

Maßgeschneidertes sichtbares Licht auf kleinstem Raum

Photonische Kristalle sind maßgeschneiderte, künstlich hergestellte Materialien, in denen man durch geschicktes Design bestimmen kann, wie sich Licht in ihnen ausbreitet. Der Schlüssel dazu ist eine regelmäßige Anordnung von periodischen Strukturen – in Analogie zu der Kristallstruktur des Festkörpers, in dem durch die periodische atomare Struktur die elektronischen Eigenschaften bestimmt werden.

Ein einfaches Beispiel ist ein zweidimensionaler Kristall: Hier werden aus einer dünnen Membran Löcher in hexagonaler Symmetrie ‚herausgestanzt‘. Dadurch wird es dem Licht in der Ebene bei bestimmten Wellenlängen unmöglich, sich auszubreiten – man spricht von einer photonischen Bandlücke. Fügt man nun gezielt Gitterdefekte ein – etwa durch Weglassen einzelner Löcher, kann man das Licht bei einzelnen, wohldefinierten Wellenlängen, sog. Moden, auf das Volumen dieser Defekte einsperren. Man spricht von einem Photonischen Kristall-Resonator, oder einer Defekt-Kavität.

Nützlich ist dies insbesondere bei Halbleiterstrukturen – Hier können optisch aktive Schichten (etwa Quantentröge oder Quantenpunkte) als Lichtemitter verwendet werden. Wird diese Emission in Resonanz mit der Mode gebracht, lassen sich hier interessante neue Kopplungseffekte studieren (z. B. der sog. Purcell-Effekt oder das ‚strong coupling‘). Darüberhinaus kann die Kavität auch als ultrakleiner Laserresonator verwendet werden. Auf diese Weise lassen sich Laser mit verschwindend kleiner Schwelle herstellen.

Die Herstellung solcher Strukturen ist bislang nahezu ausschließlich auf den infraroten Spektralbereich beschränkt geblieben. Das liegt zum einen daran, dass diese Strukturen leichter zu fertigen sind. Die relevanten Strukturgrößen skalieren mit der Wellenlänge des Lichts, die im IR größer ist, als im Sichtbaren. Zum anderen sind für die infrarot-emittierenden Halbleiter, insbesondere GaAs und InP, weit entwickelte Strukturierungsmethoden vorhanden.

Für Bauelemente im Sichtbaren bietet sich GaN an, aus dem etwa blaue Leuchtdioden und Laser hergestellt werden. Hier stehen allerdings keine klassischen Ätzverfahren zur Verfügung, so dass insbesondere bislang keine dünnen Membranen geätzt werden konnten. Dies ist aber zur optischen Isolation absolut notwendig.

Durch die Entwicklung einer neuen, photoelektrochemischen Ätztechnik ist es nun erstmals gelungen, in GaN dünne Membranen¹ mit einer eingebetteten optisch aktiven Schicht herzustellen. Durch die Kombination mit höchstauflösender Elektronenstrahlithografie und Plasmaätztechniken konnte ein zweidimensionaler photonischer Kristall hergestellt werden, in dem das grün-blaue Licht aus dem Quantentrog auf eine Längenskala von ca. 700nm eingesperrt werden konnte. Das Resultat zeigt sich auch in den Emissionsspektren: Die ursprünglich über 20nm breite Emission ist auf ungefähr 1,5nm zusammengeschrumpft. Die Verteilung des elektromagnetischen Feldes in dem Resonator kann mithilfe von Simulationsrechnungen ermittelt werden.

Solche Bauelemente könnten der Photonik die Tür für den sichtbaren Spektralbereich öffnen.

Diese Arbeit entstand im Rahmen einer Kollaboration mit der Gruppe von Prof. Dr. E. Hu an der Universität von Kalifornien in Santa Barbara (UCSB).

¹ E. D. Haberer, R. Sharma, C. Meier, A. R. Stonas, S. Nakamura, S. P. DenBaars, and E. L. Hu, Appl. Phys. Lett. **85**, 5179 (2004).

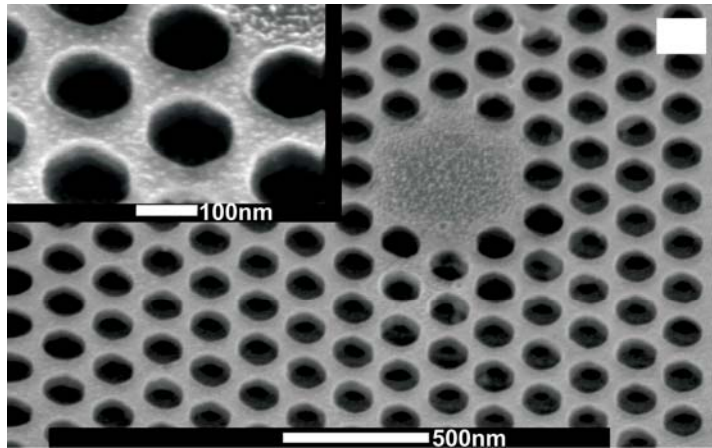


Abbildung 1. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der hergestellten Photonischen Kristall-Resonatoren. Die Aufnahme wurde unter einem 45° Winkel aufgenommen, um die dünne (In,Ga)N-Membran sichtbar zu machen.

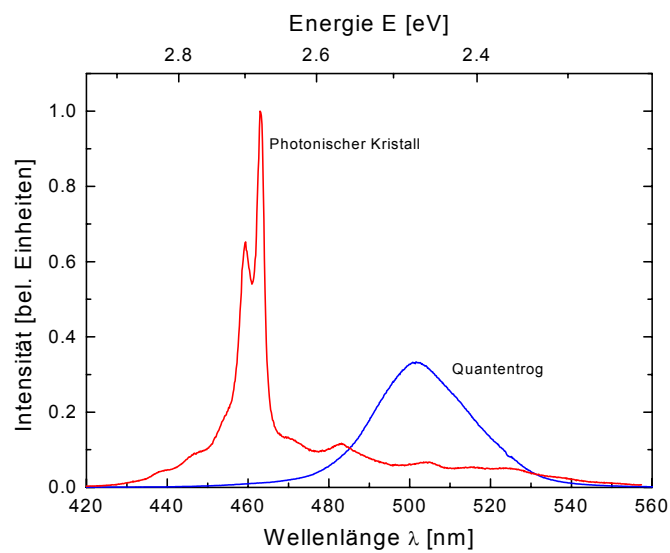


Abbildung 2. Emissionsspektrum des InGaN-Quantentroges vor der Präparation des photonischen Kristalls (Blaue Kurve). Resonatormoden der photonischen Kristall Defekt-Kavität (Rote Kurve).

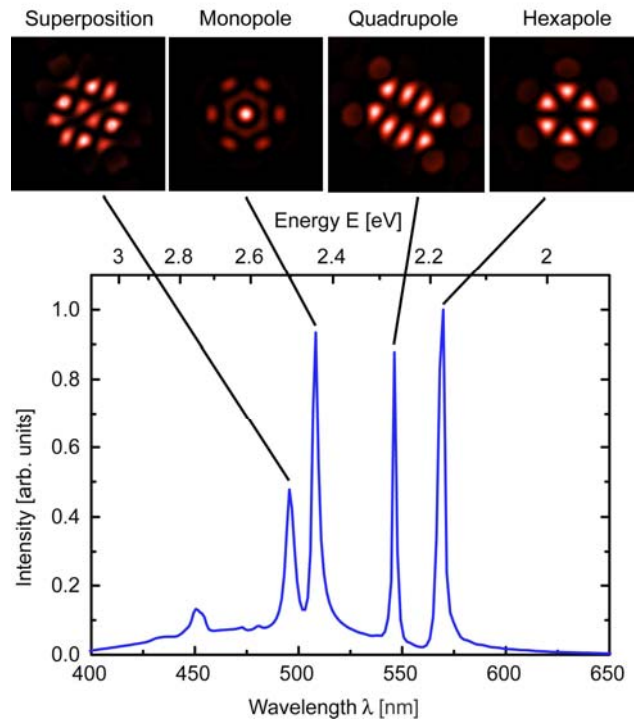


Abbildung 3. Simulation des hergestellten GaN basierten photonischen Bauelements. Die blaue Kurve stellt das berechnete Modenspektrum dar. Die Konturplots im oberen Teil der Abbildung stellen die berechneten Verteilung der H_z -Komponente des elektromagnetischen Felds dar.