

# Herstellung und Charakterisierung von nanophotonischen Strukturen mit Hilfe fokussierter Ionenstrahlen

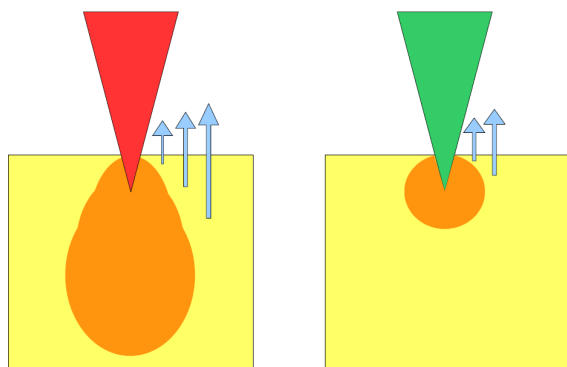
Thomas Kusserow, Matthias Wulf, Nethaji Dharmarasu, Hartmut Hillmer

Institut für Nanostrukturtechnologie und Analytik (INA) und Center for Interdisciplinary Nanostructure Science and Technology (CINaT), Universität Kassel, D-34132 Kassel  
<mailto:kusserow@ina.uni-kassel.de>

Bearbeitungs- und Analysemethoden mit fokussierten Ionenstrahlen (FIB) können auf vielfältige Weise im Bereich der nanophotonischen Strukturen eingesetzt werden. Wir stellen die Grundlagen dieser Technologie, sowie einige typische Anwendungen vor.

## 1 Eigenschaften fokussierter Ionenstrahlen

Teilchenoptische Systeme, die mit Ionen arbeiten, erreichen eine Abbildung mit elektromagnetischen Linsensystemen, wie sie auch in Elektronenmikroskopen verwendet werden. Die Wechselwirkung von beschleunigten Ionen mit Materie unterscheidet sich hingegen grundsätzlich von der zwischen Elektronen und Materie (Abb. 1).



**Abb. 1** Wechselwirkung von Elektronen- (links) und Ionenstrahlen (rechts) mit Materie im Vergleich.

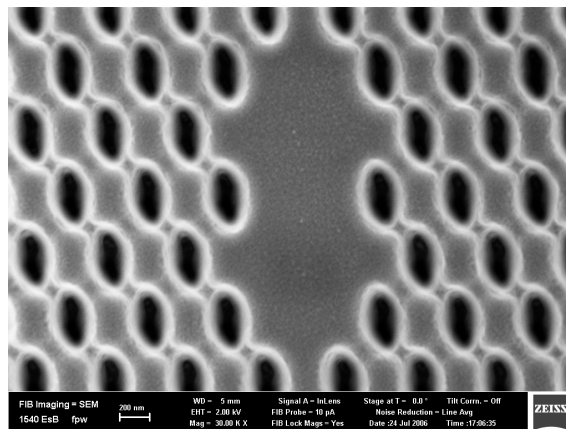
Elektronen dringen im Allgemeinen einige hundert nm in das Material ein, ohne dieses zu beschädigen. Hierbei werden Elektronen gestreut, Sekundärelektronen und weitere Effekte, wie z.B. Augerelektronen und Röntgenspektren erzeugt.

Im Falle der Ionen führt die höhere Masse zu einer deutlich geringeren Eindringtiefe von nur wenigen nm, wobei neben der Erzeugung von Sekundärelektronen und -elektronen, hauptsächlich das Material abgetragen wird. Im Bereich der Wechselwirkung kommt es hierbei auch zu einer Amorphisierung des Materials und zur Implantation der verwendeten Ionen.

Mittels Ga-Ionen, die in den meisten Anlagen verwendet werden, können nahezu beliebige Materialien bearbeitet werden, von harten Kristallen und Keramiken, bis zu organischen und biologischen Proben.

## 2 Strukturierung von Materialien

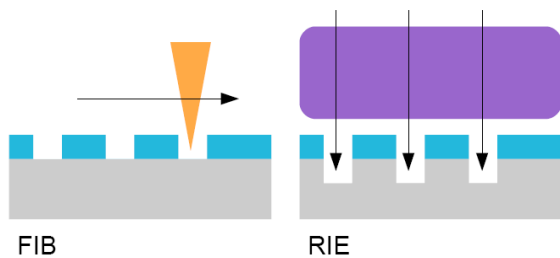
Die Bearbeitung von Proben mit fokussierten Ionenstrahlen ist bis in den Bereich weniger 10 nm möglich und kann durch ein Lithographiesystem, wie bei der Elektronenstrahlolithographie gesteuert werden (Abb. 2). Um eine höhere Qualität zu erreichen, kann optional auch mit Gasunterstützung gearbeitet werden. Der größte Vorteil der FIB-Lithographie liegt im Wegfallen weiterer Prozessschritte, da die Struktur direkt in das Material geschrieben wird. Allerdings limitiert die Geschwindigkeit dieses Vorgangs die Größe der bearbeitbaren Bereiche. Die Hauptanwendungen liegen somit in den Bereichen Forschung, Rapid Prototyping und der 3D Strukturierung von Templates.



**Abb. 2** Photonische Kristallstruktur mit elliptischen Löchern und Defektstruktur, hergestellt durch FIB Lithographie.

Eine Möglichkeit, die Flexibilität der FIB-Lithographie mit der Geschwindigkeit herkömmlicher Verfahren zu kombinieren, besteht darin, eine Hartmaske mit Ionenstrahlen zu strukturieren und diese dann durch ein Trockenätzverfahren in das Substrat zu Übertragen (Abb. 3).

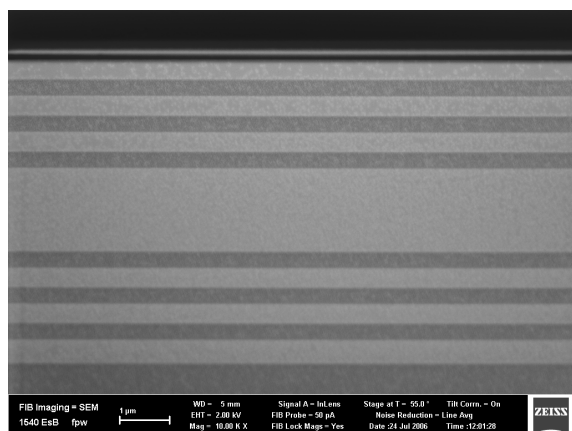
Desweiteren kann mit Hilfe der fokussierten Ionenstrahlung und gleichzeitiger Einleitung von Precursorgasen eine Abscheidung von verschiedenen Materialien, lokal im Fokus, erfolgen.



**Abb. 3** Strukturierung von Hartmasken mittels FIB Lithographie und Strukturübertragung durch Trockenätzprozesse kombinieren die Vorteile der Einzelverfahren.

### 3 Analysemethoden

Neben den Möglichkeiten, eine Probe zu strukturieren, sind vor allem die Anwendung im Bereich der Charakterisierung von Proben interessant. Schneidet man mit dem Ionenstrahl in das Material, ist die Erstellung von Querschnitten (Abb. 4), oder bei scheibenweisem Abtrag auch die Rekonstruktion von 3D Modellen des Inneren einer Probe möglich. Überdies ist die Präparation von dünnen Lamellen zur Untersuchung mit TEM Verfahren möglich. Materialsensitive Methoden, wie z.B. EDX, SIMS oder 3D EBSD können zur Anlage hinzugefügt werden und mit den Schnittmethoden kombiniert werden. Mit Hilfe von Mikro-Meßspitzen werden Untersuchungen von elektrischen Bauelementen im Gerät durchgeführt.



**Abb. 4** Aufnahme eines Querschnitts durch den Schichtaufbau eines schmalbandigen Fabry-Pérot Filters.

### 4 Zusammenfassung

Fokussierte Ionenstrahlverfahren bieten für die Untersuchung, Herstellung und Charakterisierung von nanophotonischen Strukturen viele interessante Möglichkeiten. Eine sehr flexible Strukturierung wird durch eine Lithographiesteuerung ermöglicht. Die Untersuchung von Proben ist mit einer Vielzahl von Verfahren möglich, wobei vor allen der Blick ins Innere eines Materials oder einer Struktur fasziniert und neue Erkenntnisse liefert.