

Abb. 1. Schematischer Strahlengang. H1 (H2) Hauptebene von Linse 1 (2). I, II und III bezeichnen drei Bahnen verschieden Achsenwinkels; ausgezogen: $p = p_0$; gestrichelt: $p > p_0$; strichpunktiert: $p < p_0$. Die eingezeichneten Strecken x und y beziehen sich auf Bahn III.

$$\frac{\beta_2}{1-b/d} + \gamma_2(1-b/d)^2 > 0;$$

d ist der Abstand des Berührungs punktes von Elektronenbahn ($p = p_0$) und Blende 1 von der Hauptebene H1.

Für dünne Linsen gelten die folgenden Näherungsformeln³:

$$f = \frac{2}{\pi} \frac{a}{k^2}, \quad C_\delta = \frac{2}{\pi^3} \frac{a}{k^6};$$

³ W. GLASER, Z. Phys. 117, 285 [1941].

f = Brennweite, $k = H_0 a / (2 H_0)$ mit H_0 = Feldstärke im Linsenzentrum, $2a$ = Halbwertbreite der Feldverteilung auf der Achse und H_0 = Steifigkeit der Elektronen, C_δ = Öffnungsfehlerkonstante.

Damit gehen die Gln. (I), wenn man etwa $a_1 = a_2$ und $1-b/d = -2$ macht, über in

$$\begin{aligned} -\frac{1}{2} k_1^2 + 4 k_2^2 &> 0, \\ \frac{1}{2} k_1^2 - k_2^2 &> 0, \\ k_2^2 \left(1 + \frac{3}{4} \frac{X_0^2}{a_1^2}\right) - \frac{3}{8} \frac{X_0^2}{a_1^2} k_1^2 &> 0, \end{aligned} \quad (\text{II})$$

und man überzeugt sich, daß diese Forderungen (II) erfüllt sind etwa mit $k_1 = 2 k_2$ und $X_0 \ll a_1$; der Index 1 (2) bezieht sich dabei auf die Linse 1 (2).

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß man die Reihenfolge der Linsen 1 und 2 vertauschen kann; diese Variante hat aber den Nachteil kleinerer Lichtstärke.

In praxi wird man als erste Linse eine dicke Linse nehmen, da die sphärische Aberration dicker Linsen geringer ist. Die Verhältnisse werden dann unübersichtlicher, und man ist vollständig auf numerische Bahnberechnungen oder photographische Bahnbestimmungen angewiesen.

Der Aufbau des Geräts wird sich etwas schwierig gestalten, so daß die aufgewandte Mühe sich nur dort lohnen wird, wo es bei hoher Auflösung extrem auf die Lichtstärke ankommt, etwa bei einem Paarspektrometer.

Zur Messung von Dampfstrahldichten mittels Ionisationsmanometer beim Aufdampfen dünner Schichten

Von O. HAASE

Institut für Angewandte Physik der Universität Hamburg
(Z. Naturforsch. 12 a, 941—942 [1957]; eingegangen am 18. September 1957)

Bei der Herstellung dünner Schichten liegt die Aufgabe vor,

1. vorgegebene Mengen von Substanzen auf eine Unterlage aufzubringen (z. B. um die Abhängigkeit der Struktur von der Schichtdicke zu studieren) und

2. die Aufdampfgeschwindigkeit definiert zu variieren.

Die erste Frage läßt sich im Prinzip dadurch lösen, daß die Schichtdicke z. B. mit einem Interferenzmikroskop gemessen wird. Will man jedoch diese Werte bereits während des Aufdampfens, z. B. in der Elektroneninterferenzapparatur messen, so stößt man auf Schwierigkeiten. Zur Kontrolle der Aufdampfgeschwindigkeit existiert kein geeignetes Meßverfahren, das für die allgemein verwendeten Substanzen brauchbar ist. Ein einfaches und quantitatives Verfahren bietet sich durch folgende Anordnung.

Als Meßsystem wurde eine kommerzielle Ionisationsmanometer-Röhre verwendet, deren System neben der

zu bedämpfenden Unterlage aufgestellt ist und über eine rotierende Blende periodisch dem Dampfstrahl ausgesetzt wird (Abb. 1). Die in das Ionisationsmanometer eindringenden Dampfmoleküle werden von dem Elektronenstrom ionisiert. Wenn die Aufdampfsubstanz auf den Gefäßwänden haftet, wie es bei den meist benutzten Schichtsubstanzen der Fall ist, wird die Dichte im Ionisierungsräum des Manometers periodisch schwan-

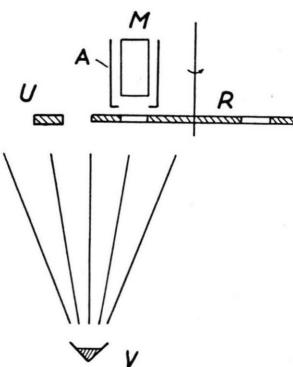


Abb. 1. Anordnung zur Messung der Aufdampfgeschwindigkeit mit einem Ionisationsmanometer. U Zu bedämpfende Unterlage, M Ionisationsmanometer-Röhre, A Abschirmung, R Rotierende Blende, 6 Hz Blendenfrequenz, V Aufdampföfen.



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 digitized 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.

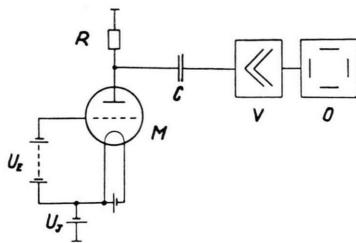


Abb. 2. Schaltung des Ionisationsmanometers zur Messung von Aufdampfgeschwindigkeiten. M Ionisationsröhre, U_E Beschleunigungsspannung für die Elektronen 100 V, U_g Auffängerspannung 30 V, R Arbeitswiderstand des Auffängers $1 \text{ M}\Omega$, C Koppelkondensator $0,1 \mu\text{F}$, V Niederfrequenzverstärker, 2-stufig, O Oszilloskop mit Verstärker 50 mV/cm.

ken. Die dadurch hervorgerufene Wechselstromkomponente des Ionenstromes, die um Größenordnungen kleiner als die Gleichstromkomponente des Restvakuum (in den vorliegenden Versuchen $5 \cdot 10^{-5} \text{ Torr}$) sein darf, wird am Arbeitswiderstand des Ionenfängers kapazitiv abgenommen und nach Verstärkung mit einem Oszilloskop gemessen. Abb. 2 zeigt die elektrische Schaltung. An den Aufdampfofen wurde eine positive Spannung von 150 Volt gelegt, um zu verhindern, daß vom Aufdampfofen emittierte Elektronen auf den Ionenfänger gelangen.

Als Aufdampfofen wurde ein Tantalschiff verwendet, das mit einer Silbermenge für eine Schichtdicke von 100 Å beschickt war. Der Aufdampfofen wurde so eingereguliert, daß die Wechselspannungskomponente des Ionenstromes am Widerstand R (s. Abb. 2) $100 \mu\text{V}$ betrug; siehe Abb. 3, große Amplitude. Mit diesem Silbervorrat lief der Ofen bei konstanter Aufdampfgeschwindigkeit, erkenntlich an der Konstanz der Amplitude, 100 sec, was einer Aufdampfgeschwindigkeit

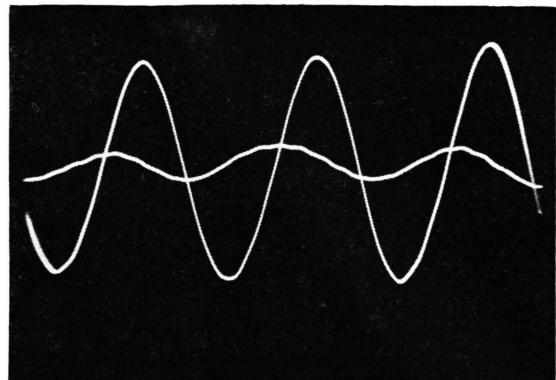


Abb. 3. Oszillosgramm der Wechselstromkomponente des Ionenstromes einer Ionisationsröhre, die von einem modulierten (6 Hz) Dampfstrahl getroffen wird. Große Amplitude: Silberdampfstrahl entsprechend einer Aufdampfgeschwindigkeit von 1 \AA/sec . Kleine Amplitude: Nullverlauf, nachdem alles Ag verdampft ist und der leere Verdampfungsofen mit gleicher Stromstärke weiter betrieben wird.

von 1 \AA/sec entspricht. Sobald alles Silber verdampft war, ging auch der Ausschlag auf dem Oszilloskopgraphen auf den Ruhewert zurück (Abb. 3, kleine Amplitude, $15 \mu\text{V}$). Der Amplitude von $10 \mu\text{V}$ entspricht ein Druck von etwa 10^{-9} Torr . Um die obige Abschätzung zu prüfen und die Apparatur zu eichen, wurde die Dicke des Silberniederschlages in einem Vielstrahlinterferenzmikroskop (C. E. Johansson, Schweden) nachgemessen. Mit der Anordnung können auch Schichten so geringer Dicke definiert hergestellt werden, die mit dem Dickenmeßverfahren selbst nicht mehr gemessen werden können. Über die Untersuchung der so hergestellten Schichten wird später zusammenfassend berichtet.

Über den Bandabstand von Galliumnitrid und Aluminiumnitrid

Von E. KAUFER und A. RABENAU

Allgemeine Deutsche Philips Industrie G.m.b.H.,
Zentrallaboratorium Aachen

(Z. Naturforsch. 12 a, 942–943 [1957]; eingegangen am 7. Oktober 1957)

Die unzulängliche Kenntnis der Halbleitereigenschaften einiger III–V-Verbindungen beruht vor allem auf den technologischen Schwierigkeiten, die der Herstellung von Einkristallen entgegenstehen. Eine wesentliche Größe, nämlich der Bandabstand ΔE und dessen Temperaturabhängigkeit läßt sich jedoch mittels Remissionsmessungen auch an polykristallinen Proben bestimmen. Das Meßverfahren beruht auf einem Vergleich der spektralen Intensitäten I und I_0 , die von der zu untersuchenden Probe und einer MgO-Schicht als Standard reflektiert werden. Trägt man als Maß für die Absorp-

tion $\log(I_0/I)$ gegen die Photonenergie in eV auf, so erhält man Kurven, die im Bereich der Absorptionskante angenähert geradlinig verlaufen. Da das von MACFARLANE und ROBERTS¹ angegebene Verfahren zur genauen Festlegung der Kante auf den vorliegenden Fall nicht anwendbar ist, erscheint es sinnvoll, als Einzelpunkt der Absorption den Schnittpunkt des extrapolierten Steilanstiegs mit dem Pegel der Restabsorption zu definieren.

GaN und AlN haben im Gegensatz zu den in Zinkblende-Struktur kristallisierenden III–V-Verbindungen Wurtzit-Struktur, worin der höhere Anteil an Ionenbindung zum Ausdruck kommt. Sie werden hergestellt durch Umsetzen der Metalle mit sorgfältig gereinigtem Ammoniak bei 1100°C (GaN²) bzw. 1400 bis 1500°C (AlN).

¹ G. G. MACFARLANE u. V. ROBERTS, Phys. Rev. **97**, 1714 [1955].

² H. HAHN u. R. JUZA, Z. anorg. allg. Chem. **244**, 111 [1940].