

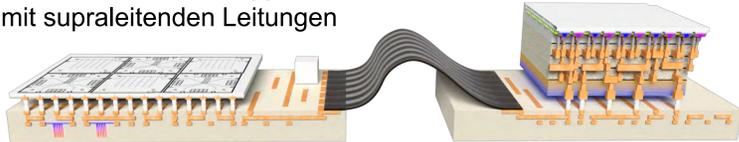
# Kryogene Verdrahtungs- und Interposer-Technologien

## 1 Aufbautechnik als Schlüsseltechnologie

Steigende Komplexität und Anzahl an Qubits erfordert skalierbare Aufbaukonzepte

### Herausforderungen:

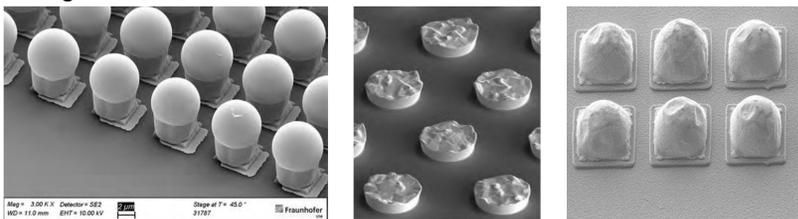
- Kontrolle der elektromagnetischen Umgebung der hochsensiblen Bauelemente
- hohe Dichte an Verbindungen
- Verlustarme Trägersubstrate zur Integration von Qubit-Chips und Steuer-ICs
- Supraleitende Mehrlagenverdrahtung und Durchkontaktierung der Trägersubstrate
- Supraleitendes Bumping für skalierbare 3D-Integration
- Hochfrequenzgeeignete Leitungsführung mit Shielding
- Supraleitende Flex-Kabel zur Verbindung mit der Außenwelt
- Thermischen Entkopplung zwischen Interposer Komponenten durch Distributed Bragg-Reflektorschichten und Flex-Verbindung mit supraleitenden Leitungen



Flex-Interposer mit Qubit-Chip (links) und thermisch entkoppeltem Kontrollchip (rechts)

## 2 3D-Integration

- 3D-Integration von Interposer- und Qubit-Chips sowie Verbindung mehrerer Interposer-Lagen erfordert Bump-Technologien
- Aufwachsen von z.B. Indium- und Indium-Zinn-Bumps erfolgt durch elektrochemische Abscheidung
- Für supraleitende Verbindungen werden Indium-Bumps auf Niob abgeschieden



Indium 10µm Pitch

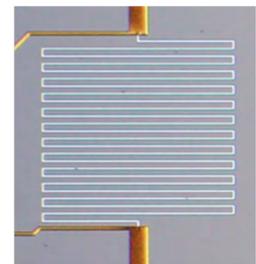
Indium auf Kupfer

Indium auf Gold

Weitere Details auf den Postern „Skalierbare Aufbau- und Verbindungs-Technologien“ und „Supraleitende Materialien und deren Charakterisierung“

## 3 Interposer-Technologien und -Materialien

- Trägersubstrate:
  - Silizium, Saphir, Quarz, Flex,...
- Dünnschichtverdrahtung:
  - Al, Cu, Au,...
- Supraleitende Verdrahtung:
  - Sputtern Nb, NbN, ZrN,...
  - Ionenstrahlätzen
  - Alternativ: ECD, CMP
- Dielektrika
  - Anorganische / Organische
  - High-k / Ultralow-k
- Via-Technologien:
  - Supraleitende TSVs (z.B. Nb)
  - Normalleitende TSVs (Cu)



Niob- und Gold- Verdrahtung

## 4 High Density Wiring

Verwendung von Verbindungen auf der Grundlage flexibler Folien und hochdichter PCB Direktverbinder  
→ deutlich erhöhte Leitungsdichte im Kryostaten im Vergleich zum derzeitigen Standard

### Ultra High Density Signal Integration

- Mehr als 80 geschirmte Signalleitungen pro Zoll

### Hohe Signalintegrität

- Anspruchsvolle Schirmung für jede einzelne Signalleitung (Crosstalk < -60 dB)

### Geringer aktiver Wärmefluss

- Niob-basierte Signalleitungen werden supraleitend ab ca. 8 K

### Minimale passive Wärmeübertragung

- Geringer Querschnitt (Kabeldicke  $\leq 100 \mu\text{m}$ )  
ca. 0,02 nW/Signalleitung in MXC  
(Leitungslänge = 140 mm)



## 5 Ausblick

- Mehrlagige Umverdrahtung vollständig mit Supraleitern
- Integration der Technologien (Bumping und Umverdrahtung)
- Reduzierung von Linienbreiten und -abständen
- Reduzierung von Bump-Pitch und Erhöhung der Kontaktanzahl
- Thermische Entkopplung zwischen Interposer-Chips