qnc.space

Prozessentwicklung für Strahlformung mittels Metastrukturen für Ionenfallen-Quantencomputer

Metastrukturen mit hohem Berechnungsindex und hohem Aspektverhältnis im ultravioletten Wellenlängenbereich (MetaUV)

1 Problemstellung

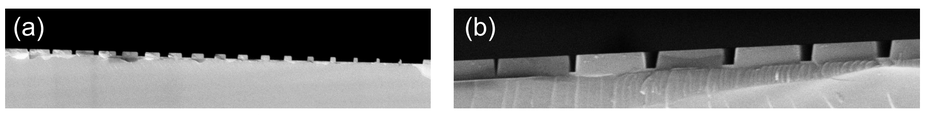
- Quantencomputer Anwendungsmöglichkeiten stark abhängig von **Anzahl der Qubits**
- Qubit-Manipulation in **Ionenfallen-Quantencomputern**: hochpräzise Ausrichtung verschiedener Laser auf Ionen
- Freistrahlaufbauten: enormes Volumen → schwierige Kryo-Integration, störempfindlich, Skalierungslimit zwischen 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 Aufrauf “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
  - Zur Risikominimierung: **keine Multilagen-Gitterkoppler, kein SiN >200 nm**

Metastrukturen bzw. Metalinsen:
- Design der Metalinsen erfordert kritische Abmessungen als Eingabeparameter
- Herstellbare kritische Abmessungen in “dicken” Schichten bestimmt durch: Aspektverhältnis der Strukturen, Lackdicke, Selektivität des Ätzprozesses

Ziele in MetaUV:
- Prozessoptimierung für bestmögliche Strukturierung von **bis zu 900 nm dicken SiN Schichten** mit Elektronenstrahllithographie, inkl. Nutzung einer Hartmaske
- Evaluierung der **herstellbaren kritischen Abmessungen** typischer Metastrukturen



REM Querschnitte von 200 nm Si_3N_4 Ätzteststrukturen mit abnehmender Grabenweite von rechts nach links. (a) AMO Standardprozess ohne Optimierung (kritische Abmessung: 90 nm Gräben, 200 nm Linien) und (b) nach bisher erfolgter Optimierung (50 nm Gräben, 120 nm Linien) mit vertikaleren, wenoiger abgerundeten Seitenwänden.

3 Zukünftiges Leistungsportfolio der Projektpartner

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

Bisher hat AMO keine Erfahrung mit der Strukturierung von mehr als 200 nm SiN mittels Elektronenstrahllithographie und musste bisherige Kundenanfragen dazu ablehnen.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)
Erweiterung des nanophotonischen Design- und Simulationsportfolios für Forschungsprojekte und des PTB-Dienstleistungsangebots. Dies umfasst Design und Aufbau einer effizienten, skalierbaren Photonik-Plattform für Ionenfall-basierte Anwendungen wie Quantencomputer oder optische Uhren in Zusammenarbeit mit AMO. Auch eine Lizensierung an Quantencomputer-Startups ist möglich.

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 5200, Single line resolution ~10 nm, dense line resolution ~25 nm, overlay down to ~10 nm depending on markers, substrate and resist, 8" wafers

Photolithography
- Semi-Automatic Mask Aligner / EVG - 420, 2 µm resolution, 6" wafers
- i-Line Stepper / Canon - FPA 3000 i5+, 0.5 µm resolution, only 6" wafers
- Automatic Resist Coater and Developer / EVG - 150, AZ MIR701, Primer, AZ 5214 E, 8" wafers
- Automatic Resist Coater and Developer / SÜSS MicroTec - RCD8, dedicated to imprint and i-resists, 8" wafers
- Interference Lithography system, 180 nm – 2.5 µm pitch; stitching free gratings, 8" wafers

NIL - Nano Imprint Lithography
- Soft UV Nanoimprint Lithography Prototype System / EVG - 620, 6" wafers
- SCIL UV Nanoimprint Lithography System / SÜSS MicroTec - MA8 Gen3, SCIL 2" - 8", 8" wafers

Cleaning
- Wet Bench for Imprint Processes / Arias, Wet bench right (class C), carrier left (class B), 8" wafers
- Lithography Wet Bench / Arias, Single wafer, batch and samples; cleaning and resist processes, 8" wafers
- Standard Cleaning / Arias, Single wafer and batch; cleaning processes, 8" wafers

Thermal Processing
- Dry Oxidation Furnace / Centrotherm, up to 300 nm, up to 200x6" or up to 50x8" wafers per run; 15x15 cm tray for samples
- Wet Oxidation Furnace / Centrotherm, up to 2 µm, up to 200x6" or up to 50x8" wafers per run; 15x15 cm tray for samples
- Low Pressure Chemical Vapour Deposition Furnace / Centrotherm, Polysilicon; 620 °C; SiH_4 process; up to 500 nm, up to 25 wafers per run; 15x15 cm tray for samples
- Low Pressure Chemical Vapour Deposition Furnace / Centrotherm, Stochiometric Silicon Nitride (Si_3N_4); 770°C; SiH_2Cl_2 and NH_3 process; up to 500 nm, up to 25 wafers per run; 15x15 cm tray for samples
- Low Pressure Chemical Vapour Deposition Furnace / Centrotherm, LTO (low temp. SiO_2); 425 °C; SiH_4 and O_2 process; up to 500 nm, up to 25 wafers per run; 9 samples (max. 2x2 cm)
- Rapid Thermal Annealing Tool / Jipelec - JetFirst, up to 1100°C; process gases H_2, N_2, Ar, 6" wafers

ThinFilm Deposition (PVD)
- DC and RF Sputtering Tool / Von Ardenne - CS730, Cluster sputter system; DC and RF; Materials: W, Ni, Ti, TiN, Al, AlSi, AlCr, SiO_2, Ta_2O_5, Al_2O_3, HfO_2, etc.; DC side can be heated up to 350 °C; process gases: Ar, N_2, O_2, 6" wafers
- Sputtersystem - Creavac Creamet500s, Single Wafer System, DC and RF; Materials: Au, Ti, TiN, Al, AlSi, SiO_2, Al_2O_3, etc.; process gases: Ar, N_2, O_2, 8" wafers
- E-Beam and Resistive Evaporator / FHR Star 200 EVA, Single Wafer System; Materials: Au, Ti, TiN, Al, AlSi, SiO_2, Al_2O_3, etc.; process gases: N_2, 8" wafers
- E-Beam and Resistive Evaporator / Pfeiffer Vacuum - Classic 580, Materials: Al, Cr, SiO_2, Ti, Ta_2O_5, etc.; process gases: N_2, O_2, 6" wafers
- PECVD / Oxford Instruments, Depostion of graphene/graphite; up to 200 mm; plasma-enhanced (up to 850 °C, up to 3000 W) or thermal (up to 1200 °C); process gases: Ar, H_2, O_2, CH_4, 8" wafers

Atomic Layer Deposition
- ALD / Oxford Instruments - FlexAL, Process: Al_2O_3, AlN, TiO_2, TiN, 8" wafers
- ALD / Oxford Instruments - Atomfab, Process: Al_2O_3, AlN, 8" wafers

Contact
Dipl.-Ing. Herbert Kleinjans
services@amo.de

AMO GmbH
Gesellschaft für Angewandte Mikro- und Optoelektronik mbH
Otto-Blumenthal-Straße 25
52074 Aachen
Germany

Phone
+49 241 88 67-125
www.amo.de

AMO

4 Ausblick

Nachdem das **Aspektverhältnis** zur SiN Strukturierung optimiert und analysiert ist:
- Optimierung der **herstellbaren** Metastrukturen
- **Nachfolgeprojekt**: Justagetoleanz von Metastruktur zu Gitterkoppler
- Strukturierung dicker SiN-Schichten für nichtlineare integrierte **(Quanten-)Optik**
- Metalinsen für andere Wellenlängen und Anwendungen

5 Ansprechpersonen

Dr. Stephan Suckow, AMO GmbH
E-Mail: suckow@amo.de
Guochun Du, PTB
E-Mail: Guochun.Du@ptb.de

AMO PTB quest

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung