

Abschlussbericht

***Materials for Quantum Computing
(MATQu)***
***Teilvorhaben: Prozessmodule und
Messtechnik zur Herstellung und
Charakterisierung von Quantum Bits
(CryoMATQu)***

Zuwendungsempfänger:

Fraunhofer Gesellschaft für Angewandte Forschung



mit dem Partner Fraunhofer IAF, Freiburg

Förderkennzeichen: 13N15861

Prof. Dr. Rüdiger Quay, Nikola Komerički

Laufzeit des Vorhabens: 1.6.2021-31.5.2024

Berichtsdatum 30.11.2024

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis.....	2
2	Teil 1: Zusammenfassung.....	3
2.1	Bisherige wichtigste wissenschaftlich-technische Ergebnisse und andere Ereignisse, die Einfluss auf das Vorhaben haben könnten (maximal 1/2 Seite!)	3
2.2	Vergleich des Vorhabenstandes mit der ursprünglichen (bzw. mit Zustimmung des ZG geänderten) Arbeits-, Zeit- und Ausgaben-/Kostenplanung Bei Abweichungen ist eine detaillierte Erläuterung erforderlich.....	3
2.3	Haben Sie die Aussichten für das Erreichen der Ziele des Vorhabens innerhalb des ursprünglichen (bzw. zwischenzeitlich mit Zustimmung des Zuwendungsgebers geänderten) Ausgaben-/Kostenzeitraums im aktuellen Berichtszeitraums verändert, so dass ggf. eine Anpassung des Arbeitsplans erforderlich wird?.....	3
2.4	Sind im aktuellen Berichtszeitraum FuE-Ergebnisse Dritter bekannt geworden die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind?	4
2.5	Sind oder werden Änderungen der Zielsetzung notwendig.....	4
2.6	Jährliche Fortschreibung des Verwertungsplans: Sind Änderungen oder Ergänzungen des im Antrag dargestellten Verwertungsplans erforderlich	4
3	Teil II: Ausführlicher Sachbericht.....	5
3.1	Konsortiums Koordination	Fehler! Textmarke nicht definiert.
3.2	Charakterisierung.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.

2 Teil 1: Zusammenfassung

2.1 Bisherige wichtigste wissenschaftlich-technische Ergebnisse und andere Ereignisse, die Einfluss auf das Vorhaben haben könnten (maximal 1/2 Seite!).

- ✓ Koordinationsarbeit des Konsortiums
- ✓ Konzeptionierung und Spezifizierung zum Aufbau einer Anlage für statistische Bewertung von Josephson Kontakten bei Temperaturen unter 2 K, mit/nach Input und Informationen aus MATQu (die Beschaffung fand im Rahmen eines parallellaufenden Projektes KryoproPlus 13N15977 statt)
- ✓ Konzeptionierung, Spezifizierung und Aufbau einer DC -Mess-Peripherie, passend für die Bestimmung von I-V-Kennlinien von Josephson Kontakten
- ✓ Konzeptionierung und Implementierung von Messroutinen im Kontext der neuen DC-Mess-Peripherie für I-V-Kennlinien von Josephson Kontakten
- ✓ Wafer Level (150 mm von VTT und 300 mm von IMEC) Charakterisierung von Josephson Kontakten bei unter 2 K
- ✓ Präsentation von Ergebnissen der Charakterisierung von Josephson Kontakten auf einem 300 mm Wafer unter 2 K auf der Quantum Matter Konferenz 2024

2.2 Vergleich des Vorhabenstandes mit der ursprünglichen (bzw. mit Zustimmung des ZG geänderten) Arbeits-, Zeit- und Ausgaben-/Kostenplanung Bei Abweichungen ist eine detaillierte Erläuterung erforderlich

- * Das Vorhaben liegt im Wesentlichen innerhalb der ursprünglichen (bzw. mit Zustimmung des ZG geänderten) Arbeits-, Zeit- und Ausgaben- bzw. Kostenplanung.
- * Eine Anpassung der ursprünglichen Arbeitsplanung wird erforderlich (detaillierte Erläuterung erforderlich)

2.3 Haben Sie die Aussichten für das Erreichen der Ziele des Vorhabens innerhalb des ursprünglichen (bzw. zwischenzeitlich mit Zustimmung des Zuwendungsgebers geänderten) Ausgaben-/Kostenzeitraums im aktuellen Berichtszeitraums verändert, so dass ggf. eine Anpassung des Arbeitsplans erforderlich wird?

* Die Aussichten für das Erreichen der Ziele des Vorhabens haben sich gegenüber dem Zeitpunkt der Antragstellung nicht verändert.

* Die Aussichten für das Erreichen der Ziele des Vorhabens haben sich geändert (Erläuterung erforderlich).

2.4 Sind im aktuellen Berichtszeitraum FuE-Ergebnisse Dritter bekannt geworden die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind?

* Nein

* Ja (Erläuterung erforderlich)

2.5 Sind oder werden Änderungen der Zielsetzung notwendig

* Nein

* Ja (Erläuterung erforderlich)

2.6 Jährliche Fortschreibung des Verwertungsplans: Sind Änderungen oder Ergänzungen des im Antrag dargestellten Verwertungsplans erforderlich

* Nein, der Verwertungsplan gilt unverändert wie bei Antragstellung.

* Ja, folgende Änderungen/Ergänzungen des Verwertungsplans sind erforderlich:

* Im Berichtszeitraum sind folgende Erfindungen/Schutzrechte angemeldet worden:

* Im Berichtszeitraum sind Änderungen der wirtschaftlichen Erfolgsaussichten nach Projektende gegenüber der Darstellung im Antrag aufgetreten (Erläuterung erforderlich).

* Im Berichtszeitraum sind Änderungen der wissenschaftlichen und/oder technischen Erfolgsaussichten nach Projektende gegenüber der Darstellung im Antrag aufgetreten (Erläuterung erforderlich).

* Im Berichtszeitraum sind Änderungen der wissenschaftlichen und/oder technischen Anschlussfähigkeit nach Projektende gegenüber der Darstellung im Antrag aufgetreten (Erläuterung erforderlich).

3 Teil II: Ausführlicher Sachbericht

In diesem Zwischenbericht werden die bisher erzielten Ergebnisse des Fraunhofer IAF im Projekt KryoproPlus vorgestellt. Das Projekt liegt nun wieder voll im Zeitplan und wird alle Ziele fristgerecht erreichen bzw. wegen der Komplexität des Gesamtprozesses sogar übererfüllen.

3.1 Konsortiums Koordination

Die Koordination des Konsortiums erfolgte im gesamten Projektzeitraum erfolgreich, gemäß der im Proposal beschriebenen Struktur. Dabei hatte das Fraunhofer IAF durch Prof. Rüdiger Quay die Koordinator Rolle, mit Unterstützung der Fraunhofer Gesellschaft, inne.

3.2 Charakterisierung

In Rücksprache mit denen in MATQu fabrizierenden RTOs VTT und IMEC wurden finale Aspekte zum Aufbau einer Anlage für statistische Bewertung von Josephson Kontakten bei Temperaturen unter 2 K konzeptioniert und spezifiziert, wie die Möglichkeiten der Handhabung verschiedener Wafer Größen und Definition des Kontaktflächen Designs als auch Nadelkarte.

Zur Umsetzung der Charakterisierung wie die Bestimmung von I-V-Kennlinien von Josephson Kontakten bedarf es einer passenden Mess-Peripherie, die Abstimmung darauf bzw. die Anforderungen wurden im Rahmen von MATQu dahingehend erörtert und sind in separate Beschaffung dieser Mess-Peripherie, welche final einen Universalen Charakter hat, eingeflossen.

Erste, zufriedenstellende, funktionale Tests des Kryogenen-Wafer-Probers wurden beim Hersteller im Rahmen der ersten Abnahme dort durchgeführt.

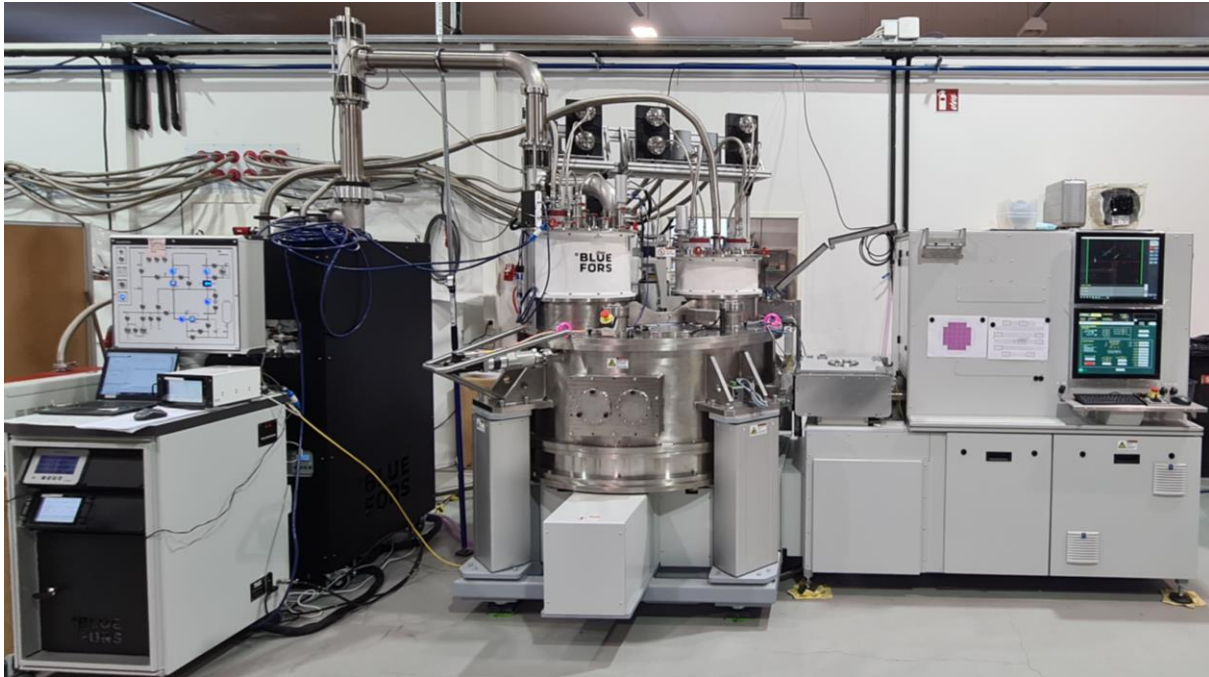


Abbildung 1: Der aufgebaute 300mm Kryogenen Wafer Probers für das Fraunhofer IAF während der Erst-Abnahme bei Afore Oy.

Nach erfolgreichem Laboraufbau und Abnahme des Kryogenen-Wafer-Probers am Fraunhofer IAF erfolgte die Integration der Mess-Peripherie als auch die Implementierung von ersten Messroutinen im Kontext der neuen DC-Mess-Peripherie zum Messen von I-V-Kennlinien von Josephson Kontakten auf ganzen Wafern.



Abbildung 2: Der aufgebaute 300mm Kryogenen Wafer Probers am Fraunhofer IAF.

Es folgte die Charakterisierung von Josephson Kontakten auf ganzen Wafern von VTT (Durchmesser 150 mm) und IMEC (Durchmesser 300 mm). Die Mischung der Durchmesser erforderte einen besonders hohen apparativen Aufwand und ist eine besondere und in Europa einzigartig geschaffene Fähigkeit. Die Ergebnisse dienen als direkte Rückmeldung in die Fabrikation und Technologie als auch zur weiteren Selektion der Bauelemente.

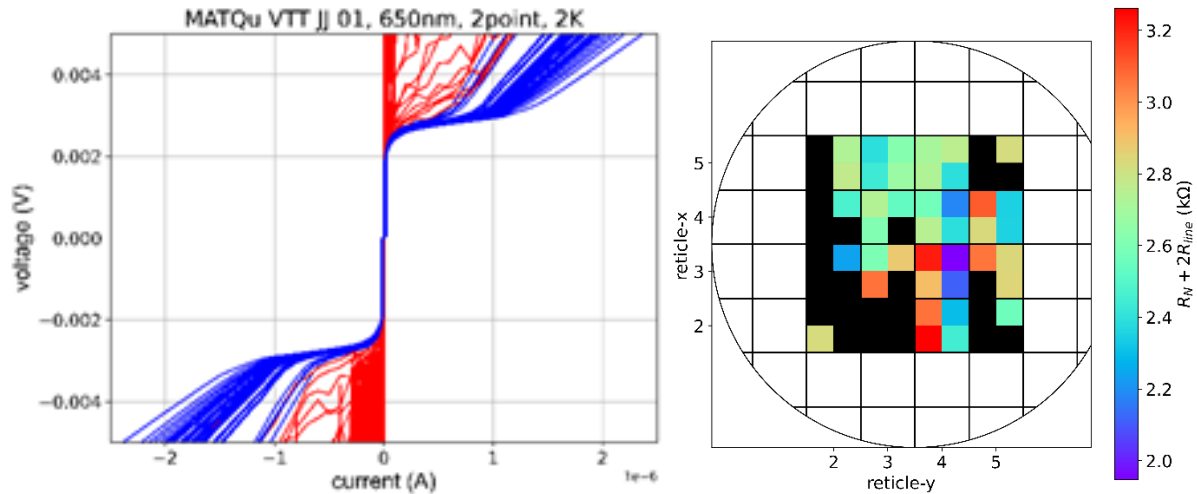


Abbildung 3: Erste Charakterisierung auf Wafer Ebene, 650nm Niobium Josephson-Kontakte von VTT auf einem 150mm Wafer (64 Bauelemente) in 2Punkt Konfiguration bei 2K; links die V-I-Charakteristik und rechts der draus bestimmte Normalzustandswiderstands als Wafer-Karte.

Auf der Quantum Matter Konferenz 2024 erfolgte dann die erste öffentliche Präsentation von Ergebnissen im Rahmen eines Poster-Beitrages.

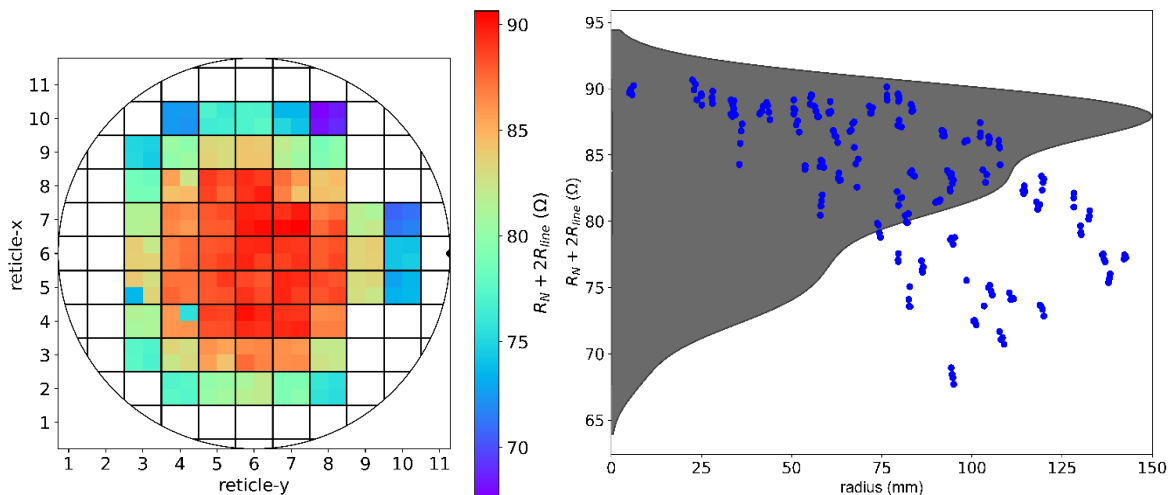


Abbildung 4: Wafer-Karte (links) des Normalzustandswiderstands R_N eines quadratischen Josephson-Kontaktes (2 μm) und mit Kernel-Dichte-Schätzung über den Wafer-Radius aufgetragen (rechts), insgesamt 232 bei unter 2 K aus I-V-2-Punkt-Messungen.

Zusammenfassung

(öffentlich)

Materials for Quantum Computing (MATQu) Teilvorhaben: Prozessmodule und Messtechnik zur Herstellung und Charakterisierung von Quantum Bits (CryoMATQu)

Förderkennzeichen: 13N15861

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer IAF

Ziel ist die Validierung der Technologieoptionen zur Herstellung von supraleitenden Josephson Kontakten auf industriellen 150 mm- 300 mm-Silizium basierten Prozessflüssen. Ein Schlüsselement der Validierung ist eine Charakterisierung mit finalen Einsatz-Parametern (kryogen) auf ganzen Wafern und somit eine kryo-statistische Betrachtung als Rückmeldung für Technologie und Fabrikation als auch zur Selektion.

- ✓ Koordinationsarbeit des Konsortiums
- ✓ Konzeptionierung und Spezifizierung zum Aufbau einer Anlage für statistische Bewertung von Josephson Kontakten bei Temperaturen unter 2 K, mit/nach Input und Informationen aus MATQu
- ✓ Konzeptionierung, Spezifizierung und Aufbau einer DC -Mess-Peripherie, passend für die Bestimmung von I-V-Kennlinien von Josephson Kontakten
- ✓ Konzeptionierung und Implementierung von Messroutinen im Kontext der neuen DC-Mess-Peripherie für I-V-Kennlinien von Josephson Kontakten
- ✓ Wafer (150 mm von VTT und 300 mm von IMEC) Charakterisierung von Josephson Kontakten bei unter 2 K. Ferner sind 200 mm Wafer auch möglich.
- ✓ Präsentation von Ergebnissen der Charakterisierung von Josephson Kontakten auf einem 300 mm Wafer unter 2 K auf der Quantum Matter Konferenz 2024

Das Vorhaben lag innerhalb der ursprünglichen Arbeits-, Zeit- und Ausgaben- bzw. Kostenplanung.

Das Erreichen der Ziele des Vorhabens hat sich gegenüber dem Zeitpunkt der Antragstellung nicht verändert.

Es waren über das Projekt keine Änderungen der Zielsetzung notwendig.

Der Verwertungsplan gilt unverändert wie bei Antragstellung.