

**Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft,
Forschung und Technologie**

Forschungsbericht / Abschlußbericht

Förderkennzeichen: 13 N 6808

Supraleitungs- und Tieftemperaturtechnik

Thema: *Mehrlagen-Dünnschicht-Technologien für Hochtemperatursupraleiter-
Bauelemente auf Substraten der Halbleiterelektronik*

von:

*Paul Seidel
Sven Linzen
Yongjun Tian
Frank Schmidl
Gunter Kaiser
Jens Scherbel
André Matthes
Kai-Uwe Barholz*

*Friedrich-Schiller-Universität Jena
Institut für Festkörperphysik*

Projektleiter: *Prof. Dr. Paul Seidel*

Berichtszeitraum: *01.01.96 - 31.12.98*

Jena, Juni 1999

Gliederung

1	Einleitung	3
2	Schichttechnologie	4
2.1	Schichten auf Silizium	4
2.1.1	Mehrlagensystem aus Puffer-, YBCO- und Passivierungsschichten	4
2.1.2	Herstellung von Josephsonkontakten	5
2.1.3	Laserdeposition auf 2" Silizium-Wafern	6
2.1.4	YBCO*-Passivierungsschichten	8
2.1.5	Pufferschichten aus Kobaltsilizid	9
2.2	Schichten auf Saphir	11
3	Josephsonkontakte und SQUIDs	13
3.1	Step-edge-Kontakte auf Silizium	13
3.2	Bikristall-Kontakte auf Silizium	15
3.3	Step-edge- und Bikristall-Kontakte auf Saphir	18
3.4	Supraleiter-Normalleiter-Kontakte auf Silizium	20
4	Anwendungen	22
4.1	THz-Mischer auf der Basis von Si-Bikristallkontakten	22
4.2	Tieftemperatur-Mikrowellengenerator	23
4.2.1	Design	23
4.2.2	Experimentelle Details	25
4.2.3	Experimentelle Resultate	26
4.3	2" Flip-Chip-Antennen und integriertes SQUID-Gradiometer	31
4.4	Hybrides HTSL-Hall-Magnetometer	35
4.5	Bolometer und Wärmebildmeßsystem	37
5	Zusammenfassung	40
6	Ergänzende Literatur	41
7	Publikationsliste	44

1 Einleitung

Ziel des Vorhabens war die Weiterentwicklung von HTSL-Dünnschichttechnologien auf Substraten der Halbleiterelektronik wie Silizium und Saphir. Damit sollte ausgehend von ersten Realisierungen [1] die Anwendbarkeit von verschiedenen HTSL-Bauelementen, insbesondere von SQUIDs, verbessert werden. Gleichzeitig wurden Möglichkeiten der Kombination und Integration der auf Silizium hergestellten HTSL-Bauelemente mit Bauelementen auf der Basis von Halbleitern und anderen Materialien in unterschiedlichen Anwendungen untersucht.

Ausgangspunkt für die Schichtherstellung auf Silizium war das Mehrlagensystem YBCO/CeO₂/YSZ [2] mit YBCO-Schichtdicken kleiner als 50 nm. Damit wird die Rißbildung vermieden, die Schichten sind jedoch sehr empfindlich gegenüber Meß- und Umwelteinflüssen. Deshalb sollten im Projektverlauf geeignete Passivierungs- und Metallisierungsschichten entwickelt und die damit erreichbaren supraleitenden Eigenschaften mit denen von YBCO auf Saphir verglichen werden. In Zusammenarbeit mit dem ukrainischen Partner war zu klären, ob sich einkristallines CoSi₂ als alternative Pufferschicht, die gleichzeitig zur Herstellung von elektrischen Verbindungsleitungen (Interconnections) zu HL-Bauelementen dienen kann, eignet.

Grundlage für die Realisierung von SQUIDs auf Silizium waren Josephson-Step-edge-Kontakte. Diese galt es hinsichtlich der Reproduzierbarkeit und der Arbeitstemperatur weiter zu optimieren. Gegebenenfalls sollten bessere Kontaktvarianten gefunden und deren Anwendbarkeit demonstriert werden. Dies gelang durch die Verwendung von hochwertigen Si-Bikristallen.

Weiterhin sollte ein Anwendungsbeispiel für die Kombination von HTSL- und Halbleiter-Hochfrequenzbauelementen gegeben werden. Hierzu wurde in Zusammenarbeit mit dem ukrainischen Partner ein tieftemperaturtauglicher Mikrowellengenerator entwickelt und getestet.

Die Ausdehnung der Schichttechnologie auf größere Substratflächen ermöglichte die Herstellung von YBCO-Antennenstrukturen auf zwei Zoll großen Siliziumwafern. Diese können in Flip-Chip-Geometrie mit SQUID-Gradiometern auf SrTiO₃-Substraten kombiniert werden und besonders die Empfindlichkeit in biomagnetischen Messungen erhöhen. Weiterführend konnte eine erste vollständig auf 2" Silizium entworfene Gradiometer-Variante hergestellt werden.

Untersuchungsgegenstand waren auch Alternativen zu den SQUID-basierenden Magnetfeldsensoren, deren Realisierung sich speziell mit HTSL-Schichten auf technischen Substraten anbietet und eine hybride Schichttechnologie erfordert. Ein entsprechender HTSL-Hall-Sensor wurde bis zur Patentreife entwickelt.

Zur Demonstration des Einsatzes von YBCO-Bolometern auf Silizium wurden Doppelbolometerstrukturen hergestellt, diese auf einem Kleinkühler getestet und ein einfaches wärmebildgebendes System aufgebaut.