

Integrierte Photonik – (fast) der ganze optische Tisch auf einem Fingernagel

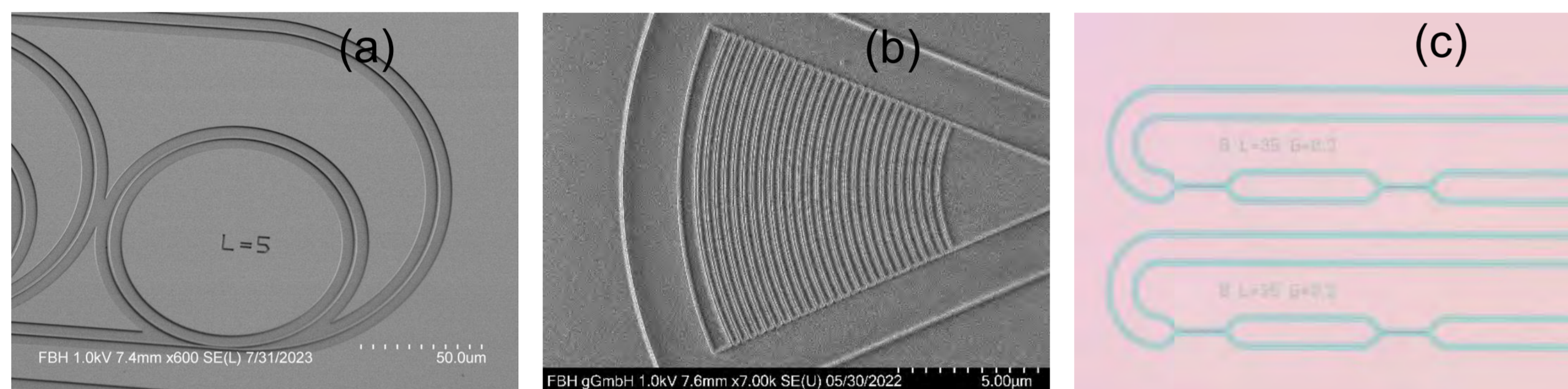
Photonische Plattformen und integrierte Wellenleiterstrukturen

1 Motivation

- atomare und ionische Qubits: Präparation und Adressierung erfordern verschiedene Laserwellenlängen mit kontrollierten Eigenschaften
- nötige Schritte: Lichterzeugung, -stabilisierung, -modulation, -schaltung, -verteilung
- Hochskalierung der Qubit-Zahlen: starke Parallelisierung nötig, nur durch *integriert-optische* Plattformen realisierbar
- Welches Materialsystem bietet welche Möglichkeiten?

2 AlGaN/AlN-Plattform

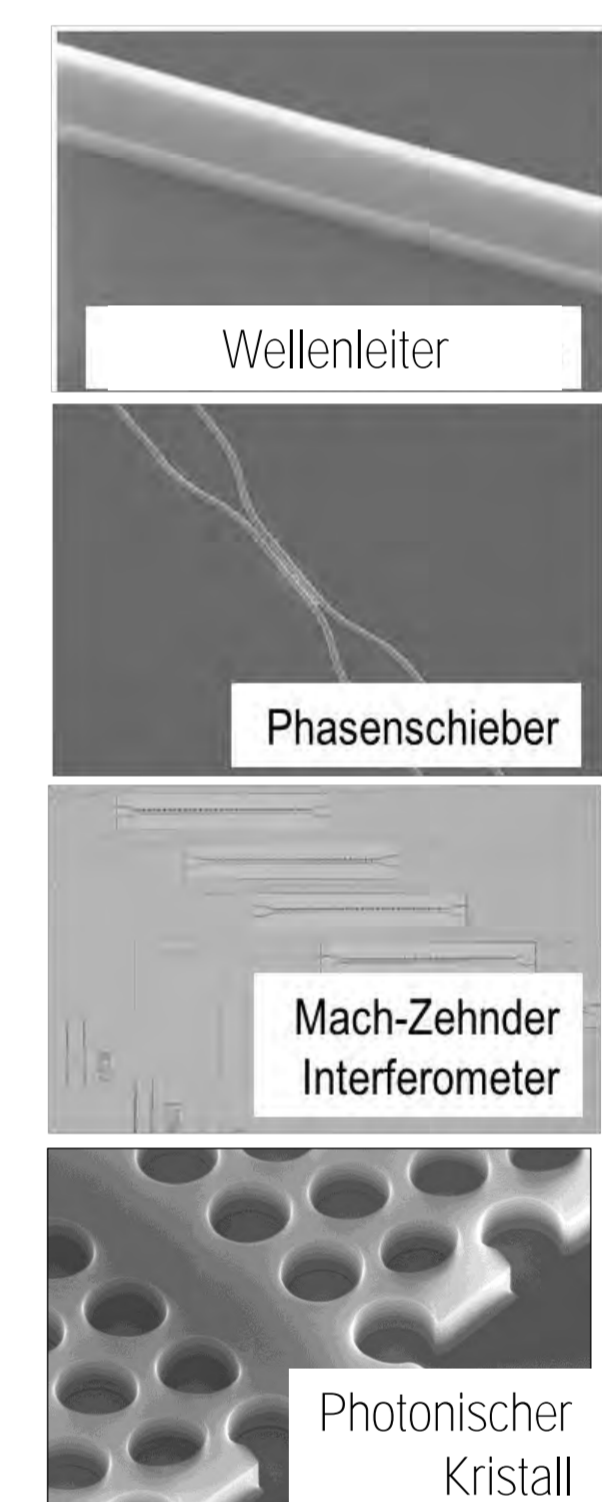
- **Breites Transparenzfenster** (von 0,25 bis 10 μm)
- Hoher elektro-optischer Koeffizient \rightarrow **schnelles Schalten**
- **Hohe Nichtlinearität** im sichtbaren Bereich \rightarrow Erzeugung von komplexen photonischen Zuständen
- Fabrikationsmethoden kompatibel mit III-V-Halbleitertechnologie
- **Heterogene Integration** möglich



Beispiele für **photonische Komponenten aus AlGaN/AlN**: REM-Aufnahmen von (a) Ringresonator und (b) Gitterkoppler. (c) Optische Mikrografie von Mach-Zehnder-Interferometern.

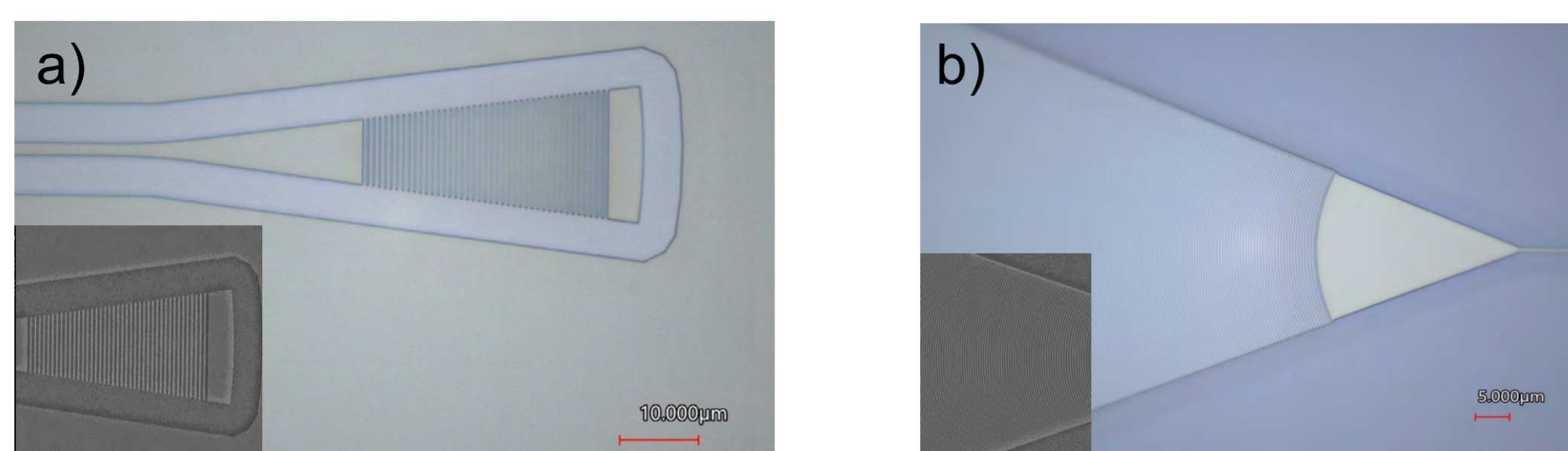
3 SOI – Silicon on Insulator

- Die „klassische“ Lösung mit aktiven Bauelementen auf **6“ / 200 mm Wafern**
- **Skalierbar** durch Mix-and-Match Lithographie zur Kombination von optischem Stepper und Elektronenstrahl
- Wellenleiterverlust ca. **1 dB/cm**
- Freistehende Wellenleiter für MEMS und Mid-IR
- Gitterkoppler oder SU-8 Kantenkoppler
- **Phasenschieber & Modulatoren**: thermo-optisch oder Verarmungstyp
- Integrationsmöglichkeiten: Si_3N_4 , AlN, 2D-Materialien (z.B. für Photodetektoren)



4 Silizium-Nitrid - Si_3N_4

- Hervorragende **Balance** zwischen niedrigen Propagationsverlusten und kompakten Schaltungen
- **6“ oder 200 mm Wafer**
- **Skalierbar** durch Mix-and-Match Lithographie zur Kombination von optischem Stepper und Elektronenstrahl
- Wellenleiterverlust bis zu **5 dB/m**
- Geeignet für nichtlineare Optik mit $\chi^{(3)}$

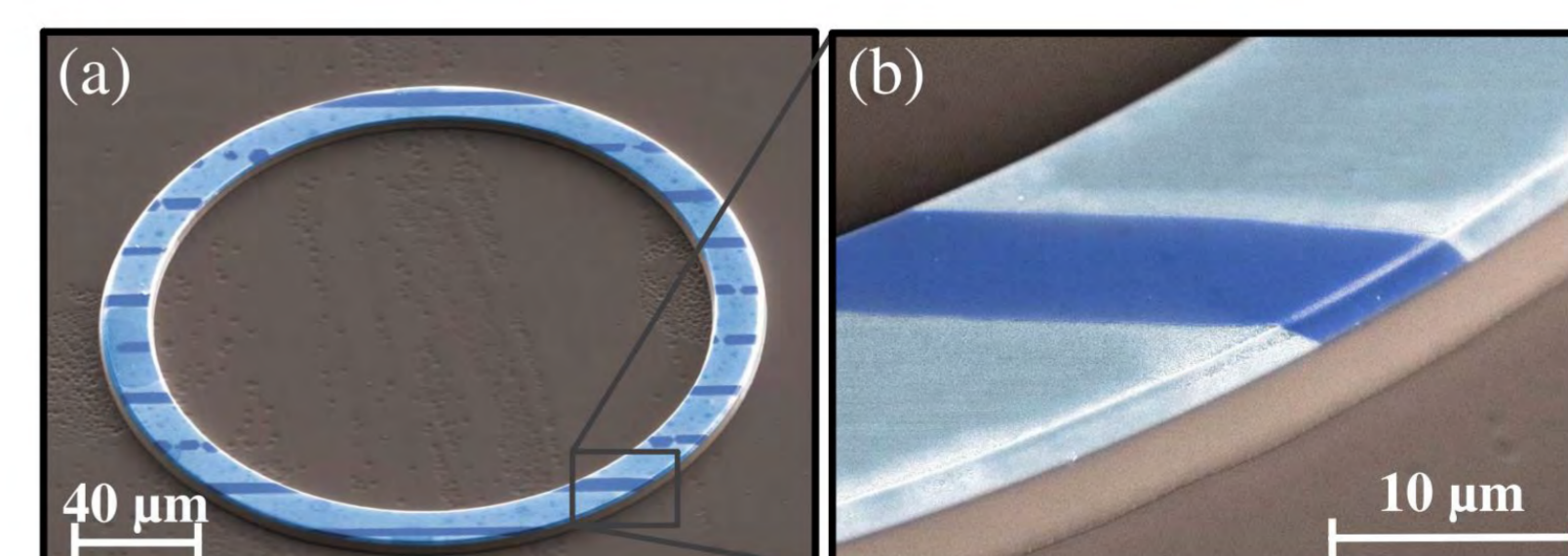


Beispiele für **besonders herausfordernde Komponenten aus Si_3N_4** : Gitterkoppler mit gewöhnlichem Gitter in a) und einem apodisiertem Gitter in b), jeweils mit 200 nm Schichtdicke und ca. 70 nm kritischer Abmessung.

5 LNOI – Lithiumniobate on Insulator

Starke Materialeffekte ermöglichen **vielfältige Funktionalitäten**:

- Wellenleiter mit niedrigen Verlusten
- Resonatoren sehr hoher Güte
- Nichtlinear-optische Frequenzkonversion über $\chi^{(2)}$ -**Prozesse** mit Quasi-Phasenanpassung und **hoher Effizienz**
- **Photonenpaar-Erzeugung**
- Quantum-Memories (mit Er-Dotierung)



Beispiel einer **aktiven LNOI-Komponente für die Frequenzkonversion**: SEM-Aufnahme eines periodisch gepolten Ringresonators
Dunkelblau/Hellblau: LiNbO_3 -Domäne mit z-Achse aufwärts/abwärts.
Dunkelbraun: Quarzsubstrat