hBN-Kavitätsverstärkte Einzelphotonenquelle mit Raumtemperaturbetrieb

Technologie-Lizenz-Büro
der Baden-Württembergischen Hochschulen GmbH

Neuartige Einzelphotonenquelle durch Integration ultradünner hBN-Membranen in faserbasierte Fabry-Pérot-Kavitäten. Erreicht 100-fache spektrale Verstärkung bei Raumtemperatur und eliminiert kostspielige kryogene Infrastruktur für Quantenkommunikation und photonische Quantencomputer.

- Raumtemperaturbetrieb (300 K) eliminiert kryogene Infrastruktur mit 10-30-fachem Kostenvorteil
- 100-fache spektrale Dichteverstärkung gegenüber Freiraum-Filterung
- Spektrale Verengung um Faktor 160 durch Kavitätskopplung
- Helligkeitsrate 4-7 × 10^6 Zählungen/s mit Purcell-Verstärkung
- Integration mit Siliziumnitrid-Wellenleitern und photonischen Schaltkreisen
- Feldbereitstellungsfähig für QKD-Netze und mobile Quantensensoren

Anwendungsbereiche

Quantenkommunikation und QKD-Infrastruktur: Feldbereitstellbare Einzelphotonenquellen für Telekommunikationsnetze (Deutsche Telekom National Quantum Network, EuroQCI), Satellitenquantenkommunikation, verteilte QKD-Netze ohne kryogene Infrastruktur.

Photonische Quantencomputer-Komponenten: On-Chip-Qubit-Quellen für photonische Quantencomputer (PsiQuantum Waferscale-Fertigung bei GlobalFoundries, Xanadu Aurora universeller photonischer Quantencomputer). Deterministische Einzelphotonenquellen als kritische Komponenten für Skalierung zu Utility-Scale-Systemen (~10^6 Quellen pro Maschine).

Kontakt
Dr. Hans-Jürgen Eisler
Technologie-Lizenz-Büro (TLB)
Ettlinger Straße 25
76137 Karlsruhe
Telefon (49) 0721 / 79004-31
eisler@tlb.de | www.tlb.de

Entwicklungsstand
TRL 5 - Technologie in relevanter Umgebung überprüft

Patentsituation
DE 102025131292 anhängig

Referenznummer
25/019TLB

Service
Die Technologie-Lizenz-Büro GmbH ist mit der Verwertung der Technologie beauftragt und bietet Unternehmen die Möglichkeit der Lizenznahme.

Quantensensorik und Bildgebung: Quantenradar, Quanten-LIDAR, biomedizinische Magnetometrie, Einzelspin-Detektion. Raumtemperaturbetrieb ermöglicht mobile Sensoreinsätze und Automotive-Integration für Navigation und Verteidigungsanwendungen.

Hintergrund

Einzelphotonenquellen sind kritische Komponenten für Quantenkommunikation, photonische Quantencomputer und Quantensensoren. Bestehende Quantenpunkt-Systeme benötigen jedoch Dilutions-Kühlschränke bei Millikelvin-Temperaturen mit Gesamtkosten von 750.000-2.500.000 EUR über 5 Jahre. Hexagonales Bornitrid (hBN) hat sich als vielversprechendes 2D-Material mit optisch aktiven Defekten erwiesen, die als Einzelphotonenemitter fungieren können. Die Integration dieser Emitter in photonische Strukturen wurde bisher durch materialbedingte Streuungseffekte limitiert.

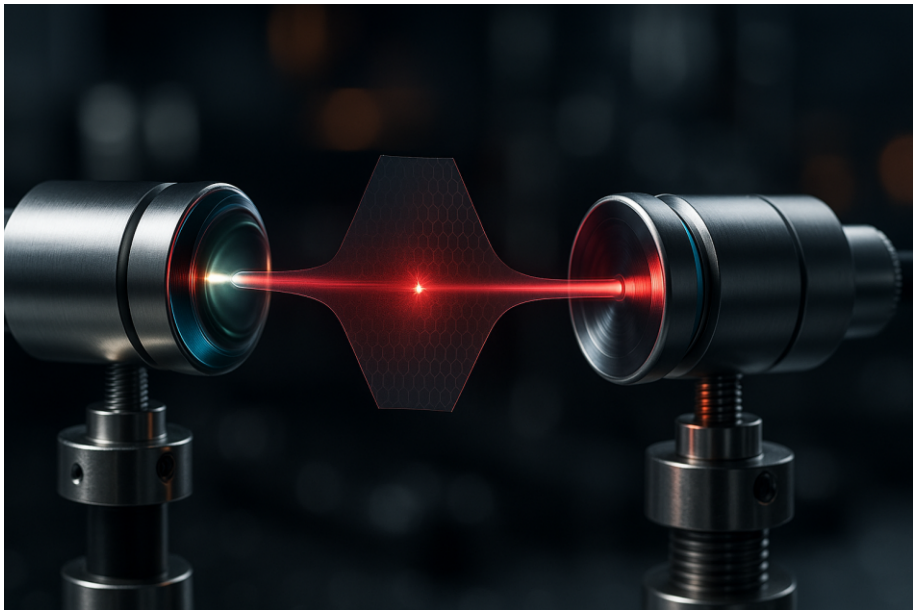
Problemstellung

Kommerzielle Quantenanwendungen erfordern hochreine, helle Einzelphotonenquellen, die bei Raumtemperatur betrieben werden können. Kryogene Systeme sind zu teuer und komplex für Feldbereitstellung in Telekommunikationsnetzen oder mobile Quantensensoren. Bisherige hBN-Quantenemitter zeigten zwar Raumtemperaturbetrieb, erreichten aber nicht die erforderliche spektrale Reinheit und Helligkeit für praktische Anwendungen. Die Integration in optomechanische Kavitäten scheiterte an Streulicht-Problemen durch das hBN-Material.

Lösung

Die Kommerzielle Quantenanwendungen erfordern hochreine, helle Einzelphotonenquellen, die bei Raumtemperatur betrieben werden können. Kryogene Systeme sind zu teuer und komplex für Feldbereitstellung in Telekommunikationsnetzen oder mobile Quantensensoren. Bisherige hBN-Quantenemitter zeigten zwar Raumtemperaturbetrieb, erreichten aber nicht die erforderliche spektrale Reinheit und Helligkeit für praktische Anwendungen. Die Integration in optomechanische Kavitäten scheiterte an Streulicht-Problemen durch das hBN-Material.

Erfindung umfasst ein systematisches Verfahren zur Extraktion membranartig dünner hBN-Strukturen (27-100 nm Dicke), die spektral schmale Einzelphotonenemitter enthalten. Diese Membranen werden mittels nanomanipulativer Techniken in offene faserbasierte Kavitäten integriert. Die Membrandicke liegt unter einem Zehntel der Emissionswellenlänge, wodurch Streueffekte minimiert werden. Durch die Kavitätskopplung wird eine spektrale Verstärkung um den Faktor 100 und eine spektrale Verengung um den Faktor 160 bei vollständigem Raumtemperaturbetrieb erreicht. Das Verfahren überwindet damit erstmals die materialbedingte Limitierung und ermöglicht die Nutzung hochwertiger hBN-Quantenemitter in praktischen optomechanischen Systemen.



Schematische Darstellung: hBN-Membran mit Einzelphotonenemitter in Fabry-Pérot-Kavität (verfügbar auf Anfrage) [Bildquelle: Eisler et al. Dalle 3]

Publikationen und Verweise

P. Maier et al., arXiv 2025, Coupling of single-photon emitters in hexagonal boron nitride membranes to fiber-based Fabry-Pérot microcavities (Manuskript in Vorbereitung)

Maier, Patrick, Kubanek, Alexander. (2025). Extracting Membrane-like hexagonal Boron Nitride hosting single Defect Centers for Resonator Integration. 10.48550/arXiv.2508.13985.