

Prozessentwicklung für eine nanophotonische Hybrid-Plattform für Ionenfallen-Quantencomputer Hocheffiziente Gitterkoppler für UV-Anwendungen (UV-GC)

1 Problemstellung

- Quantencomputer Anwendungsmöglichkeiten stark abhängig von **Anzahl der Qubits**
- Qubit-Manipulation in **Ionenfallen-Quantencomputern**: hochpräzise Ausrichtung verschiedener Laser auf Ionen
- Freistrahlbauten: enormes Volumen → schwierige Kryo-Integration, störempfindlich, Skalierungslimit zwischen 10 und 100 Interaktionsregionen
→ Lösung durch **Lichtverteilung mit integrierter Photonik** (kompakt, skalierbar, stabil)
- Lösung**: Lichteinkopplung per Glasfaser-Array mit Kantenkopplung, nanophotonische Wellenleiter für nah-UV bis IR, Lichtauskopplung: hochpräzise Gitterkoppler für mehrere Wellenlängen pro Ion
- Probleme**: mäßige **Effizienz** der Gitterkoppler → Streulicht „blendet“ Einzelphotonen-Detektoren, präzise Kontrolle der Abstrahlung der Gitterkoppler nötig (**Emissionswinkel, Strahlprofil**)

2 Innovation

Aktuelle Arbeiten im BMBF-geförderten Projekt **ATIQ** im Auftrahf “Quantencomputer Demonstrationsaufbauten” für Ionenfallen-Quantencomputer:

- Integrierte Photonik mit Gitterkopplern in 200 nm Silizium-Nitrid für Grün bis IR
- Neue Wellenleiter-Plattform für UV-Blau mit Aluminium-Nitrid oder Aluminium-Oxid
- Ziel:
 - Nanophotonische Chips zur Lichtverteilung für Ionenfallen, inkl. Diverser Herausforderungen wie Packaging und Fallen-Elektroden auf AMO-Wafern
 - Gitterkoppler durch direkte Strukturierung des Wellenleiter-Materials bereits **sehr herausfordernd!**

Ziele in UV-GC

- Zielkonflikt: Propagationsverluste der Wellenleiter vs. Effizienz der Gitterkoppler
- Lösung: hybride Kombination von SiN / AlN Gitterkopplern und Al₂O₃ Wellenleitern
- Prozessentwicklung für ein Material ist bereits sehr herausfordernd → Ziel von UV-GC ist **Machbarkeitsstudie für hybride Plattform**

| Material | Wellenleiter (Blau-UV) | Gitterkoppler |
|---|------------------------|------------------|
| Si ₃ N ₄ (LPCVD) | >10 dB/cm | 50% (Simulation) |
| AlN (Literatur) | >10 dB/cm | 50% (Simulation) |
| Al ₂ O ₃ (Aluvia) | ~1 dB/cm | 25% (Simulation) |



Beispiel für einen von AMO hergestellten Si₃N₄ Gitterkoppler (rechts) mit Übergang in Wellenleiter (links). Links unten: REM-Aufnahme des Kopplers.

3 Zukünftiges Leistungsportfolio der Projektpartner

AMO GmbH

Neuer Prozess als Baustein für Auftragsforschung über die AMO Services und Forschungsprojekte.

Die hybride Verbindung zweier Materialien zur Formung einer nanophotonischen Plattform ist deutlich anspruchsvoller als mit einem Material und stellt für den Blau-UV-Bereich ein **Alleinstellungsmerkmal** dar.

Technische Universität Braunschweig (TUBS)

Bereitstellung von hocheffizienten Gitterkoppler-Designs im UV-Bereich für die **Skalierung von Ionen-basierten Quantencomputern**.

Bereitstehende Simulationsergebnisse zeigen, dass der hybride Ansatz (AlN & Al₂O₃) die perfekte Symbiose für effiziente Chip-integrierte Nanophotonik im Blau-UV-Bereich ist. TUBS kann damit hergestellte Designs an Quantencomputer-Startups **lizenzieren**.

Equipment Foundry and Production Service 1/2

AMO runs a class 10 to class 1000 cleanroom with a total area of 400 m². Here, high end fabrication equipment for semiconductor technology is operated in a highly flexible way to enable high quality nanofabrication, quick process changes and unconventional solutions.

Electron Beam Lithography

- Raith - EBPG S200, Single line resolution -10 nm, dense line resolution -25 nm, overlay down to -10 nm depending on markers, substrate and resist, 8" wafers
- Semi-Automatic Mask Aligner / EVG - 420.2 µm resolution, 8" wafers
- Litho Stepper / Canon - FPA 3000 (5-, 0.5 µm resolution, only 8" wafers
- Automatic Resist Coater and Developer / EVG - 150, AZ 1500, Prime A, Z5216, 8" wafers
- Automatic Resist Coater and Developer / SDCS Microtec - iCCD, dedicated to imprint and litho, 8" wafers
- Interference Lithography System, 180 nm - 25 µm pitch, stitching free gratings, 8" wafers

UV - Nano Imprint Lithography

- Soft UV Nanoprinter Lithography Prototype System / EVG - S200, 8" wafers
- SCL UV Nanoprinter Lithography System / SDCS Microtec - MAE Gen3, SCL 2" - 8", 8" wafers

Cleaning

- Wet Bench for Impurity Processor / Arca, Wet bench light (class C), carrier (class B), 8" wafers
- Lithography Wet Bench / Arca, Single wafer, batch and cassette, cleaning and resist processes, 8" wafers
- Standard Cleaning / Arca, Single wafer and batch, cleaning processes, 8" wafers

Thermal Processing

- Dry Oxidation Furnace / Centrotech, up to 3000 nm, 1x15 cm tray for samples
- Wet Oxidation Furnace / Centrotech, up to 2 µm, up to 2000 nm, up to 1500 nm wafers per run, 1x15 cm tray for samples
- Low Pressure Chemical Vapour Deposition Furnace / Centrotech, PolySi, SiO₂, Si₃N₄, process, up to 500 nm, up to 25 wafers per run, 1x15 cm tray for samples

**Low Pressure Chemical Vapour Deposition Furnace / Centrotech, Stoichiometric Silicon Nitride (Si₃N₄), 775°C, Si₃N₄ and Si₃N₄ process up to 500 nm, up to 25 wafers per run, 1x15 cm tray for samples
- Low Pressure Chemical Vapour Deposition Furnace / Centrotech, SiO₂ (low temp. SiO₂), Si₃N₄, Si₃N₄ and Si₃N₄ process up to 300 nm, up to 25 wafers per run, 1x15 cm tray for samples
- Rapid Thermal Annealing Tool / Apolux - JetFirst, up to 1000°C, process gases: H₂, N₂, O₂, 8" wafers


Material Processing (PVD)

- DC and RF Sputtering Tool / Von Ardenne - CS30, Cluster sputter system, DC and RF, Materials: W, Ni, Ti, TiN, Al, AlN, Al₂O₃, SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, etc.
- DC side can be heated up to 350 °C, process gases: Al₂O₃, 8" wafers
- Sputter system - Clevac - Dreamet 500, Single Wafer System, DC and RF, Materials: Al, Ti, TiN, Al, Al₂O₃, Al₂O₃, etc., process gases: Al₂O₃, 8" wafers
- E-beam and Resistive Evaporator / PHE Star 200 EVA, Single Wafer System, Materials: Au, Ti, TiN, Al, Al₂O₃, SiO₂, Al₂O₃, etc., process gases: N₂, 8" wafers
- E-beam and Resistive Evaporator / Pfeiffer Vacuum - Classico 500, Materials: Al, SiO₂, Ti, TiN, etc., process gases: N₂, O₂, 8" wafers
- PECVD / Oxford Instruments, Deposition of graphen/epitaxial, up to 200 nm, plasma-enhanced (up to 800 °C, up to 3000 W) or thermal (up to 1000 °C), process gases: Al₂O₃, O₂, 8" wafers

Atomic Layer Deposition

- ALD / Oxford Instruments - FlexAL, Process: Al₂O₃, AlN, TiN, TiO₂, 8" wafers
- ALD / Oxford Instruments - AtomAL, Process: Al₂O₃, AlN, 8" wafers

AMO GmbH
 für Auftragsforschung
 Mikro- und Opto-
 elektronische
 Ultra-Hochleistung
 Geräte in
 50744 Anderten
 Germany
 Phone
 +49 531 88 07 00
 www.amo.de

**

4 Ausblick

Wenn die **Machbarkeit** demonstriert ist

- Optimierung** der Hybridplattform: Gitterkoppler-Design, Konverter zwischen Wellenleiter und Gitterkoppler, Wellenleiter
- Implementierung in ATIQ: extrem optimistisch → **Folgeprojekt**
- Blau-UV Photonik: hoher Bedarf in Sensorik für **Lebenswissenschaften**

5 Ansprechpersonen

Dr. Stephan Suckow, AMO GmbH
 E-Mail: suckow@amo.de
Anastasiia Sorokina, TUBS
 E-Mail: a.sorokina@tu-braunschweig.de