

Schnelles und lokales Ansprechen einzelner Atome im ultravioletten Spektralbereich

Skalierbare Optische Modulatoren für Atomare Quantencomputer (SMAQ)

1 Motivation und Lösungsansatz

- Realisierung von **lokalen Gatteroperationen in Quantencomputern** basierend auf neutralen Atomen erfordert ein hohes Maß an Kontrolle über fokussierte Laserstrahlen und stellt eine der größten Herausforderungen dieses Technologieansatzes dar. Schlüsselkomponenten hierfür sind Flächenlichtmodulatoren (SLMs) oder akustooptische Deflektoren (AODs).
- Für Zweiqubitgatter werden Rydbergzustände genutzt, deren **Anregungsfrequenzen im UV-Spektralbereich** liegen. Da geeignete Hardware zur räumlichen Modulation von UV-Strahlung fehlt, gibt es derzeit noch deutliche Einschränkungen in der lokalen Adressierung von Zweiqubitgattern.
- Im Gegensatz zu AODs oder Flüssigkristall-SLMs bieten **MEMS (mikro-elektro-mechanisches System) basierte SLMs**, die aus einem Array von Mikrospiegeln bestehen, die Möglichkeit auch UV-Strahlung räumlich hochaufgelöst, schnell und präzise zu modulieren. Zur Phasenmodulation werden in SMAQ Senkspiegel-MEMS-SLMs (mit Auslenkung entlang einer vertikalen Hub-Achse) weiterentwickelt und evaluiert.

2 Innovation

- **Kerninnovation:** Weiterentwicklung von Senkspiegel-MEMS-SLMs als Enabling-Technologie für schnelle und skalierbare Adressiervorrichtungen für atomare Qubits mit Übergängen im UV-Spektralbereich.
- Neuartiger Zugang zum Ansprechen einzelner Atome (z.B. Strontium, Ytterbium oder Rubidium) im bisher nicht erschlossenen / zugänglichen UV-Spektralbereich.
- Anwendungsspezifische Weiterentwicklung der Senkspiegel-MEMS-SLM Technologie zur Erzeugung von aberrationsarmen, schnellen und schaltbaren optischen Potentialen für das Ansprechen einzelner Atome in Quantenregistern: Implementierung einer hochpräzisen und schnellen (> 1 kHz) Einzelauslenkung der rund 65.000 Mikrospiegel des MEMS-SLMs im Nanometerbereich \rightarrow Ermöglichung einer schnellen Phasenkontrolle im Bereich $< \lambda/100$.
- Identifizierung und Entwicklung ausgewählter anwendungsspezifischer Schlüsselindikatoren von Senkspiegel-MEMS-SLMs.
- Nachweis der Integrationsfähigkeit von Senkspiegel-MEMS-SLMs in Aufbauten zur optischen Strahlformung und Adressierung einzelner Atome.
- Demonstration der Machbarkeit hochpräziser, schneller und skalierbarer Strahlformung im UV.

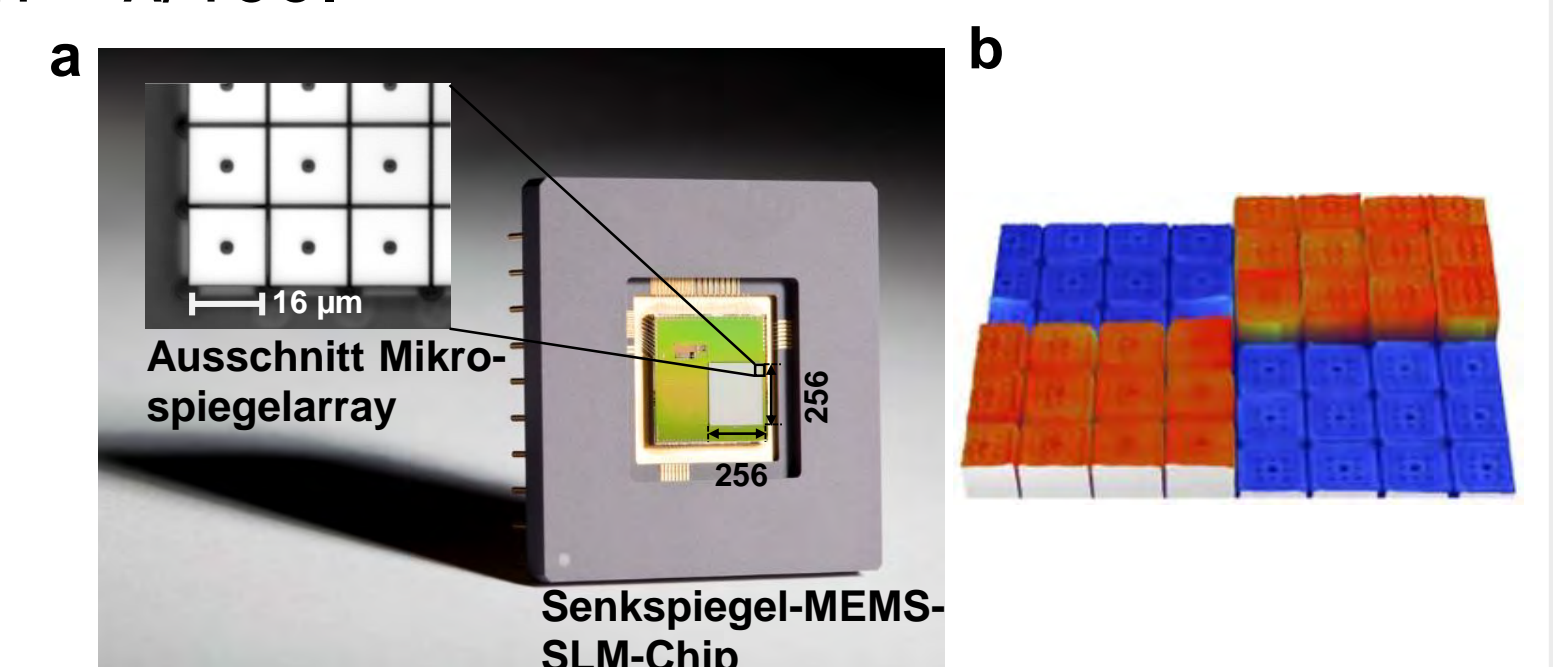


Abbildung 1: (a) Senkspiegel-MEMS-SLM Chip bestehend aus 256 x 256 Mikrospiegeln (und Vergrößerung eines Ausschnitts des Mikrospiegelarrays) (b) Oberflächentopografie von Senk-Mikrospiegeln (blockweise ausgelenkt und nicht ausgelenkt).

3 Zukünftiges Leistungsportfolio der Projektpartner

Fraunhofer IPMS

Verfügbarkeit eines weltweit einzigartigen UV-tauglichen hochintegrierten Senkspiegel-MEMS-SLM-Moduls zur präzisen und schnellen Phasenmodulation, das speziell für skalierbare Quantenanwendungen (Quantencomputing, -kommunikation und -kryptographie) und weitere photonische Anwendungen (adaptive Optik, Lithografie und Biomedizin) prädestiniert ist.

Max-Planck-Institut für Quantenoptik

Erschließung einer völlig neuen Technologie für die Quantensimulation und das Quantencomputing. Neben dem lokalen Ansprechen einzelner Atome im UV für die Realisierung von Quantengattern in Quantencomputern können auch Quantensimulationen direkt von den Entwicklungen profitieren. Hier kann der Einsatz von MEMS-SLMs zur Aberrationskorrektur und Strahlformung die Qualität und das Anwendungsspektrum von Quantensimulationen deutlich verbessern.

a Neutralatom Quantencomputer & -simulator



b Senkspiegel MEMS-SLM zur Strahlformung im UV

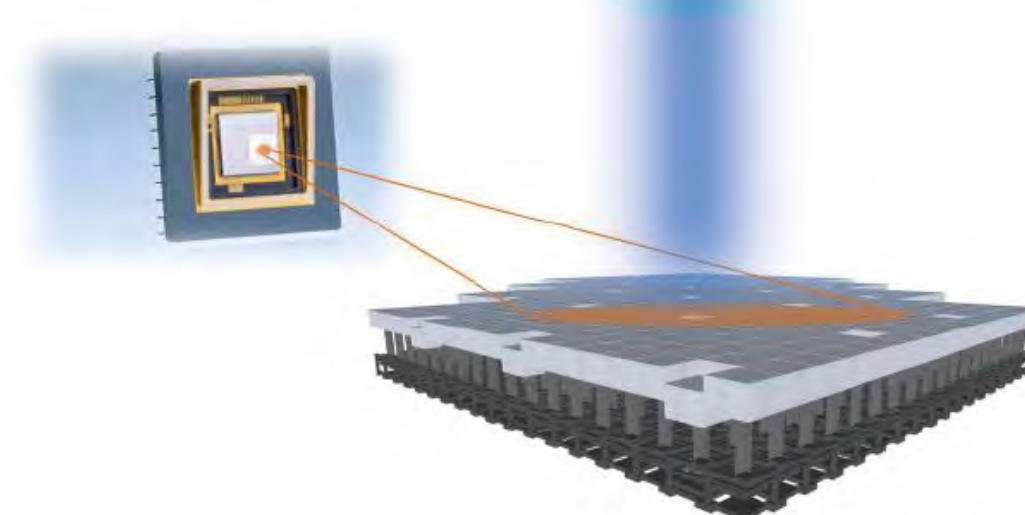


Abbildung 2: (a) Neutralatomquantensimulator, bei dem Atome im links gezeigten Register angeordnet sind (angepasst aus [1]). (b) Schematische Darstellung eines hochintegrierten MEMS Senkspiegelarrays, illustriert nach [2].

4 Ausblick

- Durch die Technologie-Roadmap für die spezifische Weiterentwicklung und Anpassung der MEMS-SLM-Technologie Eröffnung neuer Perspektiven für die Skalierung des Quantencomputings.
- Neue Basis für die Realisierung dichter Quantenregister und Adressierung von Atomen und Ionen (auch im UV)

5 Ansprechpersonen

Dr. Dimitrios Kourkoulos, Fraunhofer IPMS
E-Mail: dimitrios.kourkoulos@ipms.fraunhofer.de

Dr. Johannes Zeiher, MPQ
E-Mail: johannes.zeiher@mpq.mpg.de

[1] J. Sherson et al., Single-atom-resolved fluorescence imaging of an atomic Mott insulator, Nature 467, 68 (2010).
[2] M. Jayapala, HoloDis: 2D array with millions of individually programmable diffractive, MEMS Journal 04 (2011).