



Innenansicht des primären MFFT aus hochreinem Kupfer. Beidseitig des zentralen, mit Federn befestigten Silizium-Chips mit Detektions- und Kalibrierspulen befindet sich jeweils ein SQUID-Stromsensor auf einem Chipträger, von denen jeweils nur die Rückseiten sichtbar sind.

Vorteile

- **Primärthermometer, anerkannt vom Konsultativ-Komitee für Thermometrie (CCT) des BIPM**
- **vollständige Berechenbarkeit des Thermometers (ohne FEM)**
- **thermisch robuster Temperatursensor aus Kupfer hoher Reinheit**
- **zwei unabhängige Signalkanäle, nutzbar für die Kreuzkorrelationsmethode und Konsistenzprüfungen**
- **durchgängige Temperaturmessung von 200 μ K bis 6 K mit nur einem Sensor**

Ansprechpartner:

Andreas Barthel
Technologietransfer
Telefon: +49 531 592-8307
Telefax: +49 531 592-69-8307
E-Mail: Technologietransfer@ptb.de

Dr. Alexander Kirste
Arbeitsgruppe Tieftemperaturthermometrie



Physikalisch-Technische
Bundesanstalt
Bundesallee 100
D-38116 Braunschweig

www.technologietransfer.ptb.de

Primäres, SQUID-basiertes Rauschthermometer für tiefe Temperaturen

Magnetfeld-Fluktuations-Thermometer (MFFT) sind SQUID-basierte Rauschthermometer, die bei tiefen Temperaturen (typisch unterhalb von 5 K) eingesetzt werden. Sie detektieren die Fluktuationen des Magnetfeldes an der Oberfläche eines elektrisch leitenden Körpers („Temperatursensor“), die mit den im Inneren fließenden, thermisch angeregten Strömen verknüpft sind. Durch den vollständig berechenbaren Aufbau können mit dem pMFFT als Primärthermometer direkt thermodynamische Temperaturen gemessen werden, wodurch die sonst nötige Rückführung auf die Internationalen Temperaturskalen ITS-90 und PLTS-2000 entfällt.

Das pMFFT besteht aus vier Hauptkomponenten: (i) einem metallischen Temperatursensor aus hochreinem Kupfer, (ii) einem Si-Chip, der zwei planare, gradiometrische Detektionsspulen sowie zwei planare, gradiometrische Kalibrierspulen enthält, (iii) zwei dc SQUID-Stromsensoren zur Auslesung der beiden Detektionsspulen (=SQUID-Gradiometer), (iv) einer 2-Kanal-SQUID-Elektronik. Der zentrale Bereich im Inneren des Kupferkörpers, über dem sich die Detektionsspulen befinden, bildet den eigentlichen Temperatursensor. Dort wird das thermische magnetische Flussrauschen über zwei unabhängige SQUID-Gradiometer gemessen und unter Verwendung der Kreuzkorrelationsmethode ausgewertet, was alle unkorrelierten, nicht-thermischen Rauschanteile reduziert. Mit bekannter Geometrie und elektrischer Leitfähigkeit des Sensors kann die Temperatur aus den Rauschspektren berechnet werden.

Wirtschaftliche Bedeutung

Sinnvoll ist der Einsatz des pMFFTs bei tiefen Temperaturen (<1 K) als Referenz-Thermometer. Dies gilt insbesondere unterhalb von 10 mK, wo die Verfügbarkeit alternativer und zuverlässiger Messverfahren stark eingeschränkt ist. Es deckt dabei mit nur einem Sensor den gesamten Temperaturbereich von mindestens 200 μ K bis 6 K ab. Dadurch kann es nicht nur mehrere (unterschiedliche) Thermometer ersetzen, die benötigt wurden, um einen solchen weiten Temperaturbereich abzudecken, sondern vermeidet auch mögliche Unstetigkeiten. Durch die geringe Messunsicherheit ist es für metrologische Anwendungen geeignet. Das pMFFT trifft auf einen wachsenden Markt von Kryotechnik, basierend z.B. auf trockenen $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Mischkryostaten mit vielfältigen Anwendungen (z.B. Strahlungs- und Teilchendetektoren, Quantencomputer, Grundlagenforschung).

Entwicklungsstand

Die aktuelle Version des pMFFTs benötigt statt zwei Si-Spulen-Chips nur noch einen einzigen Chip, was Herstellungsaufwand und Messunsicherheit reduziert. Die aktuelle Version wird eingehend erprobt.

Unter der Nummer DE 10 2014 011 670 B3 wurde ein Patent erteilt. Lizenzen für die Nutzung dieser neuen Methode sind verfügbar.