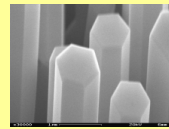


ZnO-Nanosäulen

Gasphasenepitaxie erlaubt das Wachstum von ZnO-Nanosäulen über verschiedene Wachstumsmechanismen wie vapor-liquid-solid (VLS), VLS initiiert, oder VS auf unterschiedlichen Substraten wie Saphir, Silizium, Galliumnitridschichten oder auch Iridiumschichten. Durch Kombination der Wachstumsmechanismen mit den unterschiedlichen Substraten lassen sich ZnO-Nanosäulen für eine große Vielzahl von Anwendungen gezielt herstellen.

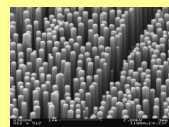
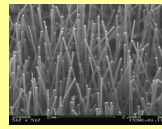


Saphir

- gute Ausrichtung
- isolierend

Silizium

- Standard-substrat der HL-Industrie

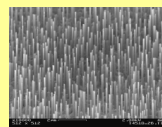


GaN

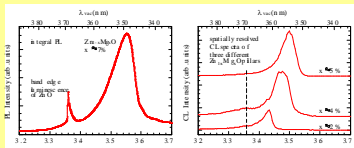
- gute Gitteranpassung
- p/n-leitend

Si mit fcc Iridium

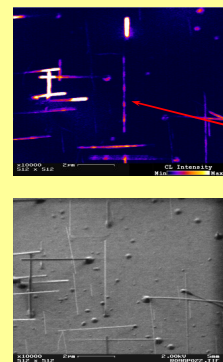
- leitfähiges Substrat
- elektrische Kontaktierung möglich



Durch gezielten Einbau von Magnesium in die ZnO-Matrix der katalytisch gewachsenen Säulen ist es möglich, die Bandkante zu höheren Energien hin zu verschieben. Dies ist besonders für die Herstellung von ZnO-Quantenpunktstrukturen eine notwendige Voraussetzung (bandgap engineering).



ZnO-Nanoresonatoren

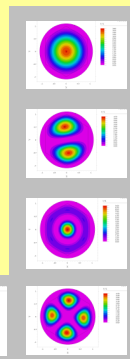


Säulen mit Durchmesser $\approx \lambda/2$ haben extrem kleines Phasenraumvolumen
→ wichtig für Purcell Effekt, Einzelphotonenemitter!

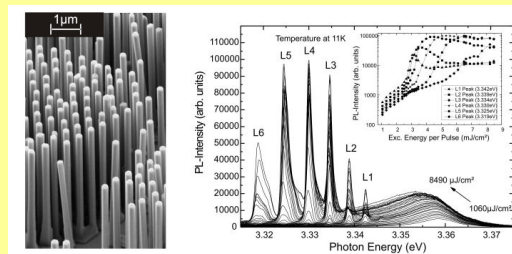
REM-CL: Erste direkte Beobachtung stehender UV-Wellen in Nanoresonatoren!

Modellrechnung von TE-Moden basierend auf Lösung der Helmholtz-Gleichung im hexagonalen Resonator

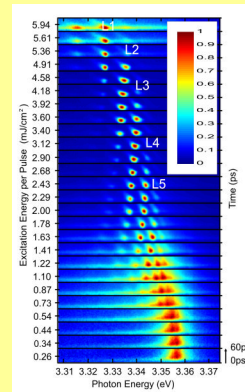
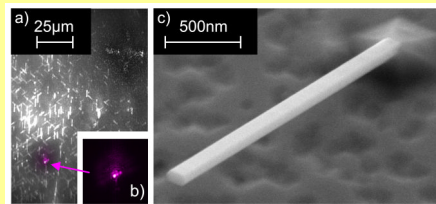
Axiale Modendichte variiert mit Dicke der Säule



Optische Eigenschaften



Unter optischer Hochanregung können ZnO Nanosäulen als Laser funktionieren. Oberhalb einer gewissen Anregungsschwelle dominiert die stimulierte Emission das Spektrum – gekennzeichnet durch eine starke Intensitätszunahme. Hierbei treten meist mehrere Lasermoden auf.



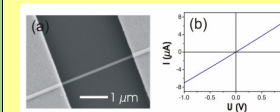
Durch hohe Ortsauflösung können einzelne Nanosäulen gezielt zur stimulierten Emission angeregt und untersucht werden. Ein Beispiel dafür ist im obigen Bild zu sehen.

Mittels einer Streak-Kamera kann das zeitliche Verhalten des Laserprozesses nach gepulster Anregung aufgezeichnet werden. Gezeigt sind im linken Bild mehrere Emissionsspektren bei verschiedenen Anregungsintensitäten der obigen Nanosäule.

Mit einer Erhöhung der Anregungsintensität beobachtet man das Auftreten zusätzlicher Moden und eine spektrale Verschiebung des Bereiches in dem Lasermoden auftreten.

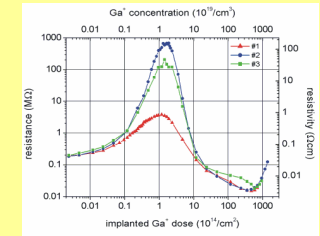
J. Fallert et al., CLEO Konferenz 2007, München (Deutschland)
J. Fallert et al., II-VI Konferenz 2007, Jeju (Südkorea)
H. Zhou et al., II-VI Konferenz 2007, Jeju (Südkorea)
H. Zhou et al., Appl. Phys. Lett., eingereicht
J. Fallert et al., Nature Photonics, in Vorbereitung

Elektrische Eigenschaften

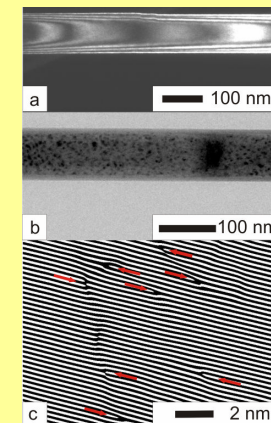


Einzelne ZnO Nanosäulen können mittels eines auf Elektronenstrahlolithographie basierenden Verfahrens kontaktiert werden, um elektrische Kennlinien daran aufzunehmen. Durch geeignete Wahl des Kontaktmetalls lassen sich ohmsche Kennlinien und niedrige Kontaktwiderstände erreichen.

Nach der Kontaktierung können in einem FIB/SEM-System *in situ* Ionenimplantationen und Leitwertmessungen vorgenommen werden. Die Abbildung rechts zeigt den elektrischen Widerstand für drei verschiedene ZnO Nanosäulen als Funktion der implantierten Dosis. Nach einem Anstieg des Widerstandes aufgrund der Entstehung struktureller Defekte nimmt er bei hohen Implantationsdosen wegen der Donatorwirkung von Gallium stark ab.



Strukturelle Eigenschaften



Zur strukturellen Analyse der Defekte werden TEM/HRTEM-Untersuchungen durchgeführt. Vor der Implantation enthalten die ZnO Nanosäulen keine ausgedehnten Defekte.

Für eine Ionendosis von $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ (in der Nähe des Widerstandsmaximums in den Leitwertmessungen) ist eine hohe Defektdichte zu erkennen.

HRTEM-Aufnahmen an implantierten Säulen zeigen Stapelfehler mit einer geringen lateralen Ausdehnung in der Größenordnung von einigen nm. Es ist anzunehmen, dass diese Defekte starke Streuzentren sind, die aufgrund ihrer hohen Dichte eine deutliche Abnahme der Ladungsträger-Beweglichkeit verursachen und dadurch zum Anstieg des elektrischen Widerstandes beitragen.

D. Weissenberger et al., Appl. Phys. Lett., eingereicht