



Technische Elektronik

Auf der Suche nach dem Licht von morgen mit hochauflösender 3D Nanoimprint Technologie

Für Hartmut Hillmer ist das Institut für Nanostrukturtechnologie und Analytik ein Zentrum für Forschung, Technologietransfer und Ausgründungsprojekte.

Wenn intelligente Fenster künftig das Tageslicht stets genau an jene Stelle in den Raum hinein spiegeln, wo es benötigt wird oder wenn gesundheitsbewusste Menschen zur Diagnose bestimmter Stoffwechselvorgänge demnächst optische „Nano-Sensoren“ benutzen, statt sich einer Blutentnahme zu unterziehen oder Medikamente als Nanopartikel eingeatmet werden, dann wird der Kasseler Elektrotechniker Hartmut Hillmer seinen Anteil daran haben. Er gehört dem CINSaT (Center for Interdisciplinary Nanostructure Science and Technology) an und ist einer der beiden Direktoren des INA, dem Institut für Nanostrukturtechnologie und Analytik.

400 Quadratmeter Reinraum der europäischen Spitzenklasse

Das INA ist ein „Inkubationszentrum“. Es ist neben einem Forschungszentrum auch ein Technologietransfer-, Gründer-, und Entwicklungszentrum. Das INA erforscht und entwickelt

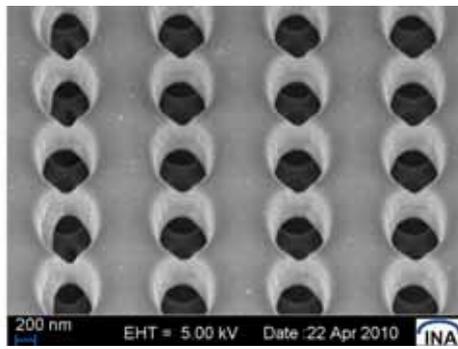
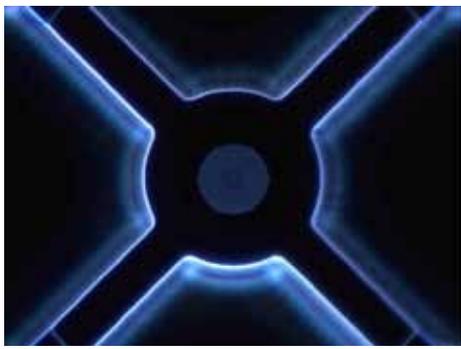
nicht nur Materialien für die Nanowelt, es schafft auch die Werkzeuge, um Nano-Strukturen und -Komponenten zu bauen und es konstruiert und fertigt schließlich die Nano-End-Systeme. Die Wissenschaftler des INA beherrschen die Nanotechnologie und Nanosystemtechnik, wie optische Systeme für Licht ultrakurzer Wellenlänge, das von Glasoptiken völlig absorbiert würde. Sie bauen Sensoren, die ein optisches oder mechanisches Signal in ein elektrisches wandeln, oder Aktuatoren, die ein elektrisches Signal in ein mechanisches oder optisches umsetzen. Es verfügt über 400 Quadratmeter Reinraum, teilweise mit einer Reinheitsklasse, die wohl in Europa, schätzt Hillmer, nur äußerst selten anzutreffen ist.

In der Nanowelt verliert das Gewohnte die ihm unterstellte Gesetzmäßigkeit

Die Miniaturisierung ist nicht allein ein quantitativer Prozess sondern sie führt zu einer neuen Qualität der Materialien, der Werkzeuge, die aus ihnen gebaut sind und sie erlaubt neue technische Lösungen schlechthin. Gewohntes verliert die ihm unterstellte Gesetzmäßigkeit. Nicht die Naturgesetze sind außer Kraft gesetzt, aber die Relationen zwischen den

Links: Die Focussed Ion Beam Anlage zur hochauflösenden, maskenlosen Lithographie, Deposition und Ätzen
Rechts: Leuchten statt Piksen mit dem Nanospektrometer





Polarisations- und wellenlängen-selektive photonische Kristallstrukturen

Um das Licht zu modulieren, installiert Hillmer zwei Nano-Spiegel, die ihrerseits aus mehreren ultradünnen Schichten

fundamentalen Kräften verschieben sich. Anschaulich wird dies an der Bedeutung der Kräfte in Relation zur Größe. In der großen Welt, der Makrowelt, in der wir leben, dominieren die Gewichtskraft und Trägheitskraft im Alltag. Sie führen vielfach zum mechanischen Verschleiß oder der Zerstörung, wenn sich Kolben in Motoren heben und senken oder wenn Fahrzeuge kollidieren. Die elektrostatische Kraft spielt in der Makrowelt nur selten eine große Rolle. Wenn aber die Dimensionen schrumpfen, nehmen alle Kräfte ab jedoch in unterschiedlichem Maß. Mit sinkender Größe verlieren Gewichtskraft und Trägheitskraft rasch an Bedeutung. Die elektrostatische Kraft nimmt jedoch wesentlich weniger ab. Im Nanokosmos dominiert sie in Relation zu den anderen Kräften schließlich. Das heißt: Wenn ein Glas zu Boden fällt, zersplittert es. Fällt ein Kleinstpartikel dieses Glases zu Boden, bleibt er unversehrt. In der Zwergenwelt der Nanotechnologie gibt es kaum Verschleiß und Zerstörung wie in der Makrowelt. Das bedeutet zugleich: Je kleiner der Gegenstand, desto geringer kann die Spannung sein, um seine einzelnen Teile mit Hilfe elektrostatischer Kraft zu bewegen, denn Gewichtskraft und Trägheitskraft sind nahezu bedeutungslos.

Nanophotonische Kristalle erschließen neue Dimensionen in der optischen Informationstechnik

Die Nanotechnologie beschleunigt den Informationsfluss. Das INA arbeitet daran, dass mehr Informationen in kürzerer Zeit ihren Empfänger erreichen. Filter wurden entwickelt, mit denen Information auf den Informationsträger Licht verschiedener Wellenlänge aufmoduliert und wieder entnommen wird. Die Information wird als Lichtsignal codiert im Glasfasernetz transportiert. Korrespondierende Sender und Empfänger sind auf eine Trägerfrequenz eingestellt.

bestehen, parallel zueinander.

In Wechselwirkung miteinander reflektieren die beiden Spiegelhälften das Licht, das nicht der gewünschten Kommunikationswellenlänge entspricht. Sie lassen nur Licht durch, dessen Wellenlänge genau auf die Spaltbreite zwischen den Spiegeln abgestimmt ist. Um naheinander die Kommunikation unterschiedlicher Nutzer und Endgeräte zu ermöglichen, werden unterschiedliche Trägerfrequenzen eingestellt, indem die beiden Spiegel mit einer Spannung bewegt, also „aktuiert“ werden. Je nach Spannung ziehen sich die beiden Spiegel unterschiedlich stark an und die Spaltbreite variiert um wenige nm. Mit der Spaltbreite ändert sich die Wellenlänge und damit die Frequenz des Lichtes. Mit diesen Nanofiltern hält die Kasseler Universität zwei internationale Bestwerte für ultraschnelle Abstimmung. Mit ihnen ist die spektrale Abstimmung um 221 nm mit 27 Volt Steuerspannung möglich und um 142 nm mit nur 3,2 Volt. Möglich waren bisher 100 nm mit 23 Volt. Diese Spiegel werden momentan in Form von dreidimensionalen Photonischen Kristallen verfeinert.

Das INA revolutioniert die Herstellungstechnik der nächsten Chip-Generation

Die Computer werden immer leistungsfähiger. Das bedeutet eine wachsende Anzahl von Bauelementen auf immer kleinerem Raum. Die Wissenschaftler greifen in die Trickkiste, optimieren ein einmal beherrschtes System bis an seine Entwicklungsgrenze, ersetzen in einem optischen Abbildungssystem zur Chipherstellung zum Beispiel Luft teilweise durch Öl oder extrem trickreiche Masken. Doch irgendwann ist die Zauberkiste leergeräumt. Dann muss der Technologiewechsel geplant und verwirklicht werden. Das erfordert Konzepte, die Verständigung auf Systemmerkmale, damit sich die Teile des Ganzen später ineinander fügen. Es braucht Zeit und die Anstrengung vieler.

Um die komplexen, immer kleiner werdenden Strukturen der herzustellenden Chips verkleinernd auf die Wafer zu projizieren, muss auch das Licht „kleiner“ werden. Das heute genutzte Licht ist zu langwellig, um die gewünschten Nanostrukturen auf den Chips abzubilden. Die Wellenlänge soll auf 13 nm sinken.

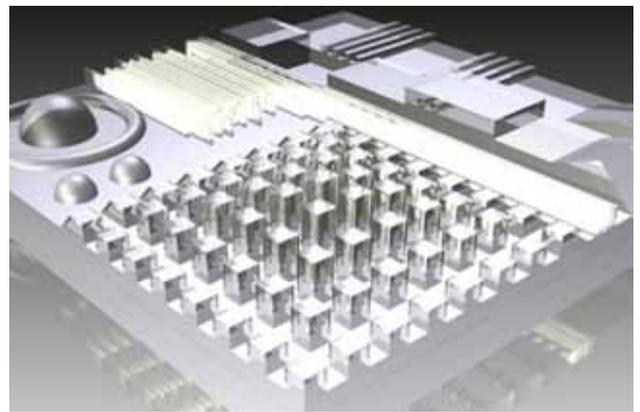
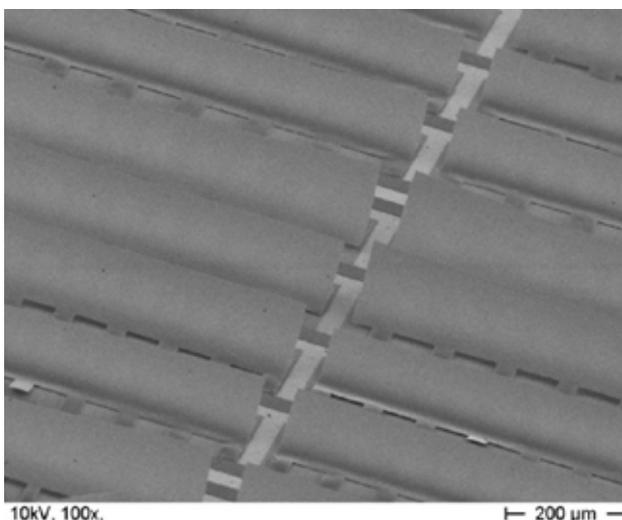
Hochauflösende Abformung von dreidimensionalen Nanostrukturen

Nanoimprint erlaubt die passgenaue Abformung eines Negativs (Stempel mit Oberflächenstruktur) in eine aushärtbare Positiv-Struktur. Eingestellt wird das Verfahren für die Mikrospiegelfelder und Nanospektrometer. Nanospektrometer kombinieren ca. 1 mm² eines CCD Felds mit nanoschalig gedruckten dreidimensionalen Strukturen, so dass jeder Pixel innerhalb eines spektralen 1 nm Rasters eine andere Farbe sieht. Im Gegensatz dazu sieht eine Digitalkamera nur 3 Farben (rot, grün und blau). Das Nanospektrometer soll später einmal in die Unterseite einer Uhr integriert werden. Biomarker in der menschlichen Haut sollen damit nach Beleuchtung mit einer LED später einmal quantitativ gemessen werden.

Die Nanotechnik kann mit Licht riechen

Die Nanotechnik kann mit Hilfe von Laserlicht auch riechen. Gelangt ein bestimmtes Molekül in einen Laserstrahl, so gibt die Lichtschwächung

REM-Aufnahme eines Mikrospiegelfelds



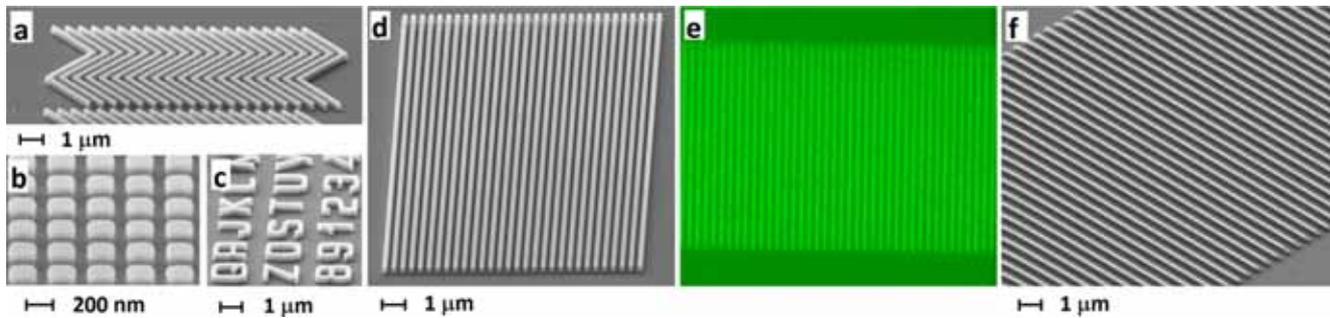
Auskunft über das Molekül. Dieses Konzept macht sich

Schematische Darstellung eines 3D Nanoimprint Stempels

Hillmer in der Medizintechnik zu Nutze. Der effektive Fettverlust während einer Diät lässt sich durch eine Analyse des Atems ermitteln. Bestimmte Stoffe in der ausgeatmeten Luft, sogenannte Biomarker, geben mittelbar Auskunft über die Fettverbrennung. Statt sich zu wiegen, was ungenau ist, weil neben dem Fettverlust auch andere Faktoren das Gewicht bestimmen, lässt Hillmer den Diätpatienten in eine Art „Trillerpfeife“ blasen. In dem Mundstück ist ein Halbleiterlaser installiert. Die Schwächung des Lichtstrahls erlaubt den Rückschluss auf einzelne Moleküle in der zu untersuchenden Atemluft. Hillmer will die „Pfeife“ ins Mobiltelefon bauen, damit die Messung und Datenspeicherung an jedem Ort möglich ist und bei lebenswichtigen Anwendungen in der Stoffwechselüberwachung der Notarzt durch den Messwert automatisch alarmiert wird.

Fenster als Monitore oder Sonnenlichtsammler

Die Nanotechnologie kann helfen, Energie zu sparen. In einem Fenster lassen sich zwischen den Doppelscheiben Mikrospiegel-Arrays installieren, Felder von winzigsten Spiegeln, die mit zum Beispiel 100 mal 400 µm so klein sind, dass sie für das Auge unsichtbar sind. Über Sensoren will Hillmer die Spiegel so steuern, dass sie einen Raum stets dort ausleuchten, wo sich Menschen befinden und Tageslicht benötigen. Freilich lassen sich die Spiegel auch umklappen, um den Raum zu verdunkeln. Oder sie lassen sich pixelweise steuern. 1 heißt hell, und 0 heißt schwarz. Das Fenster wird zum Schwarz-Weiß-Monitor. Werden die Spiegel noch weiter miniaturisiert, dass sie nur noch Licht einer bestimmten Wellenlänge reflektieren, lassen sich über die Arrays Interferenzen erzeugen.



Mit NanoImprint hergestellte Nanopartikel - Medikamente zum Inhalieren

Wellen bestimmter Längen werden verstärkt, andere ausgelöscht. Die Fenster werden zum Farbmonitor, oder aber sie steuern die Raumfarbe. Filtern sie gelbes Licht heraus, schimmert der Raum blau. Bisher konnte die Größe des intelligenten Fensters auf 10 cm x 10 cm gesteigert werden.

Maßgeschneiderte Dreidimensionale Nanopartikel mit Medikamenten zum Einatmen

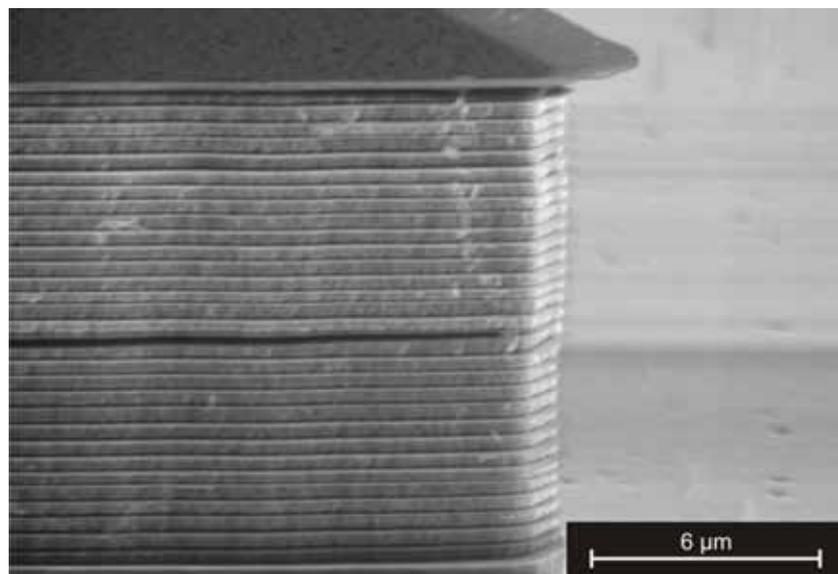
Das Ziel der Forschung sind maßgeschneiderte 3D Nanopartikel aus einer Lösung analog einer Buchstabensuppe. Eingesetzt wird ein neuartiges dreidimensionales Abformungsverfahren, das später einmal wie eine Kombination nanoskaliger Waffeleisen und einem endlos über zwei Walzen laufenden Bandes arbeiten soll. Buchstaben und andere dreidimensionale Strukturen werden hergestellt.

Die X-ray disk speichert über 100.000 MB

Hillmer sucht nach Materialien und Strukturen, mit denen Wellenlängen zugänglich werden, die mit den heutigen Materialien noch nicht erreichbar sind, um Informationen noch enger zu verdichten und ihren Fluss zu beschleunigen. Die CD als Datenspeicher mit 700 MB wird mit infrarotem Licht (780 nm)

Hybride vertikal emittierende Laserstruktur alternierend aus organischen und anorganischen Schichten.

gelesen. Die DVD verfügt als Datenspeicher über 4.700 MB und wird mit rotem Licht (650 nm) gelesen, das kurzwelliger ist als das infrarote. Die blue-ray disk speichert bis zu 20.000 MB und arbeitet mit blauem Licht bei 405 nm. Ziel der Wissenschaftler ist ein Speicher, der von ultraviolettem Licht gelesen wird. Hillmer kooperiert dabei mit seinem Nachbarn und Kollegen Josef Salbeck am CINSaT, der sich dort mit der Entwicklung von Organic Light Emitting Devices (OLEDs) befasst. Damit verwandte Laser könnten als Quelle des gewünschten kurzwelligen UV Lichts dienen. Durch die Kooperation beider Arbeitsgruppen werden nanoskalig alternierende Schichten aus den jeweiligen Kompetenzfeldern beider Gruppen: anorganische Materialien als mechanisch stabiles Skelett werden periodisch infiltriert durch organische Materialien als laseraktives Medium.



Prof. Dr. Hartmut Hillmer

Prof. Dr. Hartmut Hillmer studierte an der Universität Stuttgart Physik und promovierte dort 1989 zum optisch detektierten Ladungsträgertransport in Nanostrukturen. Zehnjährige Forschungstätigkeit in der Industrie: Deutsche Telekom Forschungszentrum, NTT Optoelectronics Labs., Japan. Habilitation 1996 zu Design, Herstellung und Charakterisierung von AlGaInAs Nanostrukturen und ultraschnellen Halbleiterlasern (TU Darmstadt). Seit 1999 leitet er das Fachgebiet Technische Elektronik am Institut für Nanostrukturtechnologie und Analytik (INA) der Universität Kassel. Aktuelle Forschungsinteressen: Nanosystemtechnik und nanophotonische Bauelemente für die Informationstechnik und Sensorik. Er war von 2000 bis 2002 Dekan und Studiendekan des Fachbereichs Elektrotechnik und Informatik. Europäischer-Innovationspreis 2006: Hochempfindlicher Nanosensor für die Detektion von Spurengasen in der Atemluft.

