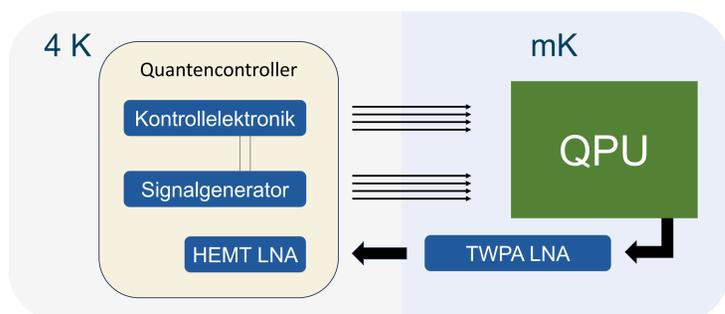


Design und Test von kryogener Elektronik

1 Anwendung



Problem:

- Qubitanzahlen wachsen in Richtung 1.000.000
- Große Zahl an elektrischen Verbindungen benötigt, die Platz einnehmen und Wärme in den Kryostaten leiten
- Schwache Qubit-Signale müssen im Kryostaten vorverstärkt werden

Lösungsweg:

- Kontrollelektronik, Verstärkerschaltungen und Signalgeneratoren möglichst im Kryostaten nahe an Quantencomputing-Chip unterbringen

Herausforderung:

- Verhalten der Bauelemente bei Kryotemperaturen muss erforscht werden
- Thermische Entkopplung zwischen Elektronik und QPU um Qubits nicht zu stören
- Geringes Rauschen im Auslesepfad

3 Bauelemente für Kryoelektronik

Vorteilhafte Eigenschaften von Bauelementen bei tiefen Temperaturen:

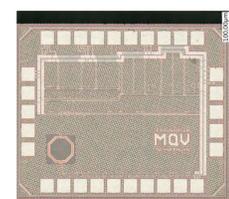
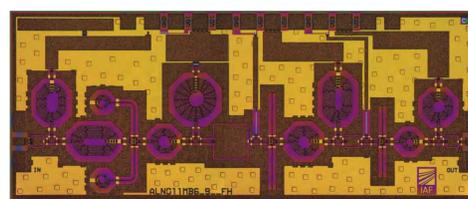
- **MOSFET / Bipolar:** höhere Transitfrequenzen, höhere intrinsische Verstärkung, stark verringertes thermisches Rauschen
- **FeFET:** geringe Schaltenergie im fJ-Bereich
- **Metallisierung** kann **supraleitend** ausgeführt werden, so dass Wärmeverluste entfallen
- **HEMT:** niedrigstes Transistor-Rauschen, erhöhte Transitfrequenzen, hohe Verstärkung

Weitere Forschungstätigkeiten

- Ermittlung der Besetzung von Defektzuständen an Halbleiter-Isolator-Grenzflächen bei Kryotemperaturen
- Design von FDSOI-MOSFETs für geringere Schalt-Spannungen

2 Bestehende Designarbeiten

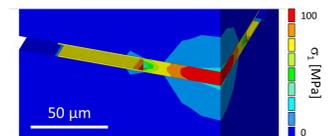
- Integrierter **Quantencontroller** für SC-Qubits in 22 nm FDSOI und 130 nm BiCMOS Technologien (MUNIQS-SC, MQV K6)
- **Qubit Control Mixed-Signal** SiGe MMICs (LNA, Signalquellen, DAC, dig. 90 nm-CMOS Integration)
- Integrierte **PLL** Entwicklung 22 nm FD-SOI (MUNIQS-SC, MQV K6)
- **Qubit Read-out:** Simulation, Design, Prozessierung und Aufbau von HEMT LNA MMICs(MUNIQS-SC) auf Basis einer 50 nm mHEMT Technologie



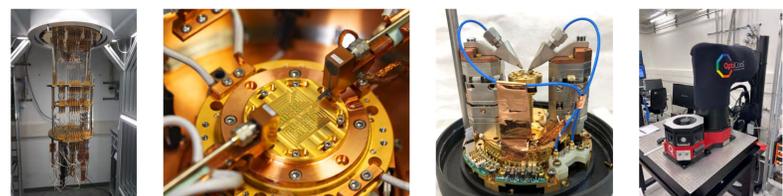
Erste ASIC-Prototypen von IIS, IAF and EMFT (MUNIQS-SC and MQV K6)

- **Thermisches & mech. Co-Design** für zuverlässige heterogene 3D-Integration, QC-Architekturen bei tiefen Temperaturen

Spannungszustand Al-Bump in 3D-Cryo-SiP für QC bei T = 4 K



4 Kryo-Charakterisierungskapazitäten



	Opti-cool	Bluefors LD 400	Coax. Modul messp.	Prober CRX-4K	Prober CRX-4K	Prober CPX-2K	Coax. Modul messp.
Temperature range (K)	2-300	0,01-300	1,5-300	4,5-300	4,5-350	2 - 300	4,5-300
Max. magnetic field (T)	±7	-	-	-	-	±2.5	--
Max. frequency (GHz)	40	18	67	67	67	67	26
RF lines	4	69	6	4	2	2	6
DC lines	16	96	>24	24	>24	24	24
Needles	yes	-	-	yes	2x12	2x12	-

5 Zusammenfassung

- Entwicklung kryo-kompatibler analoger und digitaler Elektronik
- Vielseitige Möglichkeiten zur elektrischen Kryo-Charakterisierung