

F.W. Gundlach: Über eine hochvakuumdichte konzentrische Durchführung.

Im Gebiet der Dezimeter- und Zentimeterwellen fließt der Blindstrom der zur Schwingungserzeugung verwendeten Resonatoren fast vollständig über die Elektrodenkapazitäten der Röhrenanordnungen. Sofern man nicht den gesamten Resonator ins Vakuum setzt, ist es erforderlich, hohe Blindströme durch die Vakuumschleife hindurchzuführen. Resonatoren im Vakuum kann man nicht verwenden, wenn man größere Veränderungen der Eigenwellenlänge mit einfachen Hilfsmitteln außerhalb des Vakuums durchführen will oder wenn man den Resonator zum Zwecke des Röhrenwechsels getrennt von der Röhre im Gerät vorsehen will. Die Durchführung hoher Blindströme durch die Vakuumschleife ist ein technologisches Problem, da die verwendeten leitenden und isolierenden Werkstoffe nach hochfrequenztechnischen Gesichtspunkten ausgewählt werden müssen. 1)

Die im Laboratorium der Firma Funkstrahl entwickelte hochvakuumdichte konzentrische Durchführung ist in Abb. 1 rechts dargestellt. Als leitendes Metall wird ausschließlich Kupfer verwendet, als Isolator dient ein Ring aus Calit, der durch ringförmige Schmelzflüsse aus Glas mit dem Kupfer hochvakuumdicht verbunden wird. Zur Herabsetzung der Leitungsverluste wurde darauf geachtet, daß das Kupfer auch unter dem Glase vollkommen blank ist.

Da die Bindung zwischen Kupfer und Glas und ebenso das Glas und die Keramik selbst nur geringe Zugspannungen aufzunehmen vermögen, muß die gesamte Einschmelzung sich dauernd unter Druckspannungen befinden. Um diese Druckspannungen zu erzeugen, ist innerhalb des Kupfermittelleiters ein Ring aus Glas eingeschmolzen, während außerhalb des Kupferaußenleiters ein Ring aus Nickeleisen mittels Glas aufgeschmolzen ist. Damit beim Abkühlen der Verschmelzung im Schmelzofen die gewünschten Druckspannungen entstehen, müssen die thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Werkstoffe von außen nach innen abnehmen, damit sich die äußeren Werkstoffe beim Abkühlen stärker zusammenziehen und Druckspannungen auf die weiter innen liegenden Ringe ausüben. Lediglich der ganz außen befindliche Nickeleisenring ist einer Zugspannung ausgesetzt. Eine Ausnahme bei der Abstufung der Ausdehnungskoeffizienten bilden die Kupferleiter; diese müssen deshalb mit so geringer Wandstärke (0,1 bis 0,2 mm) ausgeführt werden, daß sie keine kräftigen Spannungen auszuüben vermögen.

Einen gewissen Überblick über die auftretenden mechanischen Spannungen erhält man aus dem Studium der in Abb. 2 dargestellten Ringverschmelzung. Es ist ein Zylinder aus dünnem Kupfer vorhanden, an den innen und außen Ringe aus verschiedenen Glassorten angeschmolzen sind. Die thermischen Dehnungen ϵ_{th} sind in Abhängigkeit der Temperatur T im linken Diagramm aufgetragen; den größten Ausdehnungskoeffizienten hat das Kupfer (ca. $19,4 \cdot 10^{-6}/^{\circ}C$), den nächst niedrigen hat Glas I ($7,1 \cdot 10^{-6}/^{\circ}C$), dann folgt Glas II ($6,4 \cdot 10^{-6}/^{\circ}C$). Einen Überblick über die mechanischen Spannungen in Abhängigkeit von der Dehnung gibt der Zugversuch, der im rechten Diagramm der Abb. 2 dargestellt ist. Die Gläser haben bei hohen Zugspannungen σ_z nur geringe Dehnungen ϵ_z ; bei einer Zugspannung von etwa 8 kg/mm^2 und einer Dehnung von etwa 1 % tritt Bruch ein. Völlig anders sieht die Kurve bei dem infolge der Erwärmung im Schmelzofen ausgeglühten Kupfer aus; schon bei geringen Zugspannung zeigt sich ein starkes Fließen, wobei bei stärkerer Dehnung eine Verfestigung eintritt. Entlastet man bei einer bestimmten Dehnung ϵ_z (im Diagramm bei etwa 1 % und 8 %) das Kupfer, so zieht es sich nicht wieder auf die alte Länge zusammen, sondern verformt sich elastisch mit hohem Elastizitätsmodul; bei erneuter Belastung beginnt es dann erst bei einer höheren Spannung wieder zu fließen. Wird ein nach dem Schema der Abb. 2 hergestellte Ringverschmelzung im Schmelzofen unter dem Erweichungspunkt der Gläser abgekühlt, so schrumpft der Kupferring auf den inneren Glasring auf, das Kupfer wird dabei gereckt, die Spannungen bleiben jedoch infolge des Fließens und der dünnen Wandstärke des Kupfers klein. Der äußere Glasring drückt von außen her auf das Kupfer, da dieses ja durch den inneren Ring am Zusammenziehen gehindert wird.

Die Methode der Herstellung der Verschmelzung ist aus dem linken Bild der Abb. 1 zu ersehen. Der Keramikring und der Nickel-eisenring werden durch Einschmelzlehren gehalten; beide Ringe sind so ausgestaltet, daß sie zugleich als Schmelzformen für den Glasfluß dienen; das einzuschmelzende Glas wird in Form von zylindrischen Ringen von oben eingelegt. Lediglich der Glasring im Innern des Innenleiters muß eine besonders Schmelzform erhalten; sie besteht entweder aus Kohle oder aus einem Hütchen aus dünnem Kupfer, das sich bei der Abkühlung infolge seiner starken Zusammenziehung innen vom Glase ablöst. In der in Abb. 1 links dargestellten Weise werden die Verschmelzungen in den Ofen eingesetzt.

Um eine gute Bindung zwischen dem Glasfluß und den Kupferteil zu erzielen, werden die Kupferteil in einer Sauerstoffatmosphäre voroxydiert, so daß sie sich mit einer dünnen Oxydschicht

überziehen. Diese Oxydschicht wird beim Schmelzen vollkommen vom Glasfluß aufgenommen, so daß das Kupfer auch unterhalb des Glases blank wird. Die Verschmelzung selbst erfolgt in einer Stickstoffatmosphäre. Es ist möglich, zugleich mit der Verschmelzung Lötungen mit einem Lot aus Silber-Kupfer-Eutektikum in einem Arbeitsgang durchzuführen.

Aus Hochfrequenzmessungen ergibt sich, daß diese Verschmelzung zwischen Außen- und Innenleiter bei einer Wellenlänge von 14 cm einen kapazitiven Widerstand von rd. 50 Ohm darstellt, dem ein ohmscher Widerstand von etwa 10 kOhm parallel liegt; bei Erwärmung der Verschmelzung um etwa 100° C erniedrigt sich der Hochfrequenzwiderstand auf etwa 70 %. Eine Erhöhung des Oberflächenwiderstandes des Kupfers durch den aufgeschmolzenen Glasfluß konnte durch Messungen nicht festgestellt werden. Es ist deshalb zweckmäßig, die Verschmelzung mit hohen Hochfrequenzströmen und geringen Hochfrequenzspannungen zu betreiben, damit man eine möglichst hohe Blindleistung bei möglichst geringen Verlusten durch die Vakuummülle hindurchführen kann.

Anmerkung:

1) An der technologischen Durchbildung der hier beschriebenen Verschmelzung ist Herr Ing. K.Theuss hervorragend beteiligt gewesen.

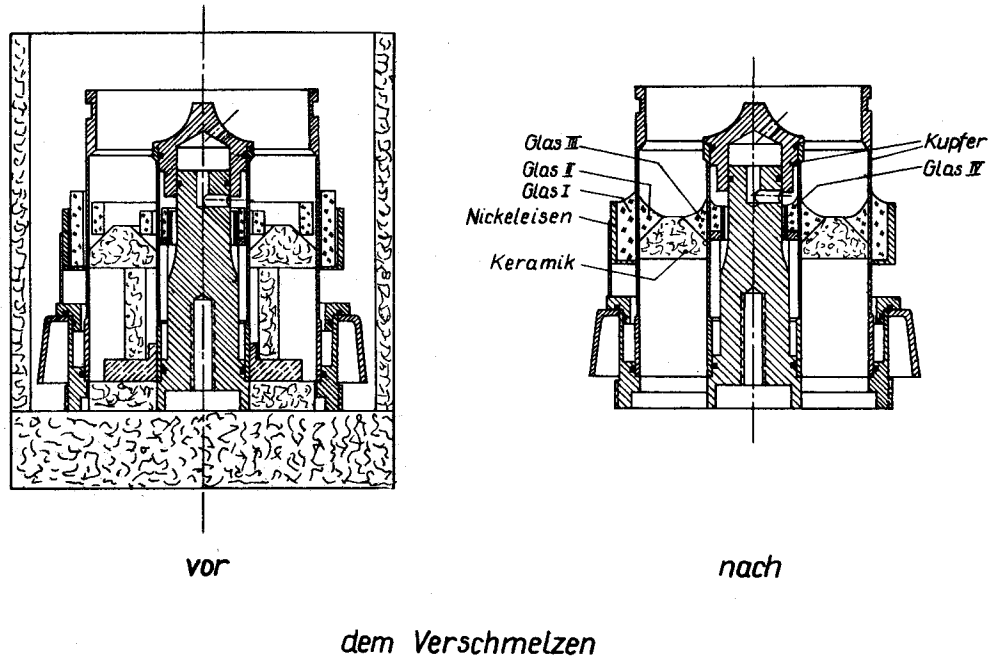


Abb. 1 Konzentrische Verschmelzung

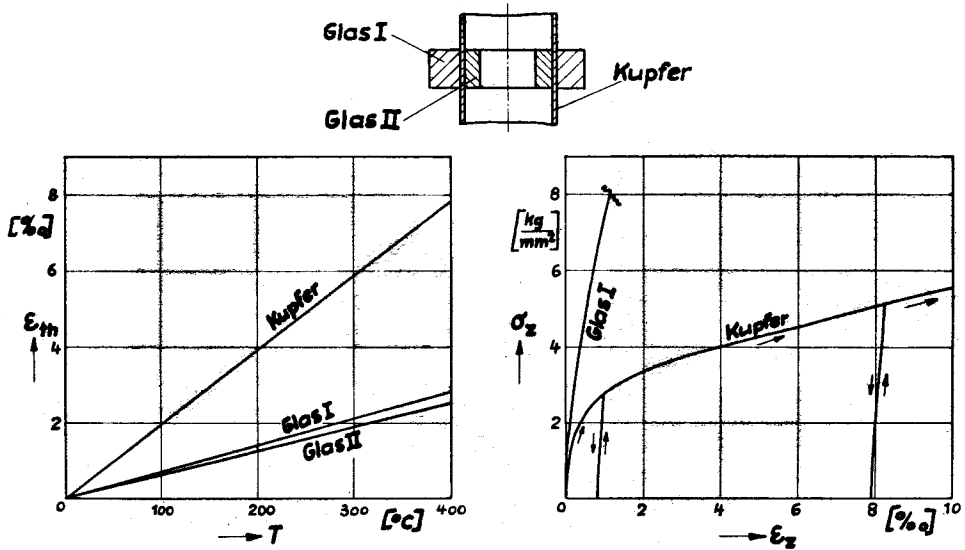


Abb. 2 Ringverschmelzung