

# Vom Wafer zum getesteten Qubit-Chip

## Pilotlinie für supraleitende 3-D Qubit-Chips

### 1 Anwendung

**Ziel: Reproduzierbare Fertigung von supraleitenden Qubits mit 3-D Integration**

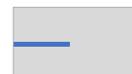
- **Herausforderung:** reproduzierbare Fertigung von Qubit Chips mit hohen Kohärenzzeiten und präziser Kontrolle der Qubit-Frequenz
- **Unsere Enabling-Technologien:**
  - Komplette Qubit-Chip Pilotlinie auf 200 mm-Wafern
  - Entwicklung von Resonatoren mit hoher Güte basierend auf alternativen Materialien
- **Herausforderung:** Skalierbarkeit der supraleitenden Qubit-Technologie auf 1000+ Qubits --> 3D-Integration notwendig

**Unsere Enabling-Technologien:**

- Supraleitende Indium bumps
- Supraleitende Through Silicon Vias (TSVs)
- Neuartige Bridging Technologie

### 2 Fabrikation der Josephson Junction

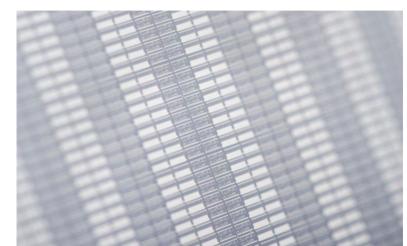
1. Metallage



Konditionierung und Oxidation



2. Metallage

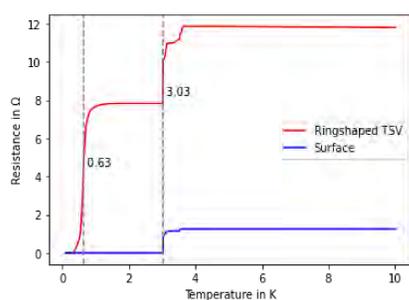
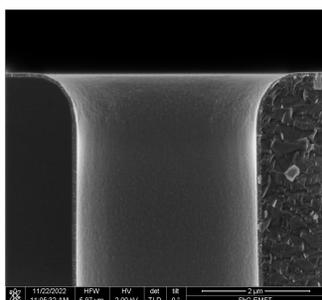


200 mm Wafer mit einzelnen Josephson junctions

- Aluminiumbasierter CMOS Prozess (gesputtert)
- Statistische Prozesskontrolle (SPC) der elektrischen Parameter
- Korrelation Raumtemperatur Messungen zu Kryo Eigenschaften
- Kontinuierliche Verbesserung der Bauelemente
- Derzeitige Kreuzungsfläche: 350 nm x 350 nm

### 3 3D-Multichip-Integration

- Neuartige Bridging Technologie
- Supraleitende Indium Bumps zum elektrischen Verbinden mehrerer Chips
- Supraleitende TiN Through Silicon Vias zum elektrischen Verbinden von Chip Vorder- und Rückseite

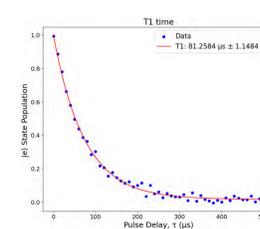


### 4 Qubit-Chip Charakterisierung

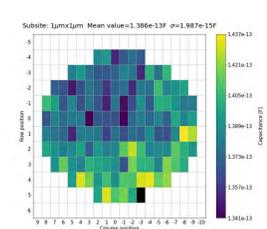
- Qubit-Charakterisierung auf Wafer- und Chip-Ebene, bei Raumtemperatur und bei Temperaturen <10 mK im Kryostat
- Zeitbereichsmessungen (z.B. T1, T2\*, T2)
- Steigerung des Messdurchsatzes durch Messautomatisierung
- Feedback-Schleife an die Fertigungslinie zur Prozessoptimierung



<sup>3</sup>He-<sup>4</sup>He-Mischkryostat



T1-Messung

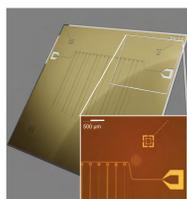


Kapazitätsverteilung auf Wafer

### 5 Alternative Materialien

Supraleitende Coplanar-waveguide Resonatoren

- Basierend z.B. auf Ta und HfN
- Frequenzbereich 5,3-7 GHz
- Für supraleitende und spinbasierte Qubits und Bestimmung der Güte von Supraleitern
- Strukturierung mittels i-Line Stepper und Elektronenstrahl-Lithographie und RIE-Ätzung



Supraleitende coplanar-waveguide Resonatoren

### 6 Zusammenfassung und Ausblick

**Komplette 3-Dim Qubit-Chip Pilotlinie vom Wafer bis zum charakterisierten Qubit-Chip**

**Ausblick:**

- Weitere Optimierung der Prozesse für höhere T1 und T2\*-Zeiten
- 2025: Elektronenstrahl-Lithografie bis 50x50 nm
- Entwicklung & Integration von alternativen Materialien