

Robert Bosch GmbH
Forschungsleitung 1
Postfach 10 60 50
70049 Stuttgart

20.08.02
Bosch Telecom GmbH
Produktbereich
Raumfahrttechnik
71520 Backnang

**Abschlußbericht zum BMBF-Teilvorhaben 13 N 6387
„Planare HTSL-Systeme für Raumfahrtanwendungen“**

Verbundprojekt: „Hochtemperatur-Supraleiter-Systeme in der Satellitenkommunikation“

Teilvorhaben: „Planare HTSL-Systeme für Raumfahrtanwendungen“

Förderkennzeichen 13N6834

Projektleiter: Dr. M. Klauda (ab 01.02.98 Bosch Telecom GmbH)
Dr. C. Neumann

Bearbeiter: Dr. C. Neumann, Dr. M. Klauda, Dr. T. Kässer,
E. Guha, U. Wochner, W. Grothe, B. Grothe
Dr. D. Schmitt, F.J. Goertz

Dr. N. Klein, D. Schemion; FZ Jülich

Dr. S. Kolesov, A. Baumfalk, Prof. Dr. H. Chaloupka;
BUGH Wuppertal

Inhalt

1. Einleitung	3
2. Supraleitende Schichten und Charakterisierung	5
3.1. Design planarer Filter für niedrige HF-Leistungen	6
3.2. Abgleich planarer Mikrostreifenfilter	8
3.3. Aufbau- und Verbindungstechnologie	10
4. Kryogene Filter und Multiplexer für das C-Band (Sendeseite)	11
5. Scheibenresonatorfilter für das C-Band (Sendeseite)	11
6. Kryogene Oszillatoren für 23 GHz	11
6.1. Entwicklung der Oszillatorschaltung	12
6.2. Entwicklung des kryogenen Resonators	12
6.3. Entwicklung des Verstärkers	13
6.4. Messungen des Phasenrauschens	13
6.5. Bewertung und Zukunftsperspektiven	14
8. Literatur	15

1. Einleitung

Im Gegensatz zu klassischen Metallen weisen Supraleiter für Frequenzen kommerzieller Satelliten- und Mobilkommunikation um mehrere Größenordnungen geringere Oberflächenwiderstände auf [1], [2]. Durch die Entdeckung der Hochtemperatursupraleiter (HTSL) mit Sprungtemperaturen oberhalb von 85 K stehen für HTSL-Komponenten und -Systeme Kühlmöglichkeiten zur Verfügung, welche erstmals einen Einsatz der Supraleiter-Technologie in der kommerziellen Kommunikationstechnik möglich erscheinen lassen [3].

Die Perspektiven, welche der Einsatz von Hochtemperatursupraleitern in der Kommunikationstechnik eröffnet, sind dabei

- die Möglichkeit, Bauteile mit erheblich geringeren Transmissionsverlusten oder geringerem Rauschen zu realisieren [4], [5]. Damit verbunden ist eine Leistungsersparnis in den Verstärkern der Payload (welche bei gekühlten Baugruppen selbstverständlich gegen die Leistungsaufnahme des Kühlers gegengerechnet werden muß) sowie eine Reduktion des Systemrauschens aufgrund geringerer Transmissionsverluste und tieferer Arbeitstemperatur.
- die Möglichkeit, durch die überlegene Performance auch stark miniaturisierter HTSL-Baugruppen schwere und voluminöse Hohlleiter-Bauformen durch kleine und leichte HTSL-Komponenten bei gleichem oder gar überlegenem elektrischem Verhalten zu substituieren [6]. Auch hier ist bei aller Euphorie natürlich zu berücksichtigen, daß die für HTSL nötige Kühlung einen zusätzlichen Beitrag an Volumen und Masse impliziert, welcher erst bei einer hinreichend hohen Zahl von HTSL-Bauelementen durch deren Gewichtersparnis kompensiert werden kann. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Gewichtsersparnis für einen 30-Kanal-Eingangsmultiplexer im Satelliten-C-Band (3,4 – 4,2 GHz) im Vergleich zu konventionellen Bauformen mit dielektrischen Filtern. Gerade in der Satellitenkommunikation mit Kosten von ca. 50.000 US\$ pro Kilogramm Startgewicht ist die Reduktion von Gewicht und Volumen ein zentrales Thema.

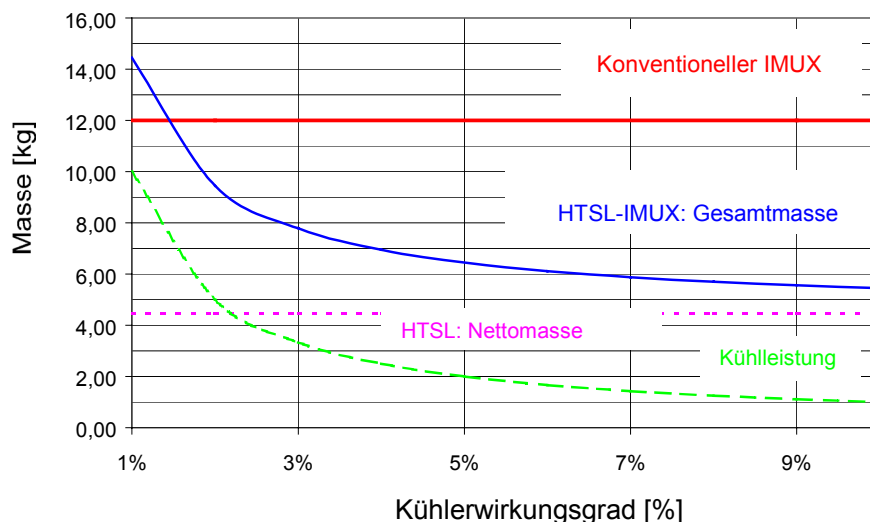


Abbildung 1: Massenbilanz eines 30-Kanal-Eingangsmultiplexers in der Satellitenkommunikation für den Frequenzbereich um 4 GHz. Verglichen ist HTSL-Planartechnik mit konventioneller, dielektrischer Filtertechnik.

Die wesentlichen Ziele im Vorhaben „Supraleiter-Systeme für die Satellitenkommunikation“ waren:

- Der Aufbau supraleitender, gekühlter Subsysteme für verschiedene Anwendungsbereiche der Satellitenkommunikation sowie die Erarbeitung der dafür notwendigen Aufbautechnologien. Im einzelnen waren projektiert:
 - ein Eingangsmultiplexer für das Satelliten-C-Band auf Basis supraleitender Planarfilter. Bis zu Ende des Vorhabens wurde ein derartiges Gerät spezifikationsgerecht aufgebaut und auf einem Kleinkühler integriert. Die beim Aufbau gewonnenen Erfahrungen zeigen, daß für Frequenzen unterhalb ca. 10 GHz ein vorteilhafter Einsatz dieser Technologie für empfängerseitige Anwendungen - auch unter Berücksichtigung der Kühlung - möglich ist [7].
 - ein Oszillator mit extrem geringem Phasenrauschen für 23 GHz (Unterauftrag der Robert Bosch GmbH an das Forschungszentrum Jülich). Im Lauf des Vorhabens zeigte sich, daß zwar nicht auf die Kühlung des stabilisierenden Resonators auf ca. 80 K verzichtet werden kann, wohl aber durch geschickte Wahl der Resonator-Mode auf den Einsatz supraleitender Schichten. Dies ermöglicht zum einen eine freiere Wahl der Arbeitstemperatur wie auch eine erheblich vereinfachte Herstellung des Oszillators. Ein wesentlicher Aspekt der Entwicklungen war auch der Einsatz gekühlter Halbleiter-Bauelemente in kryogenen Schaltungen, welche aufgrund ihrer verbesserten Rauschigenschaften wesentlich zur Rentabilität der Kryo- und HTSL-Technologie beitragen.
 - Gekühlte und supraleitende Filter-Baugruppen für hohe Sendeleistungen. Dabei wurden im wesentlichen zwei Konzepte verfolgt: zum einen die Scheibenresonatorfilter der Universität Wuppertal [8], zum anderen dielektrische Halbkugelfilter des FZ Jülich [5]. Für die Scheibenresonatorfilter war es bis zum Abschluß des Vorhabens nicht möglich, ein spezifikationsgerechtes 4-Kreis-Filter herzustellen, welches gleichzeitig die Vorteile der HTSL-Technologie belegt. Die Gründe hierfür lagen in theoretisch wie praktisch schwer zu realisierenden Koppelverfahren im Filter sowie in einer erst zum jetzigen vollständig beherrschbaren Aufbautechnologie. Auf Basis der Halbkugelfilter wurde in erster Version ein Ausgangsmultiplexer aufgebaut, welcher die vorgegebenen Spezifikationen im wesentlichen einhält. Das Prinzip der Filter ermöglicht zwar keine derart drastische Miniaturisierung wie das der Scheibenresonatoren, bietet jedoch den ganz wesentlichen Vorteil, daß auch ohne Einsatz von HTSL extrem niedrige Dämpfungswerte realisiert werden können. Der Verzicht auf Supraleiter bedeutet, daß die Arbeitstemperatur dieser Filter von 77 K auf bis zu 120 K erhöht werden kann, was den Wirkungsgrad des verwendeten Kühlers um ca. 30% verbessert.
- die Erarbeitung einer reproduzierbar hochwertigen Schicht- sowie Aufbau- und Verbindungstechnologie sowohl bei Bosch als auch bei den entsprechenden Verbundpartnern. Die zur Erreichung dieses Zieles durchgeführten Maßnahmen waren:
 - enge Rückkopplung mit den Schichtherstellern über die an ihren Schichten auf Bauelement-Ebene erzielten Ergebnisse.
 - intensive Nutzung und Erweiterung der dem Verbund zur Verfügung stehenden Charakterisierungsmöglichkeiten (Mikroskopie, Magnetooptik (siehe Abbildung 2), Wirbelstromuntersuchungen, Oberflächenwiderstands-Messung).
 - Schulung der Verbundpartner bezüglich Prozeßkontrolle und Qualitätssicherung, gemeinsame Erarbeitung erster Handhabungs- und Liefervorschriften

- Erarbeitung und Evaluierung der Aufbau- und Verbindungstechnologien (Löten, Spaltschweißen, Kleben) nach Raumfahrt-Standards

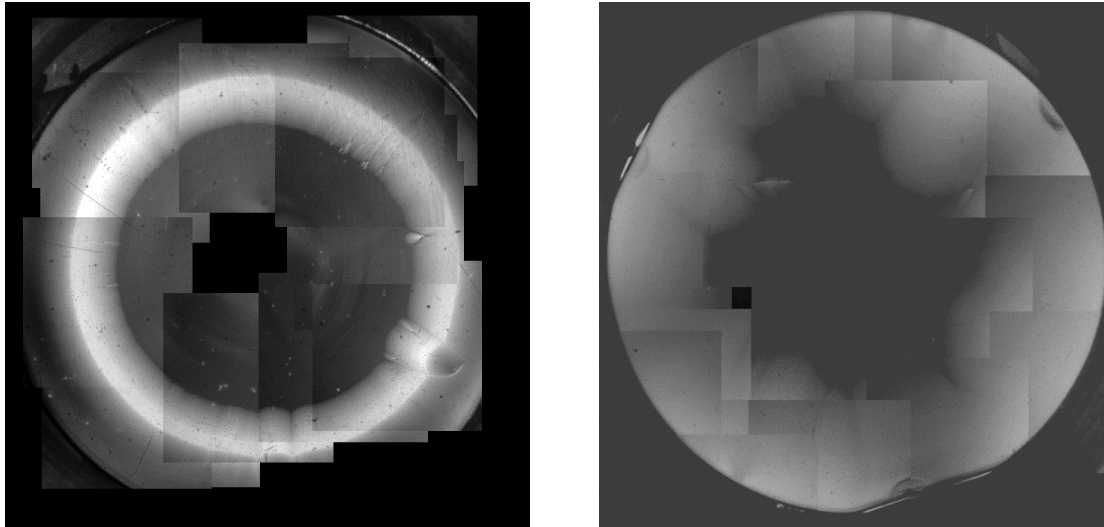


Abbildung 2: *Magneto-optische Messung zweier HTSL-Wafer. Links ein homogener Wafer mit guten Hochfrequenz-Eigenschaften, rechts ein inhomogener Wafer mit zahlreichen Fehlstellen.*

Im folgenden werden die oben genannten Arbeitspakete im Detail beschrieben und die erreichten Ergebnisse dargestellt. Es sei bereits vorab erwähnt, daß die erzielten Resultate einmünden in das BMBF-Leitprojekt „Supraleiter und neuartige Keramiken für die Kommunikationstechnik der Zukunft“. In der ersten Phase dieses neuen Vorhabens wird im Teilprojekt Satellitenkommunikation ein für den Mitflug auf der Internationalen Raumstation vorgesehener Systemdemonstrator hergestellt und über die Dauer von drei Jahren im Orbit getestet.

2. Supraleitende Schichten und Charakterisierung

...

FV/FLT

...