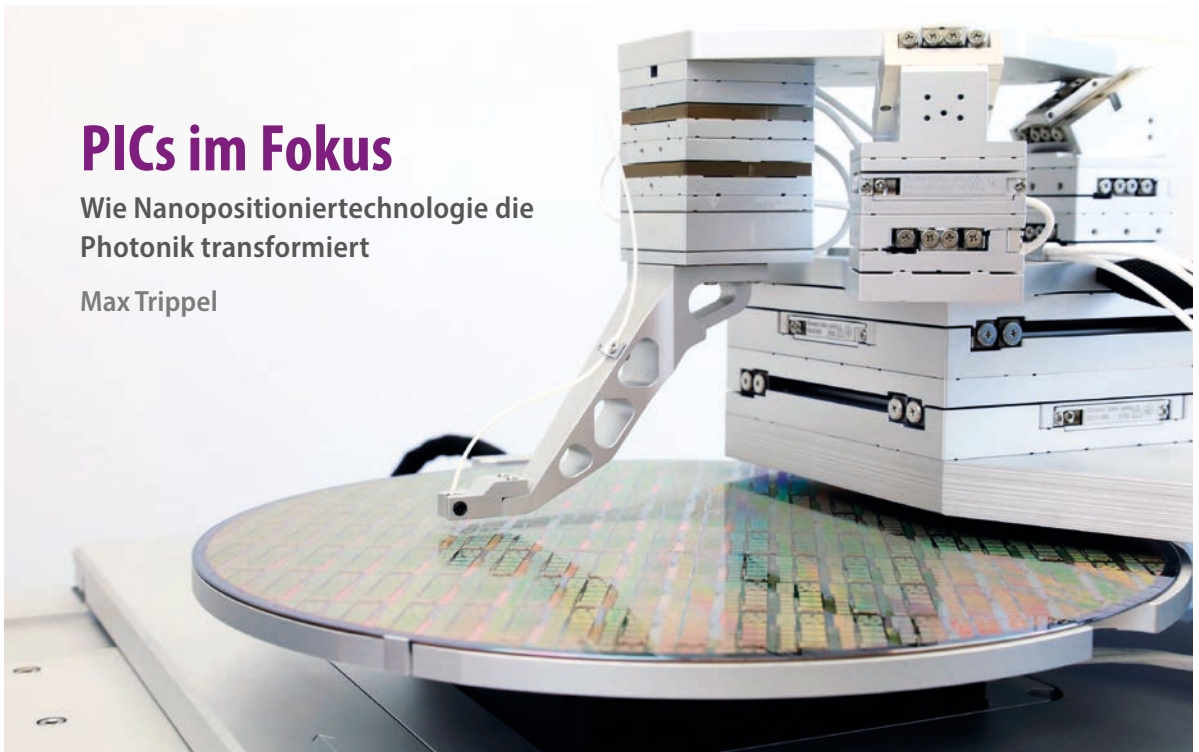


PICs im Fokus

Wie Nanopositioniertechnologie die Photonik transformiert

Max Trippel



Das Ende des Mooreschen Gesetzes, das die kontinuierliche Steigerung der Rechenleistung und Speicherkapazität von Computern postuliert, erregt nicht selten in verschiedenen Medien starke Aufmerksamkeit. Gordon Moore formulierte das nach ihm benannte Gesetz erstmals 1965 [1] und sagte voraus, dass sich die Anzahl der Schaltkreis-komponenten wie Transistoren pro Flächeneinheit in einem bestimmten Zeitraum verdoppelt – je nach Quelle in 12, 18 oder 24 Monaten. Heute steht die Gültigkeit dieses Gesetzes infrage, da physikalische Gesetze beliebig kleine elektronische Bauelemente verhindern: Bei Transistoren oder Leiterbahnen, die eine atomare Größenordnung von zwei bis drei Nanometern bzw. etwa zehn Atomlagen erreichen, treten quantenphysikalische Effekte auf. Dann tunneln Elektronen durch die Leitungen und schränken die Leistungsfähigkeit stark ein [2].

Während der quantenmechanische Tunnelstrom dem Miniatur-

isierungstrend Grenzen aufzeigt, scheinen die Datenmengen im Allgemeinen unbeschränkt zu wachsen. Das Zeitalter der „Zettabytes“ (1 Zettabyte = 10^{21} Byte) macht eine kontinuierliche Leistungssteigerung unabdingbar. Laut Statista wird die weltweit jährlich erzeugte und replizierte digitale Datenmenge bis 2027 auf bis zu 284 Zettabyte anwachsen; 2023 sind es bereits 126 Zettabyte [3]. Dieses enorme Datenwachstum und die Grenzen von Integrationsdichten erfordern dringend innovative Lösungsansätze.

Von ICs zu PICs

Eine vielversprechende Lösung stellt der Übergang von herkömmlichen elektronischen integrierten Schaltkreisen (ICs) zu photonischen integrierten Schaltkreisen (PICs) dar. Im Vergleich zu ICs bieten PICs zahlreiche Vorteile, wie höhere Datenraten, größere Bandbreiten und einen geringeren Energieverbrauch

[4]. Diese Vorteile beruhen auf den photonischen Eigenschaften von Licht, das sich fast tausendmal schneller bewegt als Elektronen.

Entscheidend ist dabei die optimale Ein- und Auskopplung von Licht in photonische Wellenleiter auf PICs, da an den Schnittstellen Datenverluste auftreten können. Die immer kleiner werdenden Wellenleiter erfordern dabei eine hochpräzise Positionierung. Typische Durchmesser der Wellenleiter reichen je nach Anwendungsfeld aktuell von 200 nm bis 3 μm . Eine optimale Ein- und Auskopplung lässt sich nur dann erzielen, wenn die Raumfreiheitsgrade – drei translatorische X , Y und Z sowie drei rotatorische R_x , R_y und R_z – bezüglich jedes einzelnen Koordinaten-Subsystems nanometergenau kontrollierbar sind. Daher gilt es, kontinuierlich an Lösungen zu arbeiten, die ein effizientes und gleichzeitig nanometergenaues Ein- und Auskoppeln von Licht in und aus PICs ermöglichen.

◀ Das Fast-Scan&Align-System dient dem hochpräzisen und schnellen Einkoppeln und Auskoppeln von Licht auf photonischen Chips.

Die Arbeitsgruppe „Silicon Photonics“ des Technical Research Centre of Finland, VTT, nutzt die Lösungen zur Positionierung von SmarAct, um Silizium-Photonik-Wellenleiterkomponenten zu testen. Dazu koppelt die Gruppe konische optische Fasern an Chipkantenfacetten oder an einem 45° nach oben reflektierenden Spiegel. Dies ermöglicht es, Chips mit einer Breite von mehr als 20 mm zu untersuchen und diese für eine optimale Kopplung mit hoher Auflösung über den gesamten Bewegungsbereich präzise auszurichten. Bei 3 µm dicken Silizium-Wellenleitern mit geringen Verlusten (~0,1 dB/cm) dominieren die Kopplungsverluste. Eine genaue Messung der Ausbreitungs- und Kopplungsverluste erfordert daher die Messung an vielen Wellenleitern, um signifikante statistische Aussagen zu erhalten. Hohe Messvolumina lassen sich nur mit schnellen Positionierungssystemen erreichen, ohne dabei den Bewegungsbereich oder die Auflösung zu beeinträchtigen.

Ein Expertenteam von SmarAct, das sich auf Positionierlösungen für Anwendungen im Bereich Halbleiter und Photonik spezialisiert hat, hat das modulare „Fast-Scan&Align“-System entwickelt, um den vielfältigen Anforderungen zu entsprechen. Das System kombiniert verschiedene Antriebstechnologien. Elektromagnetische Motoren eignen sich hervorragend, um hohe Geschwindigkeiten von bis zu einem Meter pro Sekunde zu realisieren. Verbaut in der Halterung der photonischen Chips, erlauben sie es, makroskopisch weit voneinander entfernte Wellenleiter bezüglich der Faser schnell zu positionieren. „State of the Art“ Stick-Slip-Piezo-Antriebstechnologie vereint nanometergenaue Positionierung und makroskopische Bewegung bis zu einigen Zentimetern, um zum Beispiel Fasern in allen sechs Freiheitsgraden an den Wellenleitern auszurichten. Den Feinschliff bilden schnellste und mit dem geringsten Scanfehler behaftete Nanopositionier-Scanner, deren Bewegungs-

technologie auf sogenannten Flex-Antrieben basiert. Die realisierte Scan- und Ausrichtungs-Zeit liegt bei dem vorgestellten System unter einer Sekunde.

Damit setzt SmarAct neue Standards in Bezug auf Kopplungsgeschwindigkeit und Präzision und entwickelt sich somit zu einem entscheidenden Akteur auf einem zukunftssträchtigen Markt. Denn die Entwicklung von Nanopositionierungstechnologie bleibt weiterhin entscheidend, um den wachsenden Anforderungen der Informationsverarbeitung im Datenzeitalter gerecht zu werden.

- [1] G. E. Moore, *Electronics* **38**(8), 114 (1965)
- [2] M. Mitchell Waldrop, *Nature* **530**, 144 (2016)
- [3] statista am 12. September 2023: <https://bit.ly/48tvCFG>
- [4] S. Wu et al., *Micromachines* **11**(3), 326 (2020)
- [5] T. Aalto et al., *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* **25**(5), 1 (2019)

Kontakt

SmarAct GmbH, Schütte-Lanz-Straße 9, 26135 Oldenburg, Ansprechpartnerin: Katharina Schierenbeck, Marketing, Telefon: +49 441 800879-971, E-Mail: marketing@smaract.com

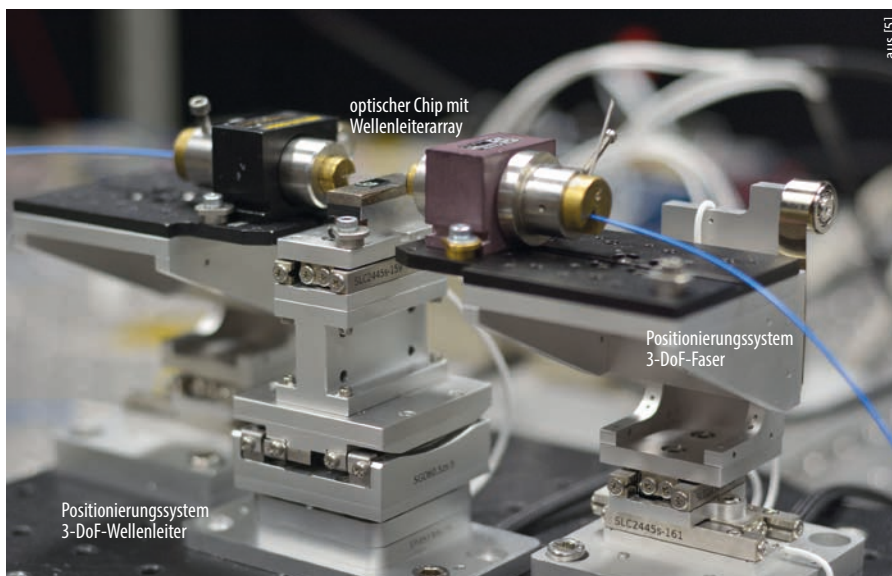


Abb. 1 Die hochpräzisen SmarAct-Positioniersysteme zur optischen Kopplung an photonische Siliziumwellenleiter lassen sich kombinieren, wie hier von der Arbeitsgruppe „Silicon Photonics“ am Technical Research Centre of Finland, VTT, demonstriert.