Verschmelzung von Elektronik und Optik auf der Nanoskala?

Autor(en): **Gruber, C. / Venkatesan, K. / Novotny, L.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **105 (2014)**

Heft 10

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-856304

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

TECHNOLOGIE **HARDWARE**

Verschmelzung von Elektronik und Optik auf der Nanoskala?

Plasmonische Bauteile für nanophotonische Anwendungen

Grosse Datenmengen lassen sich beinahe verlustfrei optisch übertragen. Integriert man aber optische Bauteile direkt auf Silizium-Chips, stellt man fest, dass die optischen Komponenten in Bezug auf die elektronischen Bauteile verhältnismässig gross sind. Zu ihrer Verkleinerung bieten sich plasmonische Strukturen an, denn sie verfügen über die einzigartige Eigenschaft, Licht unterhalb der Wellenlänge und der Beugungsgrenze in kleinste Volumina zu konzentrieren und zu verstärken. Künftig könnten sie zur Verschmelzung von Elektronik und Optik auf der Nanometerskala führen.

C. Gruber, K. Venkatesan, L. Novotny und E. Lörtscher

Ein heutiger Feldeffekttransistor ist deutlich kleiner als 100 nm, momentan 22 nm in der aktuellen «Node».[1] Eine weitere Miniaturisierung wird jedoch zunehmend schwieriger, da fundamentale Probleme auftauchen: Bei wenigen Atomlagen wird das isolierende Oxid zwischen Kanal und Gate-Elektrode durchlässig für Elektronen. Kanäle von wenigen 100 Atomlagen noch homogen zu dotieren wird problematischer, da die exakte Position der wenigen Dotieratome eine bestimmende Rolle für die elektrischen Eigenschaften spielt. Trotzdem erwartet die Industrie, dass ein «Node» unter 10 nm noch erreicht werden kann, was einer Länge von wenigen 10 Atomlagen entspricht.

Im Gegensatz zu elektrischen Bauteilen erlaubt die optische Kommunikation einen verlustarmen Signaltransport riesiger Datenmengen über grosse Distanzen mit Lichtgeschwindigkeit. Ursprünglich für Transatlantikverbindungen eingesetzt, findet die optische Kommunikation in Glasfasern zunehmend alltägliche Verwendung – auch im Computer, meist in Grossrechnern und Supercomputern, in denen mittlerweile optisch zwischen Boards mit Datenraten von über 100 Gbit/s kommuniziert wird. Ein logischer Schritt in diesem Trend ist die Integration von optischen Bauelementen direkt auf dem Silizium-Chip in der Nähe der elektrischen Schaltkreise. Neben den Vorteilen der schnellen, breitbandigen und verlustarmen Datenkommunikation profitiert man bei der Herstellung von sogenannten «Silicon-Photonics»-Strukturen (d.h. Silizium-Chips mit darauf integrierten optischen Bauteilen) von niedrigeren Herstellungskosten und einer ökonomischeren Nutzung von Halbleitermaterialien. **Bild 1** zeigt die historische Entwicklung der Grösse und Komplexität verschiedener optischer und elektronischer Bauteile und die möglichen Zukunftsperspektiven.

Um die Integrationsdichte auf solchen elektro-optischen Hybridchips weiter zu steigern, ist eine Miniaturisierung der optischen Bauteile wünschenswert. Hier wird meist mit einer optischen Wellenlänge um 1550 nm (bei Silicon Photonics) gearbeitet. Die photonischen Bauteile sind fundamental durch die optische Beugung (Diffraktion) begrenzt. Um zum Beispiel der Interferenz von zwei Lichtleitern vorzubeugen, müssen diese um mindestens die Hälfte der entsprechenden Wellenlänge separiert werden. Folglich wird auch in Zukunft bei Verwendung klassischer Photonikkonzepte eine Diskrepanz von zwei bis drei Grössenordnungen in der Dimension von optischen und elektro-

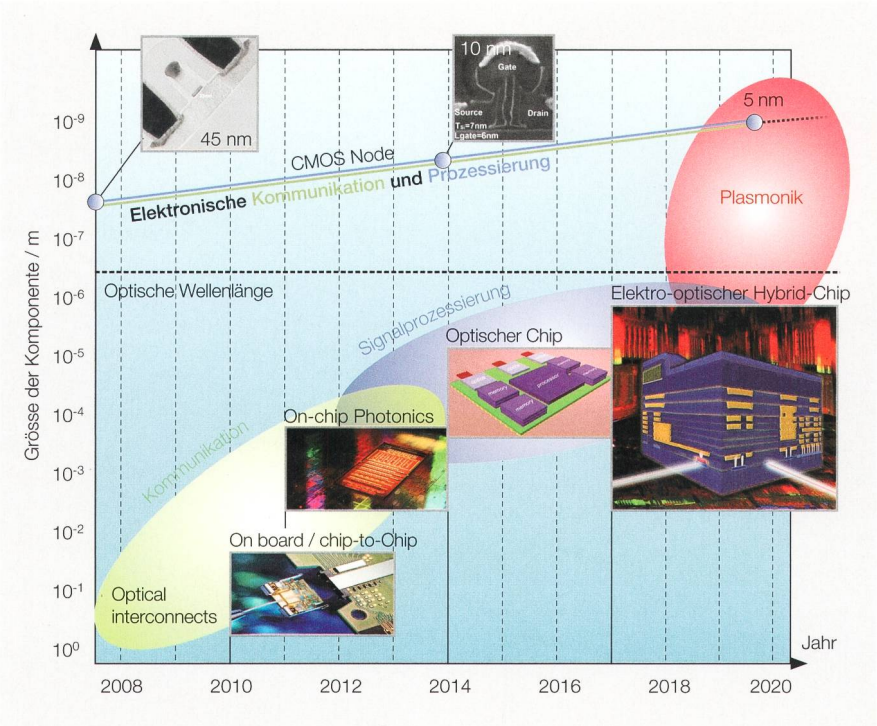

Bild 1 Vergleich verschiedener Baugrössen von optischen und elektrischen Komponenten, mit einer abgeschätzten Baugrösse für die folgenden Jahre – entsprechend der internationalen Roadmap für die CMOS-Technologie (ITRS2) und ungefähre Voraussagen für die elektro-optischen Hybrid-Chips.

TECHNOLOGIE **HARDWARE**

nischen Bauteilen vorhanden sein (Bild 1). Diese Lücke soll das Forschungsgebiet der Plasmonik schliessen.

Plasmonik

In den 1980er-Jahren wurde erstmals in einem Experiment nachgewiesen, dass sich Licht an der Grenzfläche zwischen einem Metall und einem Dielektrikum durch kollektive Oszillationen der freien Elektronen im Ladungsträger ausbreiten kann. Diese sogenannten Oberflächenplasmonen (englisch: Surface Plasmon Polaritons, kurz SPPs) sind Dichtewellen von Elektronen, welche durch das einfallende Licht inner- und ausserhalb des Metalls entstehen, die gleiche Frequenz wie das einfallende Licht aufweisen und auf der Oberfläche des Metalls ein elektromagnetisches Nahfeld erzeugen (Bild 2b). Durch SPPs lässt sich Licht entlang der Metalloberfläche nicht nur leiten, sondern auch in Dimensionen konzentrieren, die viel kleiner als das Beugungslimit sind. Die Feldstärkungen können 100 bis 1000 betragen, speziell bei Abständen der Metalloberflächen im nm-Bereich, beispielsweise zwischen zwei sphärischen Nanopartikeln (Bild 2c). Diese Verstärkungen können in Anwendungen wie der oberflächenverstärkten Ramanspektroskopie (englisch: Surface-Enhanced Raman Spectroscopy, kurz SERS) bereits heute genutzt werden. Auch Metamaterialien mit negativen Brechungsindizes werden zurzeit erforscht. Zusammengefasst würde die Verwendung von plasmonischen Effekten eine Konzentration von Licht in kleinere Volumina als die Wellenlänge des Lichts erlauben, was für die Informationstechnologie die Verschmelzung von Elektronik und Optik auf der Nanometerskala bedeuten könnte.

Fabrikation im Nanometerbereich

Sphärische Nanopartikel mit Durchmessern in der Grössenordnung der Eindringtiefe des Lichts erzeugen durch die induzierten Ladungsoszillationen innerhalb des Partikels eine charakteristische Lichtabsorption, welche für Gold (Au) und Silber (Ag) im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums liegt. Schon zu Zeiten der Römer waren diese faszinierenden Eigenschaften von Nanopartikeln bekannt. Davon zeugt ihre Anwendung in Glasgefässen, Kirchenfenstern und Schmuckstücken. Die physikalische Ursache für diese Effekte wurden jedoch erst durch die experimentellen und theoretischen Arbeiten von Gustav Mie [2] zu Beginn des 19. Jahrhunderts erklärt.

Die aktuellen Herausforderungen liegen nun in der Kontrolle und Nutzung solcher plasmonischer Effekte. Um diese gezielt in Anwendungen einsetzen zu können, müssen nanometergrosse Strukturen hergestellt werden, meist abgestimmt auf eine bestimmte Wellenlänge, um resonant mit dem Licht zu interagieren. Da Plasmonen jedoch nur im Nahfeld der Oberfläche ein starkes Feld erzeugen (Bild 2b), ist eine relative Positionierung der Objekte mit Nanometer- oder gar Angström (10^{-10} m)-Genauigkeit notwendig. Solche Toleranzen sind erst in den letzten Jahren, mit der Entwicklung entsprechender Herstellungs- und Charakterisierungsmethoden, wie z.B. der Elektronen- oder Ionenstrahllithografie sowie der Rastersondenmikroskopie, möglich geworden. Die Plasmonik war als Forschungsrichtung zwischen Optik und Elektronik früher deshalb in dieser Genauigkeit nicht möglich gewesen und erfährt nun erst durch die Nanotechnologie mit ihren ungeahnten Herstellungsmöglichkeiten eine eigentliche Renaissance.

Für die Herstellung von plasmonischen Strukturen verwenden wir einen fokussierten Elektronenstrahl mit einem Durchmesser von lediglich 2–3 nm, der in einem «Noise-free» Lab [3] betrieben wird, in dem externe Störquellen (Bild 3) auf ein Minimum reduziert werden. Der geladene Strahl mit einer Beschleunigungsspannung von 100 kV erzeugt in einem 40 nm dicken, elektronenempfindlichen Lack eine chemische Reaktion, welche entweder bindungsvernetzend oder -brechend wirkt, was zu einer Selektivität im nachfolgenden Entwicklerbad führt. So können feinste Strukturen geschrieben werden, die danach typischerweise mit einem Metallfilm bedampft und selektiv mit dem Lack wieder entfernt werden, sodass die geschriebenen Strukturen auf dem Substrat zurückbleiben.

Hinsichtlich der Herstellung plasmonischer Strukturen sind nun verschiedene Parameter zu berücksichtigen: Erstens ist eine sehr hohe Auflösung, f, (Englisch: Feature size) notwendig, um

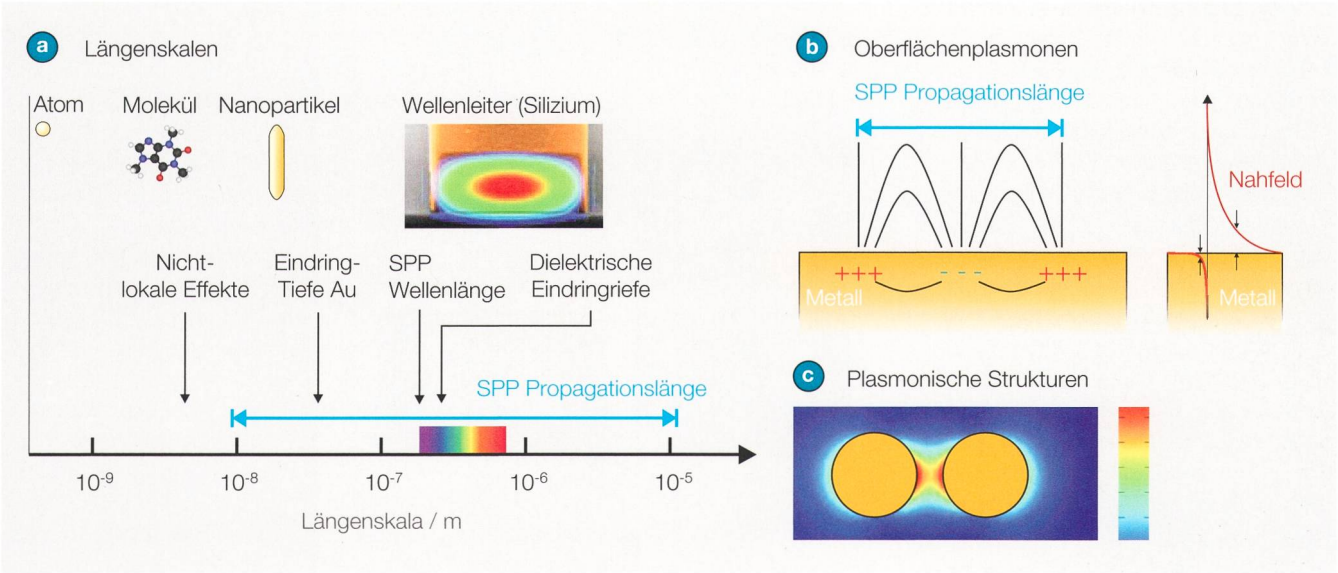

Bild 2 **a)** Längenskalen nanometergrosser Objekte. **b)** Entstehung der Oberflächenplasmonen aufgrund des Einfalls von Licht auf eine Metalloberfläche mit beweglichen Ladungsträgern (z.B. Elektronen). Exponentieller Abfall des optischen Nahfeldes auf der Oberfläche.
c) Qualitativ dargestellte, lokale Feldverstärkung einer plasmonischen Struktur aus zwei spärischen Gold-Nanopartikeln.

TECHNOLOGIE **HARDWARE**

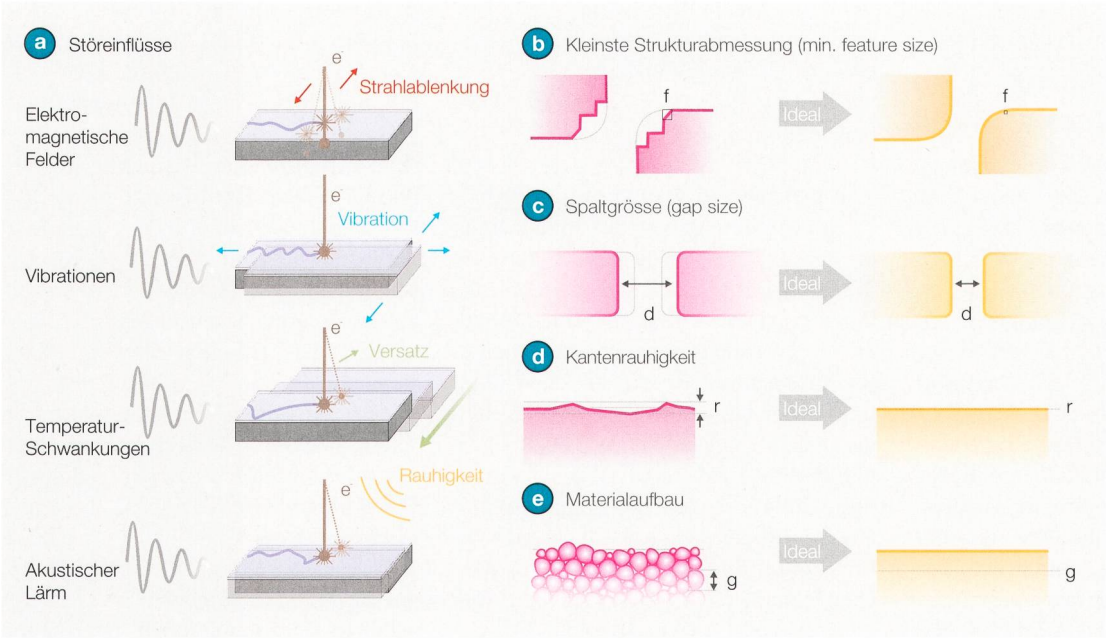

Bild 3 **a)** Mögliche Umgebungseinflüsse auf einen Elektronenstrahlschreiber. **b)–e)** Einfluss nicht-optimaler Herstellungsbedingungen auf die Strukturgrösse, Spaltgrösse, Kantenrauigkeit und den Materialaufbau.

kommunizierende Nahfelder zu erzeugen und in Resonanzbedingung mit der einfallenden Wellenlänge zu liegen. Zudem sind kleine Spalten, g, (Englisch: Gaps) notwendig, um optimale Feldkonzentrationen und -verstärkungen zu bewirken. Zweitens ist die Oberflächenrauigkeit, r, (Englisch: Roughness) der Strukturen für die SPP-Propagation ausschlaggebend, um nicht die bereits intrinsisch vorhandene (ohmsche) Dämpfung von typischerweise 10 dB / 100 nm zusätzlich noch zu erhöhen, welche den Einsatz von plasmonischen Strukturen ohnehin nur über kurze Strecken von wenigen 100 nm ermöglicht. Einen vergleichsweisen Einfluss hat auch der Materialaufbau, z.B. die Korngrösse g. **Bild 3** zeigt diese Sachverhalte exemplarisch.

Unter optimalen Labor- und Prozessbedingungen erreicht man für die Strukturierung des Elektronenstrahllacks ein f von 1–3 nm, ein g von 2–5 nm und ein r von weniger als 1 nm. Für die resultierenden Metallstrukturen liegt die Limitierung momentan in der Grösse der Korngrenzen, welche aufgrund des thermischen Aufdampfens von Au mit einem g von 5 – 25 nm liegen. **Bild 4** zeigt Herstellungsresultate für sogenannte Bowtie- (englisch für Krawatte) und Dolmen-Antennen. Obige Parameter sind aus den hier gezeigten Rasterelektronenmikroskopiebildern nur schwer abschätzbar, jedoch sind die resultierenden Abstände zwischen den Strukturen mit weniger als 5 nm bemerkenswert klein und die geometrischen Formen aussergewöhnlich gut wiedergegeben.

Charakterisierung

Mit den erreichten Herstellungsresultaten können nun verschiedene Arten von plasmonischen Effekten an unterschiedlichen Strukturen untersucht werden. Die optischen Antennen werden so entworfen, dass sie unter einer monochromatischen Laserbestrahlung von 632 nm in Resonanz treten. [4] **Bild 4g** zeigt das typische Emissionsspektrum einer solchen Antenne. Das Maximum der Plasmonenemission befindet sich bei ungefähr 700 nm, unabhängig von der Messmethode in Transmission oder Reflexion. Die Plasmonenresonanz hängt von der Antennenlänge, dem Spaltenabstand und der Lichtpolarisation ab. Daher sind für jede Anregungswellenlänge und jeden Arbeitsbereich unterschiedliche Antennendimensionen notwendig. Anderseits sind bereits kleinste, mikroskopische Abweichungen von der idealen Antennengeometrie in der Plasmonenemission erkennbar – momentan die grösste Herausforderung bei der Herstellung und Dateninterpretation.

Ramanspektroskopie

Als erste Anwendung werden diese plasmonischen Antennen im Rahmen

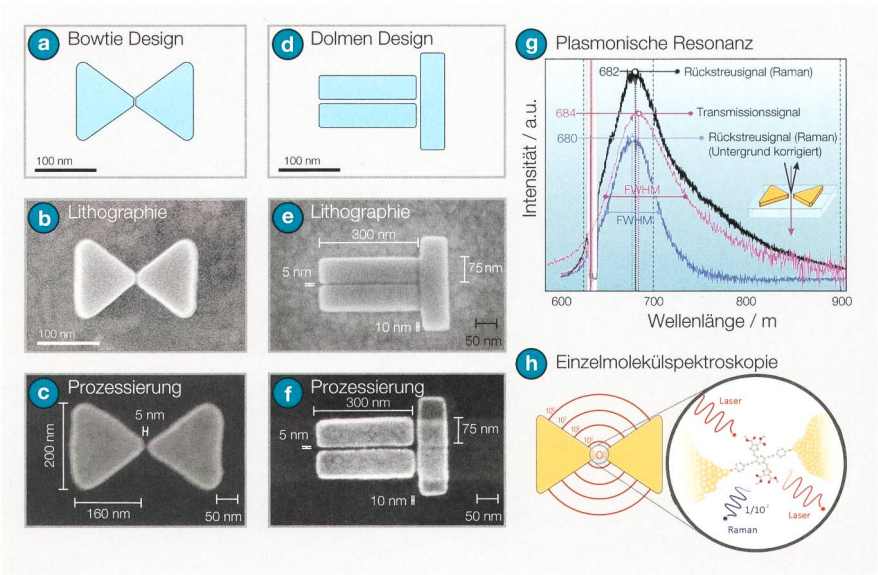

Bild 4 Resultate der Elektronstrahlstrukturierung, erzielt unter optimalen Bedingungen.
a)–c) Bowtie-Strukturen, **d)–f)** Dolmenstrukturen mit Rauigkeit r weniger als 1 nm im Lack.
g) Bowtie-Strukturen sind für sichtbare Wellenlängen entworfen, womit die Plasmonenresonanz bei ungefähr 700 nm liegt und von Länge, Spaltabständen und Polarisation abhängt.
h) Prinzip der Einzelmolekülspektroskopie durch Raman-Streuung an chemischen Bindungen.

TECHNOLOGIE **HARDWARE**

Bilder : IBM

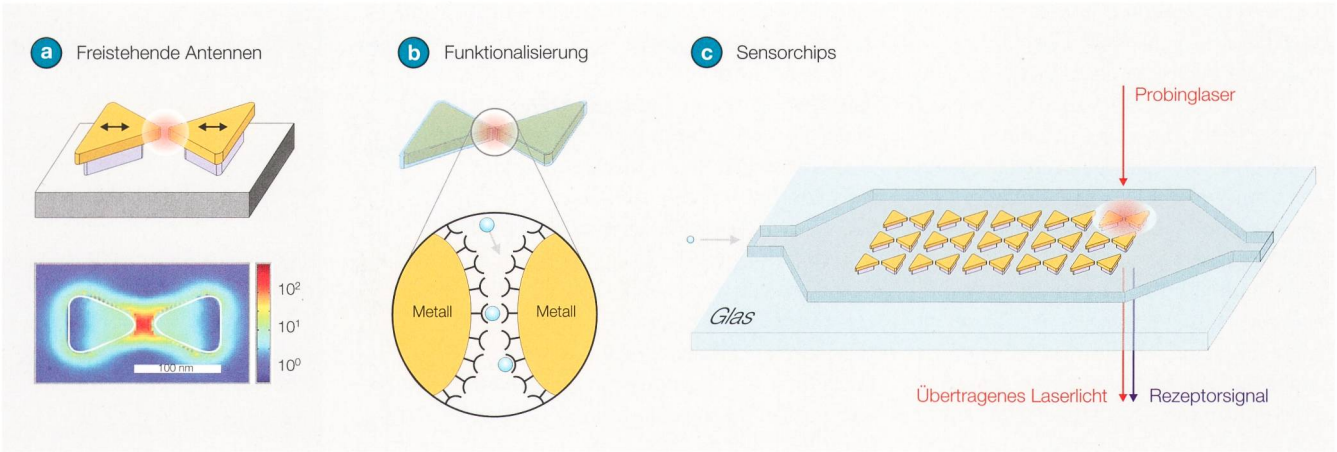

Bild 5 **a)** Freistehende plasmonische Bowtieantennen mit hohen Feldverstärkungen zwischen den Spitzen. Durch Oberflächenfunktionisierung **(b)** können gezielt Analyte gebunden werden, die einen charakteristischen Fingerabdruck bei der Ramanspektroskopie erzeugen.
c) Matrizen von plasmonischen Antennen in einem Detektor, welcher nach Messungen optisch ausgelesen wird.

eines Projektes des Schweizerischen Nationalfonds (SNF) eingesetzt, um die Empfindlichkeit bei der Ramanspektroskopie drastisch zu steigern. Ramansignale entstehen durch inelastische Streuprozesse von einkommenden Photonen in der Materie, z.B. an Molekülbindungen oder Kristallgittern. Die Streuung findet durch die Interaktion von Licht mit der entsprechenden chemischen Bindung statt und liefert dadurch detaillierte Informationen zur Bestimmung der vorliegenden chemischen Struktur, dem «spektroskopischen Fingerabdruck». Dabei wird ein einfallendes Photon vom Molekül absorbiert, regt es in einen sogenannten virtuellen Zustand mit erhöhter Energie an, um anschliessend während der Relaxation des Moleküls ein Photon mit geringerer Energie zu emittieren.

Der Streuquerschnitt für Ramanstreuung an einem Molekül beträgt lediglich 10^{-30} cm², weshalb Ramanspektren typischerweise nur mit hoher Laserintensität, d.h. unter grossen elektromagnetischen Feldern, gemessen werden können.

Genau hier finden nun die plasmonischen Strukturen eine erste praktische Anwendung, da das Nahfeld an der Metalloberfläche, oder – noch besser – an feinen Metallspitzen auf der Oberfläche eine lokale Feldverstärkung von 10^6 – 10^{10} erzeugt. Addiert man nun zwei Nahfelder von plasmonenunterstützenden Strukturen in wenigen nm Abstand, so überlagern sich diese (Bild 2c) und die resultierende Feldstärke erhöht sich nochmals nichtlinear, was zu einer Verstärkung der Ramanstreuung von 10^{10} bis zu 10^{12} führt. Im Idealfall ist die Feldverstärkung so gross, dass sogar das Ramanspektrum von einem einzelnen Molekül gemessen werden kann, was z.B. mit Hämoglobin-Molekülen zwischen zwei Ag-Nanopartikeln gezeigt wurde.[5] Dadurch wurden neuartige Spektroskopiearten mit einem weiten Anwendungsbereich eröffnet, z.B. die oberflächenverstärkte Raman-Spektroskopie (Englisch: Surface-Enhanced Raman Spectroscopy). Zudem erlauben die Nahfelder nun auch die detaillierte Untersuchung der Wechselwirkung von Plasmonen und Molekülschwingungen.[6]

Unser übergeordnetes Ziel ist nun, plasmonische Strukturen herzustellen, um höchstmögliche Feldverstärkungen zu erzeugen und so grösstmögliche Empfindlichkeit für die molekulare Detektion zu erreichen. Dafür ist die oben beschriebene nanometergenaue Herstellung von Spalten in der Grössenordnung von einem einzelnen Molekül (2–5 nm) notwendig. Mit chemischen Mitteln – basierend auf emissionsverstärkenden Einzelmolekülrezeptoren – wird die Oberfläche dieser Strukturen funktionalisiert, um die nachzuweisenden Analyte selektiv an die Antennenoberflächen – speziell auch im Spalt mit höchsten Feldstärken – zu binden. Das komplexierte Rezeptor-Analyt-System erzeugt eine charakteristische Lichtemission und Ramanstreuung, die spektral nachweisbar ist und eine eindeutige Detektion ermöglicht. Mit grösseren Matrizen von solchen Antennen wird eine generische Plattform für optische Nahfeld-Spektroskopie entwickelt, deren Wirkungsweise anhand der Detektion von Aminen, halogenierten Kohlenwasserstoffen, Kohlenstoffmonoxid und Ethylen exemplarisch gezeigt werden soll. Der Einsatz solcher plasmonischer Detektoren ist bei der Messung standort- und versorgungsunabhängig (d.h. benötigt keinen Strom), was ein genaueres Umweltmonitoring als bisher ermöglicht.

Elektro-optische Chips

Die Integration von elektrischen, optischen und plasmonischen Bauteilen auf einem Silizium-Chip für die schnellere, breitbandige und verlustärmere Datenkommunikation- und -manipulation ist ein interdisziplinäres Forschungsfeld. Für einen plasmonischen Schaltkreis müssen diverse neuartige Bauteile erst entwickelt werden, beispielsweise eine plasmonengenerierende Quelle, plasmo-

Résumé **Fusion de l'électronique et de l'optique à l'échelle nanométrique**

Des composants plasmoniques pour des applications nanophotoniques

La plasmonique permet de guider et de concentrer la lumière en deçà de la limite de diffraction. Elle promet la fusion de l'électronique et de l'optique à l'échelle du nanomètre. Les attentes et les promesses relatives à ce domaine sont nombreuses. Certains scientifiques prédisent une révolution de la branche informatique dans les prochaines années due à une communication à large bande des données plus rapide et avec des pertes plus faibles, et ce, grâce à la plasmonique.

À l'heure actuelle, la plasmonique est déjà créditée de plusieurs applications dans le domaine médical en matière de lutte contre le cancer. Elle est également sur le point d'effectuer une percée dans le domaine de la technologie des capteurs, plus précisément dans celui des systèmes de détecteurs à haute sensibilité et à basse consommation. No

TECHNOLOGIE **HARDWARE**

nische Wellenleiter oder plasmonische Modulatoren. Um einen Laser in einem plasmonischen Schaltkreis integrieren zu können, müssen Standardlaser weiter miniaturisiert und auf dem Silizium-Wafer integriert werden. Das dabei erzeugte Licht muss durch Ein- und Auskoppelung in einen Wellenleiter auf die aktiven plasmonischen Strukturen geleitet werden, was heutzutage noch mit sehr hohen Verlusten verbunden ist. Kürzlich haben Forscher eine optische Antenne entwickelt, die Licht auf einen sehr kleinen Punkt fokussiert. Diese sogenannte plasmonische Laser-Antenne sammelt das Licht und wirft es auf einen wenige 10 nm grossen Punkt.[7] Plasmonische Wellenleiter bestehen meistens aus Metall und Dielektrikum in einem Drei-Schichtsystem, das bereits eine erhebliche eindimensionale Lokalisierung der elektromagnetischen Strahlung zeigt. Neuartige Konzepte schlagen – ähnlich wie bei einem elektrischen Draht – 50 nm dünne Dielektrikumsleiter mit Metallummantelungen vor. Momentan können solche Leiter aber bloss wenige 10 nm weit Plasmonen leiten. Um die Propagationslänge zu verbessern, werden zurzeit V-artige Kerben in einem Metallfilm angeschaut, welche schon bei relativ stumpfen Kerben eine effiziente Lichtlokalisation und -leitung zeigen. Neben Plasmonenquellen und Leitern sind auch entsprechende Modulatoren notwendig, um einen Schaltkreis herzustellen und den Datenfluss durch Lichtmanipulation zu beeinflussen. Prinzipiell wird hier ein optisches Trägersignal durch ein elektronisches, optisches oder plasmonisches Gate moduliert, ähnlich wie beim Feldeffekttransistor im rein elektrischen Fall. Vor wenigen Jahren wurde ein Modulator, der per elektronischem Gate ein optisches Signal steuert, erfolgreich produziert und vorgestellt.[8] Diese Modulatoren stellen einen ersten Schritt in Richtung eines rein plasmonischen «Transistors» dar. Wären all diese plasmonischen Bauteile als Herzstück eines ultraschnellen elektro-optischen Signalprozessor-Systems einsetzbar, so könnten diese die Informationstechnologie von Grund auf revolutionieren.

Schlussfolgerungen

Der Elektronik als auch der Photonik stehen heute fundamentale und konzeptbedingte Hindernisse gegenüber: Die immer kleiner werdenden elektronischen Bauteile stossen hinsichtlich des Energieverbrauchs und der Geschwindigkeit allmählich an ihre Grenzen, was den praktischen Einsatz gerade bei netzunabhängiger Elektronik massiv einschränkt. Ähnliche Miniaturisierungshürden sind in der Photonik durch das Beugungslimit vorhanden. Die Plasmonik erscheint hier als neuartige Lösung, da sie es erlaubt, Licht verlustarm zu leiten und in kleinste Volumina – viel kleiner als die Wellenlänge des verwendeten Lichts – zu konzentrieren. Sie verspricht dadurch eine mögliche Verschmelzung von Elektronik und Optik auf der Nanometerskala und überwindet die physikalischen Grenzen der traditionellen Optik.

Trotz des grossen Potenzials befindet sich die Plasmonik jedoch noch in den Anfängen. Die Fähigkeit, Licht auf kleinsten Längenskalen zu manipulieren, scheint gleichzeitig ein Segen als auch ein Fluch zu sein: Das Beugungslimit kann zwar überwunden werden, da jedoch alles auf engstem und kleinstem Raum geschieht, haben mikroskopische Details einen grossen Einfluss auf die Plasmonen, insbesondere deren Ausbreitungslänge. Daher bedarf es letztlich präzisester Herstellungsprozesse im Nanometer- oder gar Angströmbereich, um die kollektiven Oszillationen nicht zu zerstören und die Nahfelder für Anwendungen einzusetzen. Die Fabrikation plasmonischer Strukturen in den neuartigen «Noise-free»-Laboren scheint die notwendigen Fortschritte in der Herstellungsgenauigkeit zu erbringen, da hier störende Einflüsse unterdrückt werden. Damit können nun plasmonische Antennen entworfen und mit beispielloser Präzision hergestellt werden, welche in einem ersten Ansatz als Sensoren für die Detektion einzelner Moleküle zur Umweltüberwachung eingesetzt werden. Die notwendige Selektivität wird durch chemische Funktionalisierung erreicht, um die zu analysierenden Stoffe selektiv zu binden. Durch die hohen Feldstärken wird Einzelmolekülempfindlichkeit angestrebt, was die Detektion kleinster Stoffmengen erlauben würde.

Nicht nur in der Sensorik, sondern auch im IT-Bereich prognostizieren Wissenschaftler eine Revolution durch die Plasmonik mit der Möglichkeit von schnelleren, breitbandigeren und verlustärmeren Datenkommunikations- und Manipulationsmöglichkeiten. Das potenzielle Anwendungsgebiet erstreckt sich aber weit darüber hinaus. Durch Plasmonik könnten auch Gebiete wie die Fotovoltaik oder die Medizin massgeblich profitieren.

Referenzen

[1] International Roadmap of Semiconductors (ITRS): www.itrs.net.

[2] G. Mie, «Die optischen Eigenschaften kolloider Goldlösungen», Colloid Polym. Sci., Vol. 5, Seite 129, 1907.

[3] E. Lörtscher, B. Gotsmann, D. Widmer, «Einblicke in eine neuartiges Laborkonzept», Bulletin SEV/VSE, Vol. 10, Seiten 1–6, 2011; E. Lörtscher, D. Widmer, B. Gotsmann, «Next-Generation Nanotechnology Laboratories with Simultaneous Reduction of all Relevant Disturbances», RCS Nanoscale, Vol. 5, Seite 10542, 2013.

[4] L. Novotny, «Effective Wavelength Scaling for Optical Antennas», Phys. Rev. Lett. Vol. 98, Seite 266802, 2007.

[5] H. Xu, E. J. Bjerneld, M. Käll, L. Börjesson, «Spectroscopy of Single Hemoglobin Molecules by Surface Enhanced Raman Scattering», Phys. Rev. Lett., Vol. 83, Seite 4357, 1999.

[6] R. R. Frontiera, N. L. Gruenke, R. P. Van Duyne, «Fano-Like Resonances Arising from Long-Lived Molecule-Plasmon Interactions in Colloidal Nanoantennas», Nano Lett., Vol. 12, Seite 5989, 2012.

[7] E. Cubukcu, E. Kort, K. B. Crozier, F. Capasso, «Plasmonic Laser Antenna», Appl. Phys. Lett., Vol. 89, Seite 093120, 2006.

[8] J. A. Dionne, K. Diest, L. A. Sweatlock, H. A. Atwater, «PlasMOStor: A Metal–Oxide–Si Field Effect Plasmonic Modulator», Nano Lett., Vol. 9, Seite 897, 2009.

Autoren

Cynthia Gruber arbeitet als Doktorandin an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich und bei IBM Research – Zurich. Sie befasst sich mit der Herstellung und optischen Charakterisierung von Nanostrukturen für plasmonische Anwendungen.

ETH Zürich, 8092 Zürich, cgruber@ethz.ch

Dr. **Koushik Venkatesan** arbeitet als Gruppenleiter am Institut für Chemie an der Universität Zürich. In seiner Habilitation beschäftigt er sich mit Molekülen, die Energie in Licht umwandeln, sogenannten OLEDs. Ein weiterer Teil seiner Forschung befasst sich mit der Umwandlung von Licht in Energie, die in Solarzellen Anwendung findet.

Universität Zürich, 8057 Zürich
venkatesan.koushik@chem.uzh.ch

Prof. Dr. **Lukas Novotny** leitet die Professur für Photonik an der ETH Zürich. Er widmet sich der Erforschung der Wechselwirkung zwischen Licht und Materie in Nanostrukturen. Hierzu gehören unter anderem optische Antennen als auch Resonatoren zur Steigerung der Leistungsfähigkeit und der Effizienz in Fotodetektoren, LEDs oder optischen Sensoren.

ETH Zürich, 8092 Zürich, lnovotny@ethz.ch

Dr. **Emanuel Lörtscher** arbeitet als Research Staff Member bei der IBM Research – Zurich im Science & Technology Department. Er ist Projektleiter für die «Noise-free» und befasst sich mit Nanotechnologie, im speziellen mit den elektrischen und optischen Eigenschaften von Nanostrukturen wie Molekülen oder Nanodrähten für zukünftige Anwendungen in der Informationstechnologie.

IBM Research GmbH, 8803 Rüschlikon
eml@zurich.ibm.com

Das gemeinsame Forschungsprojekt «Field-Enhanced chemical-optical spectroscopy platform for molecular sensing» zwischen der ETHZ, der Universität Zürich und IBM Research – Zurich wird ab Oktober 2014 durch den Schweizerischen Nationalfonds (SNF) finanziert, für dessen Förderung sich alle Projektbeteiligten herzlich bedanken.

Switzerland online – alles vernetzt!

15. asut-Kolloquium – Kursaal Bern – 4. November 2014

Referenten

- Dr. Malgorzata Bugajska, Leiterin Team Mobile Products Enterprise Customers Swisscom AG
- Martin Bürki, Managing Director Ericsson Schweiz AG
- Patrick Burkhalter, Geschäftsführer Ergon Informatik AG
- Michael Frank, Direktor Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
- Heinz Herren, CIO/CTO Mitglied der Konzernleitung Swisscom AG
- Prof. Dr. Friedemann Mattern, ETH Zürich, Departement Informatik
- Nicolas Mayencourt, CEO Dreamlab Technologies AG, Member of the Board ISECOM
- Daniel Roner, Leiter Bereich System Innovation Belimo Automation AG
- Philipp Rütsche, CEO Cyscon Schweiz
- Hans Schuppli, Geschäftsführender Partner Avicor Services AG
- Jürg Steiner, Leiter Grossprojekte Telekommunikation und Sicherheit TUS
- Peter Grütter, Präsident asut

Die moderne Kommunikationsinfrastruktur hat sich zu einer Basisinfrastruktur von Wirtschaft und Gesellschaft entwickelt. Sie muss immer leistungsfähiger werden und gleichzeitig robust, agil und sicher sein. Am asut-Kolloquium «Switzerland online – alles vernetzt!» informieren Experten aus der ICT-Branche, aus der Stromwirtschaft sowie Anwender über die aktuellen Herausforderungen und zukünftigen Entwicklungen in der Schweiz. Im Mittelpunkt stehen neue Technologien, die Einführung von All-IP, intelligente Steuerungen sowie die zunehmende Vernetzung von Menschen, Daten, Prozessen und Dingen. Ein spezielles Augenmerk gilt dabei der Sicherheit im Internet.

Das asut-Kolloquium 2014 im Kursaal Bern bietet wertvolle Networkingmöglichkeiten, interessante Referate und in der parallel geführten Ausstellung können Sie sich über die neuesten Trends informieren und mit Experten diskutieren.

Sichern Sie sich jetzt Ihren Platz am 15. asut-Kolloquium und melden Sie sich heute noch an. Mitglieder von VSE / electrosuisse / ITG können zu einem Vorzugspreis von CHF 330.– (anstelle CHF 490.–) an der Veranstaltung teilnehmen. Wir freuen uns auf Ihre Teilnahme!

Weitere Informationen/Onlineanmeldung: www.asut.ch (Veranstaltungen/asut-Kolloquium), info@asut.ch / +41 31 560 66 66

Executive CAS im Energiebereich

Flexibel

- 7 Module Teil- oder Vollzeit
- Starttermin und Dauer des Studiums frei wählbar
- Optimale work-life Balance

Von Praktikter zu Praktiker

- Top-Aktuelle Praxisbeispiele
- Gelerntes direkt umsetzen
- Internationale Experten aus der Branche

Praktische Informationen

- Kurssprache - Englisch
- Kursort - Universität Freiburg
- Programmgebühr - CHF 9'800.-

UNIVERSITY OF FRIBOURG
FACULTY OF ECONOMICS & SOCIAL SCIENCES
iimt - international institute of management in technology - Bd de Pérolles 90 - CH-1700 Fribourg
Phone +41 26 300 84 30 - Fax +41 26 300 97 94 - e-mail iimt@unifr.ch - www.iimt.ch

iimt University of Fribourg international institute of management in technology

UNI FR