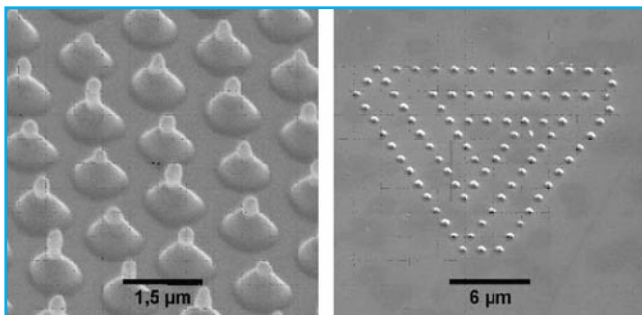


### Einleitung

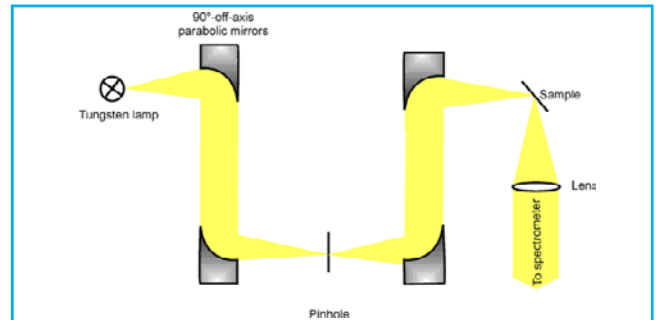
Nanostrukturierte Materialien gewinnen zunehmend an technologischer Bedeutung, da zum einen die Herstellungsprozesse immer weiter verfeinert werden und man zum anderen ein besseres Verständnis für die besonderen Eigenschaften dieser Materialien und der zu Grunde liegenden physikalischen Wechselwirkungsmechanismen entwickelt. Durch nanoskopische Materialien, deren Interaktion mit dem elektromagnetischen Feld maßgeschneidert werden kann, erhofft man sich zum Beispiel Optiken ohne Beugungsbegrenzung, hochreflektierende breitbandige Spiegel oder effizientere Solarzellen. Um während der Herstellung Möglichkeiten zur Charakterisierung und Kontrolle solcher Nanostrukturen zu haben, sind vor allem nichtdestruktive und schnelle Meßmethoden notwendig. Hierfür bieten sich insbesondere optische Verfahren an.



**Abb.1:** „Nanobumps“ hergestellt durch Beschuss eines dünnen Goldfilms mit intensiven Femtosekunden-Laserpulsen. Pro Schuss entsteht ein Bump. Die Energie in einem Laserpuls und die Schichtdicke des Goldfilms bestimmen hierbei die Form der erzeugten Bumps. Abbildung aus F. Korte, J. Koch, B. N. Chichkov (Laserzentrum Hannover), Appl. Phys. A 79, 879 (2004).

### Ergebnisse und Diskussion

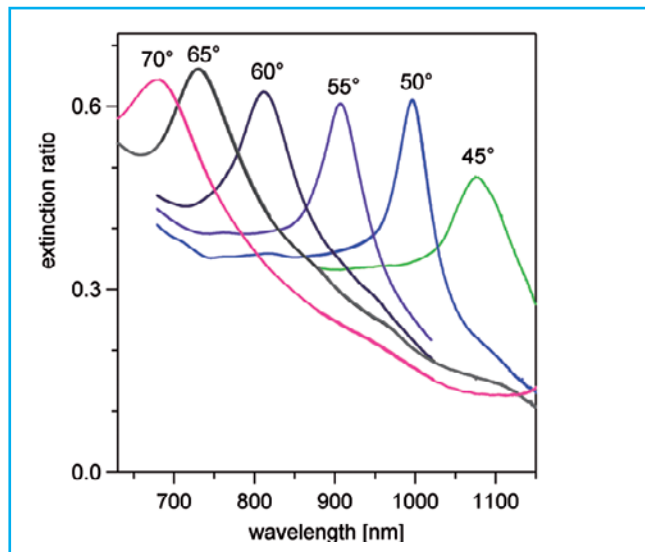
Zur Untersuchung der in Abb. 1 gezeigten Nanobumps mit optischer Spektroskopie wurde ein Weißlicht-Reflektionsspektrometer aufgebaut, das polarisationsabhängige Messungen in dem Wellenlängenbereich von 300-1100 nm mit einer variablen Ortsauflösung von 9-0,1 mm<sup>2</sup> ermöglicht. Dieser Aufbau ist in Abb. 2 gezeigt.



**Abb.2:** Aufbau des Weißlichtspektrometers, es wurden off-axis Parabolspiegel verwendet um frei von chromatischen und sphärischen Aberrationen zu sein. Die Irisblende (Pinhole) ermöglicht eine variable Ortsauflösung

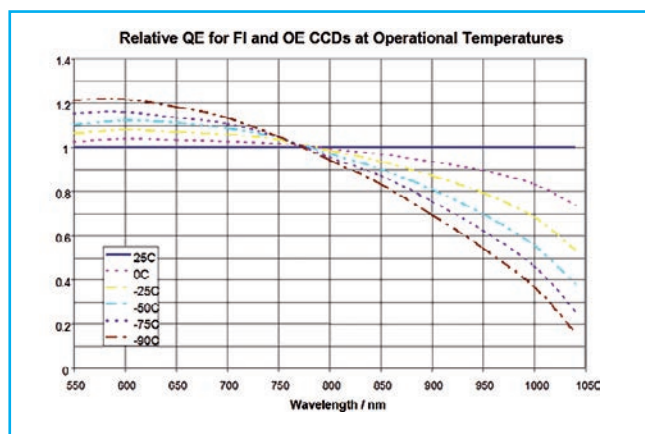
Für die in Abb. 1 gezeigten Probe lassen sich durch Spektroskopie der Oberflächenplasmonen Rückschlüsse auf die Struktur, welche die Plasmonen erzeugt, ziehen. Als Plasmon bezeichnet man das Quasiteilchen der kollektiven Schwingung von Elektronen und dem treibenden Lichtfeld.

An ebenen Metalloberflächen lassen sich typischerweise keine derartigen Oberflächenplasmonen anregen, da die Dispersionsrelation dieser kollektive Anregung an der Metalloberfläche nicht mit der Dispersionsrelation an Luft übereinstimmt. Die untersuchte Nanostruktur ist periodisch angeordnet (Abb. 1, links) und stellt daher einen zusätzlichen reziproken Gittervektor zur Verfügung, mit dessen Hilfe das Plasmon durch das Lichtfeld angeregt werden kann. Einmal angeregt kann das Oberflächenplasmon abstrahlen und spektroskopiert werden, wie in den Spektren in Abb. 3 gezeigt ist. Da die Projektion des reziproken Gittervektors auf den Wellenvektor der elektromagnetischen Welle abhängig vom Winkel des eingestrahnten Lichtes ist, erwartet man für das Spektrum eine ausgeprägte Winkelabhängigkeit. Diese ist in Abb. 3 gut zu erkennen. Unterhalb von 500 nm ist die Absorption im Gold auf Grund der Anregungen der 5d-Elektronen groß und die Plasmonenlinien lassen sich nicht mehr auflösen. Zu den langen Wellenlängen hin ist man zunächst nur durch den Detektor begrenzt, da die Quanteneffizienz von typischen Silizium CCD-Detektoren ab ca. 1000 nm stark abfällt.



**Abb.3: Winkelabhängige Messung des Plasmonenspektrums.** Gut zu erkennen ist die Verschiebung des Plasmonenpeaks zu längeren Wellenlängen für kleinere Winkel. Variiert wurde hierbei der Winkel der Probenoberfläche in Bezug auf den einfallenden Lichtstrahl.

Zudem ist die Quanteneffizienz im NIR-Bereich umso geringer, je tiefer die Kühltemperatur ist. Daher wurde der CCD-Detektor, der thermo-elektrisch bis auf  $-70^{\circ}\text{C}$  gekühlt werden kann, bei Raumtemperatur betrieben, um die geringe Quanteneffizienz oberhalb von 1000 nm nicht noch weiter zu verringern.



**Abb.4: Relative spektrale Änderung der Quanteneffizienz von Front Illuminated (FI) und Open Electrode (OE) CCD-Detektoren bei unterschiedlichen Kühltemperaturen.** Die Quanteneffizienz bei Raumtemperatur ( $+25^{\circ}\text{C}$ ) wurde auf 1 normiert.

Das gute Signal-Rausch-Verhältnis des Spektrometers von LOT-Oriel (Spektrograph MS260i von Oriel Instruments und Open Electrode CCD-Detektor DV420-OE von Andor Technology) hat zuverlässige Messungen bis 1150 nm bei Mittelungszeiten von wenigen Sekunden erlaubt und damit diese Messung möglich gemacht.

Daher sollte man in der Lage sein mit derartigen schnellen und nichtdestruktiven Verfahren, während der Produktion solcher Strukturen eine Qualitätskontrolle durchzuführen.

### Kontakt:

Alexander Grujic, Uwe Bovensiepen, Martin Wolf  
Freie Universität Berlin  
Fachbereich Physik  
Arnimallee 14  
14195 Berlin  
Telefon: +49 30 838 56060  
Fax: +49 30 838 56059  
E-Mail: [wolf@physik.fu-berlin.de](mailto:wolf@physik.fu-berlin.de)  
Web: [www.physik.fu-berlin.de/~femtoweb/](http://www.physik.fu-berlin.de/~femtoweb/)