

erhält man ohne und mit Berücksichtigung des Spins den durch

$$E(\mathbf{K}) = E + F K_x^2 + (G K_y + H K_z)^2$$

gegebenen Bandverlauf. Die zweifache Entartung im Spinfall ist eine Folge der Zeitumkehrsymmetrie. Die

Energieflächen sind dreiachsige Ellipsoide. In Abb. 2 sind die hier diskutierten Bandverläufe skizziert. Für alle anderen Punkte der BRILLOUIN-Zone ist  $\nabla_{\mathbf{K}} E$  wenigstens in einer Richtung von Null verschieden, so daß nur in den Punkten  $\Gamma$ ,  $Z$ ,  $A$  und  $D$  Extrema vorausgesetzt werden können.

### Ein neues Verfahren zur kontaktlosen Messung der elektrischen Leitfähigkeit dünner Schichten

Von E. HUSTER, WILFRIED RAUSCH und JULIUS SCHMAND  
Institut für Kernphysik, Münster

(Z. Naturforschg. 19 a, 1126—1127 [1964]; eingegangen am 27. Juni 1964)

In vielen Fällen kann man die elektrische Leitfähigkeit dünner Schichten nicht durch eine Strom-Spannungsmessung bestimmen, da es schwierig ist, geeignete Kontakte an der Schicht anzubringen. Auch liefert eine Strom-Spannungsmessung immer dann ungenaue Aussagen, wenn der Flächenwiderstand  $R_{\square}$  nicht über die ganze Schicht konstant ist ( $R_{\square} = \rho/d$ ;  $\rho$  = spezifischer Widerstand,  $d$  = Dicke der Schicht).

Zur kontaktlosen Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit verwendet man oft die Induktionsspule eines Schwingungskreises. Die Änderung der Resonanzfrequenz des Kreises bei Annäherung der Spule an die Schicht ist ein Maß für deren Leitfähigkeit. Inhomogenitäten der Schicht lassen sich nachweisen, indem man die Spulenfläche parallel zur Schicht bewegt.

Dies Verfahren eignet sich jedoch nur für relativ gut leitende Schichten. Der Bereich, in dem beim Aufdampfen von Metallschichten der Flächenwiderstand von Werten oberhalb  $10^{10} \Omega$  auf einige  $\Omega$  abfällt, läßt sich mit diesem Verfahren nicht zuverlässig erfassen.

Für diesen Bereich wurde ein *kapazitiv* arbeitendes Verfahren entwickelt, bei dem man die Änderung des Flächenwiderstandes während des Aufdampfens messend verfolgen kann. Eine gut leitende Metallplatte wird parallel zu der zu messenden Schicht angebracht und die Kapazität zwischen Platte und Schicht gemessen. Kann man an der Schicht selbst einen Kontakt

anbringen, so arbeitet man zweckmäßig in der in Abb. 1 a dargestellten Anordnung. Ist das nicht möglich, so arbeitet man mit der Anordnung nach Abb. 1 b, bei der zwei leitende Metallplatten ( $K_1$  und  $K_2$ ) parallel zur Schicht angeordnet sind.

In beiden Fällen ist für  $R_{\square} = \infty$  die zwischen  $K_1$  und  $K_2$  gemessene Impedanz  $Z \approx 0$ , für  $R_{\square} = 0$  ist  $Z \approx 1/j\omega C$ , wobei  $C$  die statische Kapazität zwischen  $K_1$  und  $K_2$ ,  $j$  die imaginäre Einheit und  $\omega$  die Kreisfrequenz ist. Abb. 2 zeigt ein Beispiel einer Impedanzmessung an einer Ag-Schicht in Abhängigkeit von der Aufdampfzeit, der die Schichtdicke nahezu proportional ist (allerdings wird der Proportionalitätsfaktor sich bei verschiedenen Aufdampfungen unterscheiden). Aufgetragen sind die beiden dimensionslosen Größen  $P_x/C = 2/\omega C R_x$  und  $C_x/C$ , die proportional zu Real- und Imaginärteil von  $1/Z = 1/R_x + j\omega C_x$  sind. Ist ein bestimmter Flächenwiderstand erreicht, so steigt bei weiterem Aufdampfen  $C_x/C$  schnell von nahezu 0 auf 1; im gleichen Bereich durchläuft  $P_x/C$  ein Maximum, dessen Ordinate unter 1 liegt. (Der Zahlenwert hängt von der Form der Schicht und der Kontakte ab.)

Der Anstieg der gemessenen Kapazität  $C_x$  zum statischen Wert  $C$  rückt natürlich zu um so größeren Schichtdicken, d. h. kleineren  $R_{\square}$ , je größer  $\omega$  ist. Man kann zeigen, daß die Meßgrößen  $P_x/C$  und  $C_x/C$  nur von dem Produkt  $\omega R_{\square} C$  abhängen, und daß insbesondere der Wert  $(\omega R_{\square} C)_{\max} = K$  im Maximum von  $P_x/C$  nur von der Geometrie der Anordnung (Größe der Schicht, Form der Kontakte usw.) abhängt.  $K$  läßt sich nur in einfachen Fällen ohne größeren Aufwand berechnen; auch eine experimentelle Bestimmung kann schwierig sein. — Da  $P_x/C$  und  $C_x/C$  nur von  $(\omega R_{\square} C)$  abhängen, erhält man Kurven wie in Abb. 2 auch dann, wenn man statt  $R_{\square}$  entweder  $\omega$  oder  $C$  ändert.

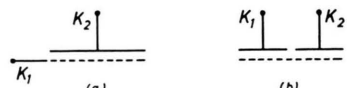
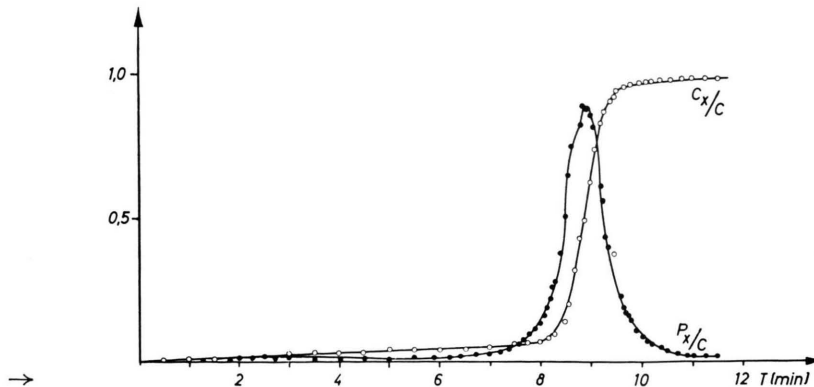


Abb. 1. Meßanordnungen schematisch: a) dünne Schicht mit Kontakt  $K_1$ , parallel dazu Metallplatte  $K_2$ . b) Dünne Schicht ohne Kontakte, parallel dazu zwei Metallplatten  $K_1$  und  $K_2$ .

Abb. 2.  $P_x/C$  und  $C_x/C$  einer Ag-Schicht auf Formvarunterlage von  $30 \times 60 \text{ mm}^2$  in Abhängigkeit von der Aufdampfzeit  $T$ , gemessen mit einer Wayne-Kerr Universal Bridge in der Anordnung nach Abb. 1 a ( $\omega = 10^4 \text{ sec}^{-1}$ ,  $C \approx 6 \text{ pF}$ ).



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

1. Messung bei veränderlichem  $\omega$ 

Mißt man zunächst  $P_x/C$  und  $C_x/C$  an einer Schicht mit bekanntem  $R_\square$  in Abhängigkeit von  $\omega$ , so erhält man für die gegebene Anordnung den Zusammenhang der Meßgrößen mit  $(\omega R_\square C)$  und insbesondere den Wert  $K = (\omega R_\square C)_{\max}$ . Ist  $K$  dann bekannt, so kann man (in exakt gleicher geometrischer Anordnung)  $R$  anderer Schichten bestimmen, indem man  $P_x/C$  und/oder  $C_x/C$  als Funktion von  $\omega$  mißt.

Besteht die Schicht aus Gebieten mit verschiedenen  $R_\square$ , so ist die Bedingung  $\omega R_\square C = K$  für das Maximum von  $P_x/C$  nicht für die gesamte Schicht mit derselben Frequenz zu erfüllen. In solchen Fällen verbreitert sich das Maximum der Kurve  $P_x/C$  oder es treten mehrere Maxima auf; entsprechend steigt  $C_x/C$  weniger steil an als bei homogener Schicht oder es steigt in mehreren Stufen auf den Endwert 1.

2. Messung bei veränderlichem  $C$ 

Die Bedeutung dieser Methode ist gering, da man  $C$  (durch Änderung des Abstandes zwischen Schicht und Platte) praktisch nur um einen wesentlich kleineren Faktor ändern kann als die Frequenz. Nur wenn es auf einen möglichst großen Meßbereich ankommt, kann man  $(\omega R_\square C)$  außer durch den verfügbaren Frequenzbereich zusätzlich noch durch Variation von  $C$  ändern.

3. Messung bei veränderlichem  $R_\square$ 

Abb. 2 zeigt eine solche Messung. Mit dieser Methode kann man Schichten mit gewünschtem  $R_\square$  herstellen, sofern man den Wert von  $K$  für die vorliegende Anordnung kennt. Zweckmäßig wählt man dazu  $\omega = K/R_\square C$ , wo  $R_\square$  der gewünschte Flächenwiderstand ist, und bricht die Bedampfung ab, wenn  $P_x$  durch sein Maximum geht. Dabei muß  $C_x$  ungefähr den Wert  $C/2$  erreicht haben. Ist das nicht der Fall, so kann man daraus schließen, daß die Schicht inhomogen ist. Abb. 3 zeigt eine Messung an einer Schicht, die vor dem Aufdampfen des Silbers zur Hälfte mit Kohlenstoff „bekernt“ wurde<sup>1</sup>. Auf dem bekernten Teil wird der gewünschte Wert von  $R_\square$  bei geringeren Schichtdicken erreicht als auf dem unbekernten. Die Bedingung  $(\omega R_\square C)_{\max} = K$  wird deshalb für die beiden Teilbereiche bei verschiedenen Aufdampfzeiten erreicht. Demgemäß treten zwei Maxima von  $P_x/C$  auf und  $C_x/C$  steigt in zwei Stufen auf den Wert Eins.

Das Verfahren wurde bei der Herstellung und Prüfung von Präparatunterlagen für absolute  $\beta$ -Zählung verwendet. Dabei wurden Formvarfolien mit Massenbelegungen von 1 bis  $5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  mit Ag-Schichten von 1 bis  $20 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  bedampft. Die gemessenen Flächenwiderstände lagen zwischen  $10^{10}$  und  $10^8 \text{ Ohm}$ . Bei Aufdampfungen mußten i. allg. stärkere Unterlagen verwendet werden.

Eine ausführliche Darstellung erscheint in Kürze.

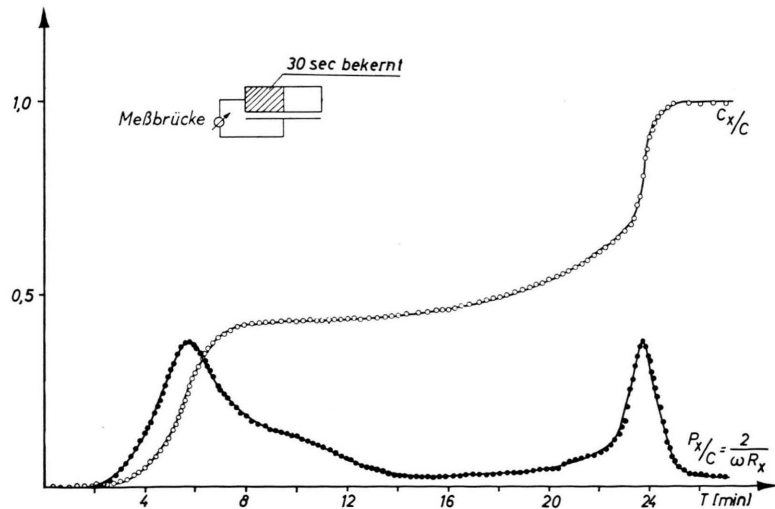


Abb. 3. Messung wie in Abb. 2 an einer Ag-Schicht auf einer zum Teil mit Kohlenstoff bekernten Formvarunterlage.

<sup>1</sup> E. HUSTER u. W. RAUSCH, Nucl. Instrum. 3, 213 [1958]; 6, 217 [1960].