesentlicher Prozess ist die Implementierung hochdichter Mikrosäulen zur Herstellung elektrischer Verbindungen für die große Anzahl an Steuersignalen, die für den PIC benötigt werden. Im Rahmen von FastPIC wird die Herstellung des Säulen-Arrays durch die Kombination von Fotolithografie und Galvanotechnik erforscht (siehe Abbildung 2).

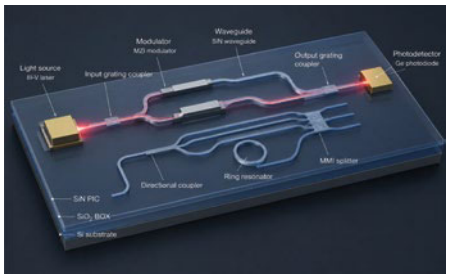


Bild: KI-unterstützt

Abb. 1: Schematische Darstellung eines photonisch integrierten Schaltkreises (PIC)

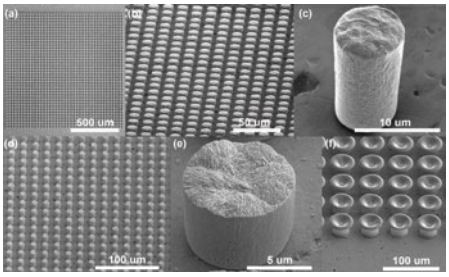


Bild: TU Ilmenau

Abb. 2: REM-Aufnahmen: (a) Aufsicht auf ein Kupfersäulen-Array mit einem Säulendurchmesser von 15 µm; (b) Seitenansicht des Kupfersäulen-Arrays (10 µm); (c) Kupfersäule (10 µm); (d) Seitenansicht des Weichgold-Säulen-Arrays (10 µm); (e) Weichgold-Säule (10 µm); (f) Seitenansicht des Hartgold-Säulen-Arrays mit Pilzkopf

Das LTCC-Substrat (Low Temperature Cofired Ceramic) wurde zunächst mit TiW und einer Keimschicht beschichtet und anschließend mittels Fotolithografie strukturiert. Für die galvanische Abscheidung von Kupfersäulen auf dem strukturierten LTCC-Substrat wurde der kommerzielle Elektrolyt CUBRAC 480 verwendet. Der Prozess erfolgte bei Raumtemperatur mit einer Stromdichte von 10 mA/cm² über einen Zeitraum von 1,5 Stunden. Abbildung 2 zeigt die abgeschiedenen Kupfersäulen-Arrays mit einer Homogenität sowohl hinsichtlich der Anordnung als auch der Höhe und nahezu ohne Defekte. Die Seitenwand der Säule ist glatter als die Oberseite (Abbildung 2c). Der Durchmesser wurde auf 10 µm ausgelegt. Der tatsächliche Durchmesser der abgeschiedenen Säulen beträgt jedoch aufgrund der unzureichenden Entwicklung des Fotolacks am Rand etwa 9 µm. Die Höhe der Säulen beträgt etwa 13 µm, entsprechend einem Aspektverhältnis von 1,4. Die bislang erreichte maximale Säulendichte bei einem Säulendurchmesser von 10 µm beträgt 4350 Säulen/mm².

Das Säulen-Array aus Weichgold (>99,9 Gew.-%) wurde unter Verwendung des kommerziellen Elektrolyten AURUNA 558 bei 30 °C und einer Stromdichte von 20 mA/cm² über einen Zeitraum von 18 Minuten galvanisch abgeschieden. Abweichend vom technischen Datenblatt wurde eine niedrigere Abscheidetemperatur gewählt, da es sonst zu einer deutlichen Auflösung und Ablösung des Fotolacks vom LTCC im basischen Elektrolyten kommt. Ebenso wie das Kupfersäulen-Array weist auch das Weichgold-Säulen-Array eine gute Gleichmäßigkeit auf (Abbildung 2d). Es erreicht eine maximale Säulendichte von 4.350 Säulen/mm². Abscheidungen aus einem Hartgold-Elektrolyten zeigten bisher keine gute Qualität der Säulen (Abbildung 2 f.).

Zur Person

Zhuoji Huang



Bild: Huang

hat 2025 seinen Master in Materialwissenschaft an der TU Ilmenau abgeschlossen. Seit 2026 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Elektrochemie und Galvanotechnik im Projekt „Flexibel anpassbare und skalierbare Technologien für Photonisch Integrierte Schaltkreise” tätig. Seine Forschung umfasst die galvanische Abscheidung von Gold, Kupfer und Silber zur Herstellung von Mikrostrukturen.

Kontakt:
TU Ilmenau, Fachgebiet Elektrochemie und Galvanotechnik
Prof. Dr. Andreas Bund, andreas.bund@tu-ilmenau.de
Mathias Fritz, mathias.fritz@tu-ilmenau.de
Zhuoji Huang, zhuoji.huang@tu-ilmenau.de