

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

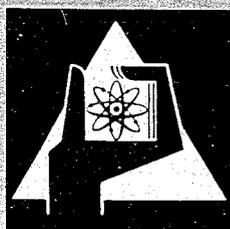
Dezember 1968

KFK 872

Institut für Experimentelle Kernphysik

Die Messung der Güte von supraleitendem Blei
mit Resonatoren im TE_{011} -mode

R. Hietschold, L. List, O. Stoltz



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

November 1968

KFK 872

Institut für Experimentelle Kernphysik

Die Messung der Güte von supraleitendem Blei mit Resonatoren
im TE_{011} -mode

R. Hietschold, L. List, O. Stoltz

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Meßaufbau
 - 2.1. Meßmethode
 - 2.2. Hochfrequenzresonator
 - 2.3. Magnetfeldabschirmung.
3. Messungen
 - 3.1. Meßergebnisse
 - 3.2. Theorie
4. Herstellung
5. Zusammenfassung

1. Einleitung

Neue Messungen wurden an supraleitenden Resonatoren im Frequenzbereich von 2,8 GHz durchgeführt. Bei diesen Messungen sind durch Verbesserungen am Versuchsaufbau und bei der Herstellung der Bleischicht Güten bis $7,1 \cdot 10^9$ erreicht worden.

2. Meßaufbau

2.1. Meßmethode

Voraussetzung für die Messung sehr hoher Gütewerte ist, daß die Meßeinrichtung den zu messenden Resonator nur sehr wenig belastet ²⁾. Die Güte wird mit der Dekrementmethode gemessen. Hierbei wird die Länge der Zeitkonstanten τ nach dem Abschalten des Hochfrequenz-Generators bestimmt und daraus nach $Q = \omega\tau$ die Güte errechnet.

Der Hochfrequenz-Meßaufbau ist in Abb. 1 schematisch dargestellt.

Der Resonator Abb. 1 hat getrennte Ein- und Auskoppelsysteme (transmission type cavity), um Fehler, welche bei sehr kleinen Koppelfaktoren durch die unvollkommene Sperrung der Schaltdiode auftreten, zu vermeiden. Die Ankopplung des Generators und auch der Meßdiode kann so klein gemacht werden, daß eine Beeinflussung der Zeitkonstanten durch die Koppelschleifen nicht mehr beobachtet werden kann.

Um eine Aussage über die supraleitende Schicht zu erhalten, wurde die Temperaturabhängigkeit der Zeitkonstanten gemessen und der Hochfrequenz-Widerstand

$$R = \frac{1}{\omega\tau} \cdot G$$

über T_c/T aufgetragen und durch Extrapolation der Hochfrequenz-Restwiderstand R_{res} ²⁾ bestimmt. G ist der Geometriefaktor des Resonators.

2.2. Resonator

Die Messungen wurden mit einem Resonator im TE_{011} Mode aus OFHC-Kupfer durchgeführt, dessen Resonanzfrequenz bei 2,83 GHz lag.

Gegenüber den ursprünglich ²⁾ verwendeten Resonatoren wurde das Längen- zu Durchmesser Verhältnis auf 1 : 1 verändert. Außerdem wurde die zur Trennung des TE_{011} und des TM_{111} -Modes erforderliche Modedefalle abgeändert.

Ein nur 5 mm tiefer Spalt zwischen Resonatorwand und Resonatorboden trennt die beiden Modes um mehr als 3 MHz. Gleichzeitig wurde hierdurch die Wärmeleitung verbessert und Schwierigkeiten beim Galvanisieren vermieden.

2.3. Abschirmung

Das magnetische Feld wurde durch eine Abschirmung aus μ -Metall, welche aus zwei konzentrischen Zylindern besteht, bis auf 4 m Oe abgeschirmt. Der Einfluß des Restmagnetfeldes auf die Güte kann vernachlässigt werden ³⁾.

3. Messungen

3.1. Meßergebnisse

Ein besonderes Anliegen bei den Untersuchungen war es uns, Resonatoren mit hohen Gütewerten $> 10^9$ reproduzierbar herzustellen und die Reproduzierbarkeit nachzuweisen. Wie aus Tab. 1 zu ersehen ist, gelang dies bei zehnmaligem Neuverbleien ein und desselben Resonators. Die in Tab. 1, Spalte 3 eingetragenen Werte sind die Meßwerte für Q.

Der Versuch Nr. 9 zeigt eine deutliche Abweichung, da vor dem Verbleien das Kupfer elektropoliert wurde. Die Versuche, mit welchen der Einfluß des Untergrundes unter der supraleitenden Bleischicht untersucht werden, sind noch nicht abgeschlossen. Eine Aussage über die Wirkung des Elektropolierens kann noch nicht gemacht werden. In Abb. 2 sind die in drei verschiedenen Laboratorien gemessenen Temperaturabhängigkeiten der Güte Q_0 aufgetragen.

3.2. Theorie

Bei logarithmischer Auftragung der Meßwerte des Hochfrequenzwiderstandes über die Temperatur ergibt sich keine Gerade, sondern eine dem Grenzwert R_{res} sich asymptotisch nähernde Kurve. Dieser Grenzwert R_{res} ist der temperaturunabhängige Teil des Hochfrequenz-

widerstands R

$$R = R_{\text{res}} + R_{\text{T}}$$

Der temperaturabhängige Teil ist der Oberflächenwiderstand R_{T} , der mit fallender Temperatur in erster Näherung nach $e^{-\frac{A}{KT_c}}$ abnimmt. Bei logarithmischer Auftragung des Oberflächenwiderstandes

$$R_{\text{T}} = R - R_{\text{res}}$$

muß sich eine Gerade ergeben, wenn der Hochfrequenzwiderstand R_{res} richtig bestimmt wurde. Aus der Theorie ist bekannt, daß die Steigung der Geraden $\frac{A}{KT_c} \sim 2$ sein muß. Wir haben aus unseren Messungen die Steigung mit $\frac{A}{KT_c} = 2,15$ errechnet, was in guter Übereinstimmung mit der Theorie ist. Die so ermittelten Werte von Q_{res} und R_{res} sind in Tab. 1 eingetragen. Die bei diesen Messungen erreichten Verbesserungsfaktoren sind

$$\frac{Q_{\text{pb}}}{Q_{\text{cu}}^{300^\circ\text{K}}} = 6 \cdot 10^4 \text{ bis } 1.42 \cdot 10^5$$

4. Herstellung

Die Reproduzierbarkeit von Resonatoren mit Restwiderständen $R_{\text{res}} \lesssim 2,4 \cdot 10^{-7}$ wurde besonders durch 3 Maßnahmen erreicht.

1. Bei dem Galvanisieren wird mit großer Sorgfalt gearbeitet und die einzelnen Teile des Resonators werden nach dem letzten Alkoholspülbad ⁴⁾ in einem Vakuumgefäß getrocknet und darin bei 10^{-3} Torr bis zum Einbau in den Kryostaten aufbewahrt.
2. Die Apparatur wurde so weit verbessert, daß bei Raumtemperatur ein Druck von 10^{-5} Torr im Resonator erreicht wird. Vor dem Abkühlen werden die Resonatoren mindestens 12 Stunden gepumpt.

3. Zur Gütemessung wird die Hochfrequenzleistung über getrennte Koppelsysteme ein und ausgekoppelt (transmission type cavity). Hierdurch ist es möglich, den Einfluß der Koppel-elemente klein zu halten und die Messung genauer zu machen.

5. Zusammenfassung

Durch Verbesserung des Herstellungs- und Meßverfahrens ist es gelungen, supraleitende Hochfrequenzresonatoren im TE_{011} Mode im Bereich von 2,6 - 2,8 GHz mit reproduzierbaren sehr hohen Gütewerten herzustellen. Als Supraleiter wird Blei verwendet, welches auf den Kupferuntergrund galvanisch aufgetragen wird.

Die erreichten Verbesserungsfaktoren liegen zwischen $6 \cdot 10^4$ und $1,86 \cdot 10^5$ ($Q_{res} = 3,3$ und $9,3 \cdot 10^9$), was einem Oberflächenwiderstand R_{res} von $2,4 - 0,84 \cdot 10^{-7}$ entspricht.

Herrn P. Kneisel sei für seine Mithilfe bei den Messungen gedankt.

Literaturverzeichnis

- 1) J. Halbritter, R. Hietschold, P. Kneisel, H. Schopper
Coupling losses and the measurement of Q-values of
superconducting cavities KFK 758 Apr. 1968
- 2) J. Halbritter, P. Kneisel, O. Stoltz
Meßmethode des Oberflächenwiderstandes supraleitender
Oberflächen und Meßergebnisse für Blei bei 2,46 GHz
Externer Bericht GFK 3/67-9
- 3) J. Halbritter und K. Hofmann
Der Oberflächenwiderstand von supraleitendem Blei in
Abhängigkeit vom Magnetfeld.
Externer Bericht 3/67-8
- 4) P. Flécher, J. Halbritter, R. Hietschold and K. Hofmann
The Preparation and Performance of Superconducting
Cavities Proc. of the 1966 Lin.Acc. Conf. Los Alamos

Tab. 1

Versuch Nr. 5	Meßwerte		Extrapolierte Werte	
	Temperatur °K	Güte $Q_0 \cdot 10^9$	Güte $Q_{res} \cdot 10^9$	Restwiderstand $R_{res} \cdot 10^{-7}$
1	1,9	3,2	3,3	2,43
2	1,9	3,5	3,9	2,0
3	1,83	6,0	7,1	1,1
4	1,9	3,56	4,1	1,9
5	1,95	3,7	4,7	1,66
6	2,17	2,6	2,9	2,7
7	2,08	3,9	4,9	1,6
8	1,82	2,60	3,06	2,15
9	2,0	1,1	1,28	6,1
10	1,74	7,06	9,3	0,84

- Abb. 1 Hochfrequenz-Meßaufbau (transmission type cavity)
- Abb. 2 Temperaturabhängigkeit des Oberflächenwiderstandes
 $R = f(T_c/T)$ für Blei.
- Abb. 3 Temperaturabhängigkeit der Güte Q_0 für Blei
 $Q = f(T)$.
Messungen von Stanford, Brookhaven und Karlsruhe.

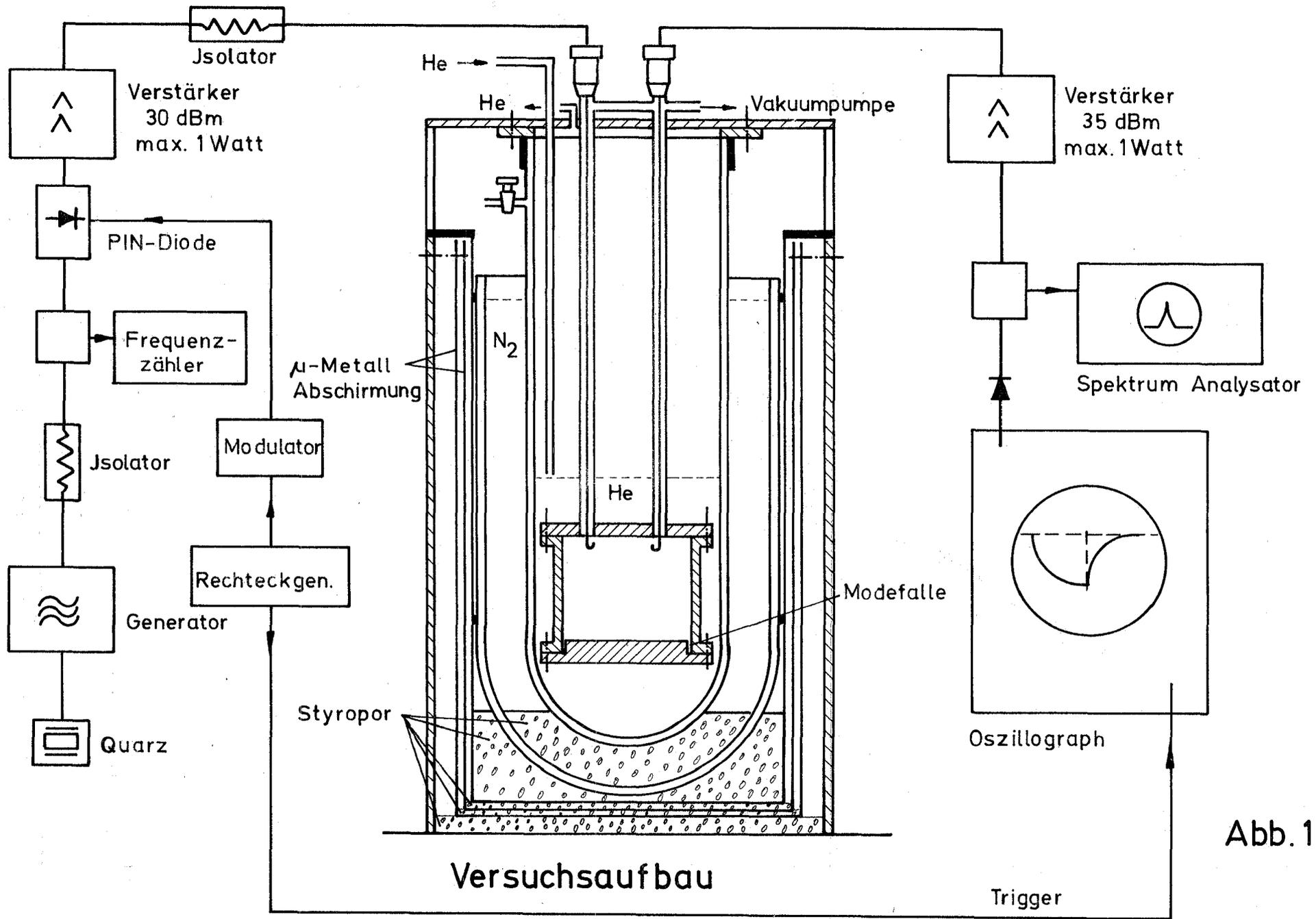


Abb. 1

