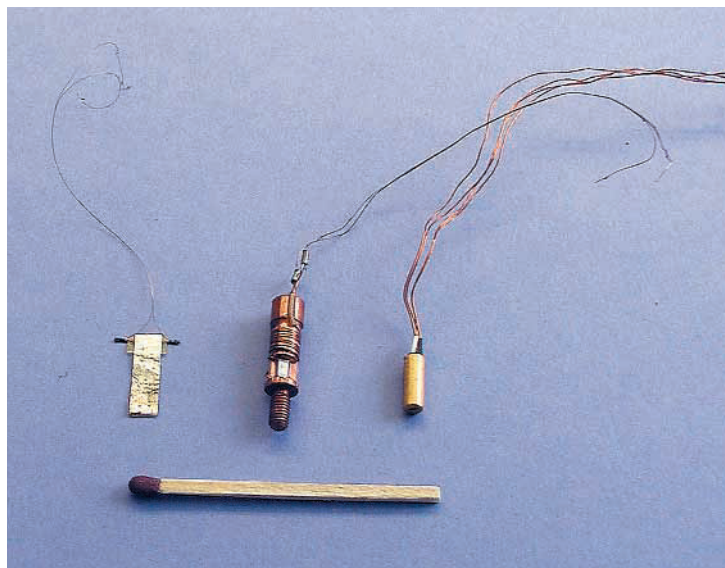


HINTERGRUND

Messung tiefster Temperaturen

WIE MAN DEN ELEKTRISCHEN WIDERSTAND BESTIMMTER MATERIALIEN ODER DEN SCHMELZDRUCK VON ³HELIUM ZUM MESSEN EXTREM NIEDRIGER TEMPERATUREN NUTZT



WOLFGANG HEHN

abhängigkeit lässt sich mit Hilfe der Halbleiterttheorie oder der Theorie des Metall-Isolator-Überganges erklären. In der Abbildung sind drei verschiedene Widerstandsthermometer gezeigt, wie sie experimentell verwendet werden, und im Graphen ist der elektrische Widerstand in Abhängigkeit der Temperatur abgebildet. Zur Temperaturmessung benützt man hochempfindliche und rauscharme Widerstandsmessbrücken, und der gemessene elektrische Widerstand des Thermometers wird mit Hilfe der zugehörigen Kalibrierungskurve (siehe Graph) in die entsprechende Temperatur umgerechnet.

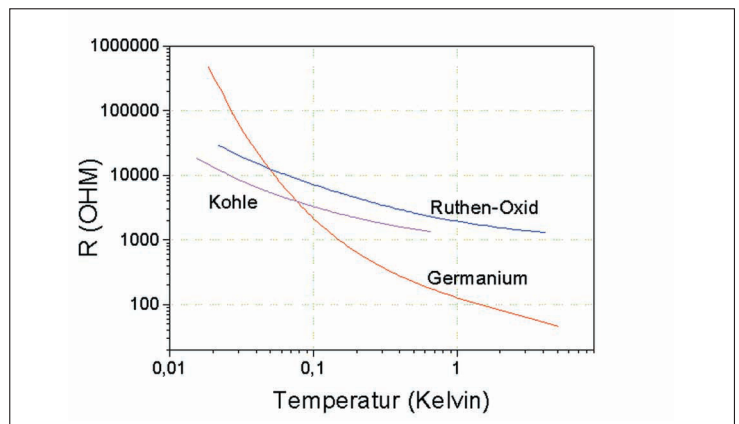
VON KURT UHLIG

Eine beliebte Frage bei Diplomprüfungen für Physiker lautet etwa so: „... und dann erzählen sie uns mal, wie man tiefe Temperaturen misst.“ Und die Antwort des Prüflings, der selbstverständlich auf die Frage vorbereitet war, lautet: „Mit einem Germanium-Widerstandsthermometer“ oder „Mit einem Kohlewiderstand“. Aus manchen Typen von kommerziellen Widerständen, wie sie in der Elektrotechnik verwendet werden, lassen sich in der Tat Thermometer für Temperaturen unter 4 Grad Kelvin (-269 Grad Celsius) herstellen, wenn ihr Widerstandsverhalten bei tiefen Temperaturen temperaturabhängig ist. Diese Temperatur-

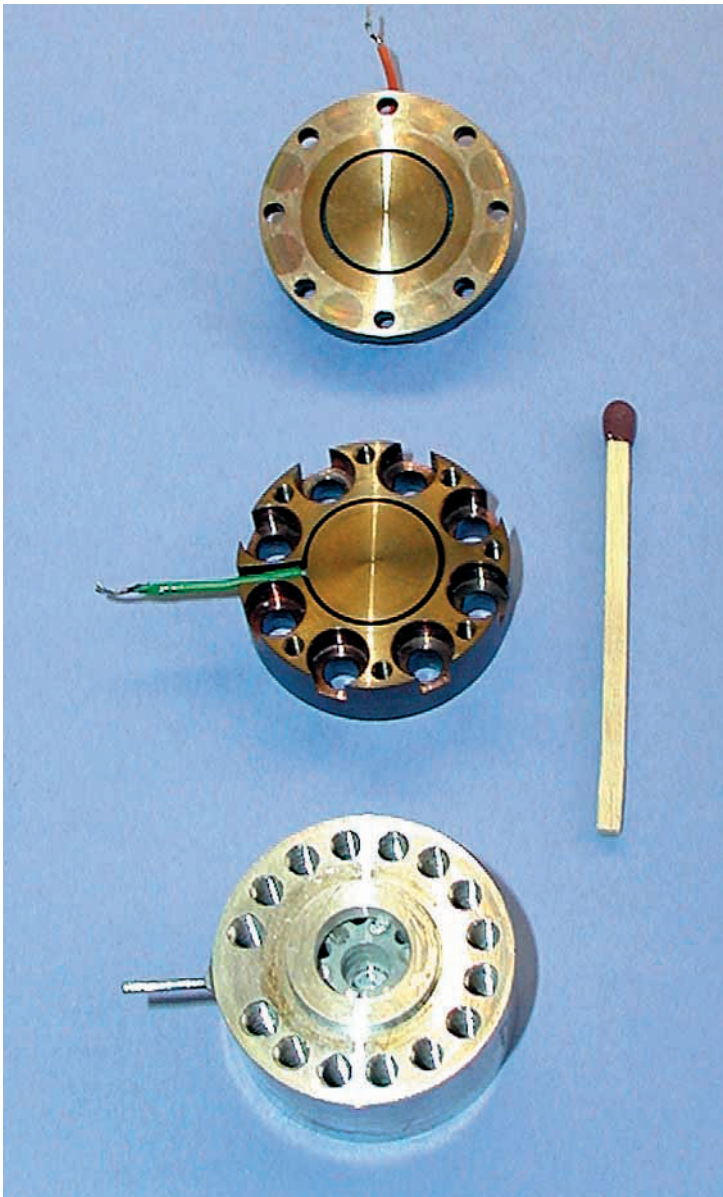
Widerstandsthermometer, links: präparierter Kohlewiderstand in Silberfolie, Mitte: Schichtwiderstand aus Ruthen-Oxid (weiß) auf Kupfer-Halterung, rechts: kommerzielles Germanium-Thermometer

Der Vorteil der Widerstandsthermometer ist u. a. ihre geringe Größe und der niedrige Kaufpreis; deshalb

Verhalten des elektrischen Widerstands von 3 unterschiedlichen Thermometermaterialien



KURT UHLIG



WOLFGANG HEHN

³He-Schmelzdruckthermometer, unten: Silberboden mit Silberschwamm im Zentrum, Mitte: Membrane mit zentrierter Kondensatorplatte, oben: Kappe mit Kondensatorplatte im Zentrum

kommen sie in fast allen Tieftemperaturexperimenten zur Anwendung. Der Hauptnachteil ist zum einen, dass sie nahe dem absoluten Temperatur-Nullpunkt (0° Kelvin = -273.16° Celsius) unter 0.02 K (oder 20 Millikelvin) nicht mehr verwendbar sind, und natürlich der, dass sie vor Verwendung erst mit einem „echten“ Thermometer kalibriert werden müssen. Wie sieht nun ein „echtes“ Thermometer, ein sog. „Thermometer der ersten Art“ aus? Es gibt ganz unterschiedliche Thermometer der ersten Art, die aber alle eines gemeinsam haben, nämlich dass sie aufwändig sind. Hier wird ein sog. ³He-Schmelzdruckthermometer (SDT) beschrieben, wie es an der University of

Florida von E. D. Adams erstmals realisiert worden ist. Am WMI betreiben wir seit Jahren ein SDT; das Know-how hierfür wurde im Lauf der Zeit immer weiter verbessert.

Es gibt 2 verschiedene Arten (Isotope) von Helium, die nicht radioaktiv und somit beständig sind, das bekannte Helium (⁴He), das z.B. beim Befüllen von Ballons Verwendung findet, und das seltene Helium mit der Atommasse 3, das auf der Erde so gut wie nicht natürlich vorkommt, aber durch eine Kernreaktion künstlich erzeugt werden kann. Helium (³He und ⁴He) ist die einzige Substanz, die bei tiefsten Temperaturen nicht gefriert, sondern flüssig bleibt. Erst bei einem Druck von ca. 30 bar verfestigt sich ³He, wobei aber der Verfestigungsdruck temperaturabhängig ist. Mit anderen Worten, die Schmelzkurve, also die Phasentrennlinie zwischen festem und flüssigem ³He, zeigt eine ausgeprägte Temperaturabhängigkeit, die man zur Messung der Temperatur verwendet (siehe S. 28 Abb. 2). Das Verfahren ist dabei so, dass man am Messobjekt eine kleine Kammer anbringt, die bei tiefer Temperatur mit einem fest-flüssig Gemisch von hochreinem ³He gefüllt ist. Dann stellt sich in der Kammer bei einer bestimmten Temperatur der zugehörige Druck (Schmelzdruck) selbständig ein, der gemessen wird. Über den präzise bekannten Verlauf der Schmelzkurve lässt sich der gemessene Druck in die zugehörige Temperatur umrechnen.

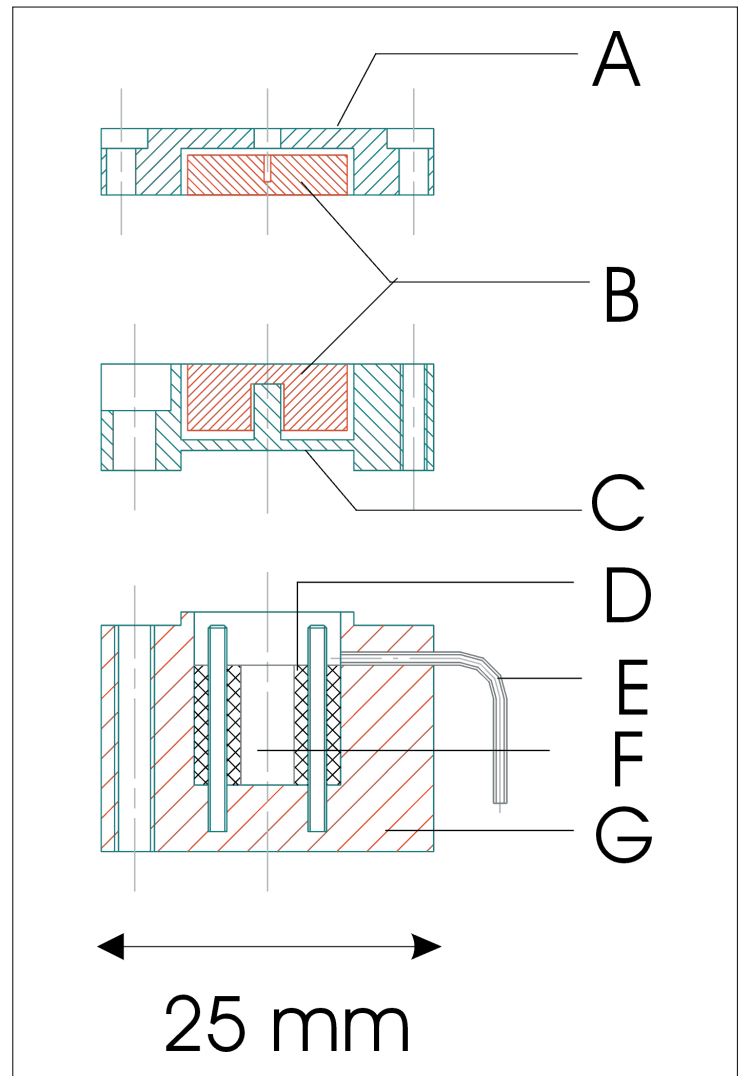
Die ³He-Kammer (s. S. 28 Abb. 1) ist so aufgebaut, dass an ihrem Boden ein Metall-Schwamm (Sinter) angebracht ist zur besseren thermischen Kontaktierung des ³He an den Kammerboden, der meist aus hochreinem Silber besteht. Die gegenüberliegende Wand ist als Membrane ausgebildet; je nach Kammerdruck ergibt sich eine

Schnitt durch Schmelzdruckthermometer, A: Kappe, B: Kondensatorplatten, C: elastische Membrane, D: Silberschwamm, E: Füllröhrchen, F: Innenraum für fest/flüssig-³He, G: Silberboden

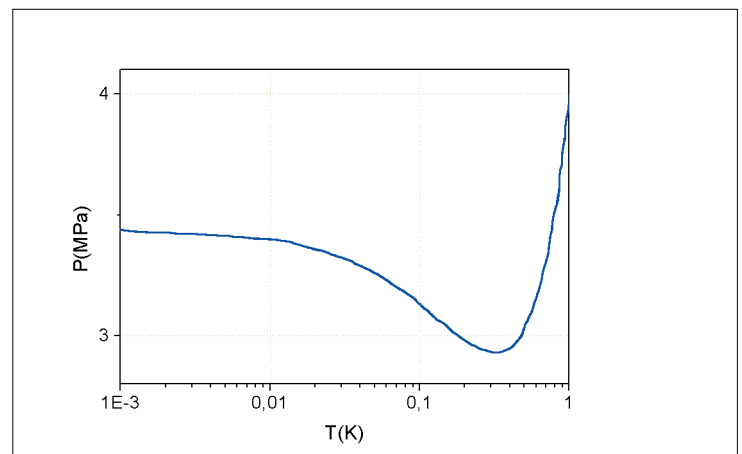
bestimmte Auslenkung der Membrane; auf der Membrane ist eine Kondensatorplatte angebracht, während die zugehörige zweite Kondensatorplatte mit dem Gehäuse der Kammer verbunden ist. Über den Plattenabstand bzw. die Kapazität des Kondensators kann die Auslenkung der Membran und damit der Druck in der ³He-Kammer gemessen werden.

Beim Bau und Betrieb eines SDT sind eine ganze Reihe von experimentellen Details zu beachten, die man entweder erlernen oder sich erarbeiten muss; das hat dazu geführt, dass das SDT sich lange Zeit großer Unbeliebtheit erfreut hat. Jedoch musste man erkennen, dass es für eine zuverlässige Temperaturbestimmung im Millikelvin-Bereich keine attraktiven Alternativen gibt, und so wurde die ³He-Schmelzkurve als Tieftemperaturstandard für die internationale Temperaturskala im Temperaturbereich von 1 Millikelvin bis 0.7 K eingeführt („PLTS-2000“). Am WMI verwenden wir das SDT regelmäßig zur Temperaturbestimmung bei Experimenten unter 20 Millikelvin und zur Kalibrierung der eingangs beschriebenen Widerstandsthermometer. Viele Arbeiten der letzten Jahre wären ohne SDT nicht möglich gewesen.

In Bayern gibt es neben unserem SDT ein Exemplar an der Universität in Bayreuth, das aber zusammen mit seinem Betreiber bald in Pension geht; das WMI-Thermometer hat hoffentlich noch einige Betriebsjahre vor sich.



WOLFGANG HEHN



KURT UHLIG

Schmelzkurve (Druck/Temperatur) von ³He bei tiefen Temperaturen