

EUR 1654.d

REPRINT

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

HERSTELLUNG VON GLEICHMÄSSIGEN
AUFDAMPFSCHICHTEN
AUF PLATTEN UND ZYLINDERN

von

H.L. ESCHBACH

1964



Gemeinsame Kernforschungsstelle
Forschungsanstalt Geel - Belgien
Zentralbüro für Kernmessungen

Sonderdruck aus
VAKUUM-TECHNIK
Heft 5, 1964

HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Euratomkommission, ihre Vertragspartner und alle in deren Namen handelnden Personen :

- 1° — keine Gewähr dafür übernehmen, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind oder dass die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstößt;
- 2° — keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

This reprint is intended for restricted distribution only. It reproduces, by kind permission of the publisher, an article from "VAKUUM-TECHNIK", Heft 5 - 1964, 141-145. For further copies please apply to Rudolf A. Lang Verlag — Berlin-Charlottenburg 2, Leibnizstrasse 64 (Deutschland).

Dieser Sonderdruck ist für eine beschränkte Verteilung bestimmt. Die Wiedergabe des vorliegenden in „VAKUUM-TECHNIK“, Heft 5 - 1964, 141-145 erschienenen Aufsatzes erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Herausgebers. Bestellungen weiterer Exemplare sind an Rudolf A. Lang Verlag — Berlin-Charlottenburg 2, Leibnizstrasse 64 (Deutschland), zu richten.

Ce tiré-à-part est exclusivement destiné à une diffusion restreinte. Il reprend, avec l'aimable autorisation de l'éditeur, un article publié dans «VAKUUM-TECHNIK», Heft 5 - 1964, 141-145. Tout autre exemplaire de cet article doit être demandé à Rudolf A. Lang Verlag — Berlin-Charlottenburg 2, Leibnizstrasse 64 (Deutschland).

Questo estratto è destinato esclusivamente ad una diffusione limitata. Esso è stato riprodotto, per gentile concessione dell'Editore, da «VAKUUM-TECHNIK», Heft 5 - 1964, 141-145. Ulteriori copie dell'articolo debbono essere richieste a Rudolf A. Lang Verlag — Berlin-Charlottenburg 2, Leibnizstrasse 64 (Deutschland).

Deze overdruk is slechts voor beperkte verspreiding bestemd. Het artikel is met welwillende toestemming van de uitgever overgenomen uit „VAKUUM-TECHNIK“, Heft 5 - 1964, 141-145. Meer exemplaren kunnen besteld worden bij Rudolf A. Lang Verlag — Berlin-Charlottenburg 2, Leibnizstrasse 64 (Deutschland).

EUR 1654.d

REPRINT

PREPARATION OF UNIFORM EVAPORATED LAYERS ON PLATES AND CYLINDERS by H.L. ESCHBACH.

European Atomic Energy Community - EURATOM.
Joint Nuclear Research Center.
Geel Establishment - Belgium.
Central Nuclear Measurement Bureau.
Reprinted from "Vakuum-Technik"
Vol. 5 - 1964 - pages 141-145.

If uniform layers are to be deposited by vacuum evaporation onto large surface areas, the use of a single evaporation source is impracticable. The distances required to ensure uniformity stipulate long evaporation times and poor efficiency. In the following an arrangement is described which makes use of five evaporation sources in series. This allows to deposit uniform metal layers onto plates and cylinders of a length of 100 mm. During evaporation

EUR 1654.d

REPRINT

PREPARATION OF UNIFORM EVAPORATED LAYERS ON PLATES AND CYLINDERS by H.L. ESCHBACH.

European Atomic Energy Community - EURATOM.
Joint Nuclear Research Center.
Geel Establishment - Belgium.
Central Nuclear Measurement Bureau.
Reprinted from "Vakuum-Technik"
Vol. 5 - 1964 - pages 141-145.

If uniform layers are to be deposited by vacuum evaporation onto large surface areas, the use of a single evaporation source is impracticable. The distances required to ensure uniformity stipulate long evaporation times and poor efficiency. In the following an arrangement is described which makes use of five evaporation sources in series. This allows to deposit uniform metal layers onto plates and cylinders of a length of 100 mm. During evaporation

EUR 1654.d

REPRINT

PREPARATION OF UNIFORM EVAPORATED LAYERS ON PLATES AND CYLINDERS by H.L. ESCHBACH.

European Atomic Energy Community - EURATOM.
Joint Nuclear Research Center.
Geel Establishment - Belgium.
Central Nuclear Measurement Bureau.
Reprinted from "Vakuum-Technik"
Vol. 5 - 1964 - pages 141-145.

If uniform layers are to be deposited by vacuum evaporation onto large surface areas, the use of a single evaporation source is impracticable. The distances required to ensure uniformity stipulate long evaporation times and poor efficiency. In the following an arrangement is described which makes use of five evaporation sources in series. This allows to deposit uniform metal layers onto plates and cylinders of a length of 100 mm. During evaporation

the backings are rotated in front of a slit defining the vapour beam. The calculated results are compared with experimental film thicknesses which were measured photometrically. In the interesting region the agreement was within $\pm 0,3 \%$.

the backings are rotated in front of a slit defining the vapour beam. The calculated results are compared with experimental film thicknesses which were measured photometrically. In the interesting region the agreement was within $\pm 0,3 \%$.

the backings are rotated in front of a slit defining the vapour beam. The calculated results are compared with experimental film thicknesses which were measured photometrically. In the interesting region the agreement was within $\pm 0,3 \%$.

S O N D E R D R U C K

aus VAKUUM-TECHNIK, Heft 5, 1964, Seiten 141–145 · Rudolf A. Lang Verlag, 6271 Esch/Taunus

Herstellung von gleichmäßigen Aufdampfschichten auf Platten und Zylindern

Preparation of uniform evaporated layers on plates and cylinders.

Préparation de couches homogènes évaporées sur des plaques ou des cylindres.

Von H. L. Eschbach*)

(eingegangen am 11. 4. 1964)

Zusammenfassung:

Für das Bedampfen größerer Flächen mit homogenen Schichten ist die Verwendung einer Einzelquelle unzuweckmäßig. Die Abstände die notwendig sind, um gleichmäßige Schichten konstanter Dicke zu erzeugen, bedingen große Aufdampfzeiten und eine geringe Ausbeute. Im folgenden wird eine Anordnung beschrieben, in der fünf Verdampfer in einer Reihe aufgestellt sind. Damit können homogene Metallschichten auf Platten und Zylindern mit einer Länge von 100 mm aufgedampft werden. Während der Bedampfung werden die Platten und Zylinder über einem Aufdampfspalt gedreht. Die berechnete Verteilung wird mit der gemessenen, die photometrisch ermittelt wurde, verglichen. Im interessierenden Bereich wurde eine Übereinstimmung innerhalb $\pm 0,3\%$ gefunden.

Summary:

If uniform layers are to be deposited by vacuum evaporation onto large surface areas, the use of a single evaporation source is impracticable. The distances required to ensure uniformity stipulate long evaporation times and poor efficiency. In the following an arrangement is described which makes use of five evaporation sources in series. This allows to deposit uniform metal layers onto plates and cylinders of a length of 100 mm. During evaporation the backings are rotated in front of a slit defining the vapour beam. The calculated results are compared with experimental film thicknesses which were measured photometrically. In the interesting region the agreement was within $\pm 0,3\%$.

Résumé:

L'évaporation de couches homogènes sur de grandes surfaces est inefficace si l'on utilise une seule source. Pour obtenir des couches d'épaisseur uniforme, la distance source - plaque doit être importante. Il s'ensuit des durées d'évaporation considérables et de faibles rendements. Dans l'exposé qui suit, on décrit un arrangement où cinq sources d'évaporation sont montées en ligne. Cette combinaison permet de déposer des couches homogènes sur des plaques ou des cylindres ayant une longueur de 100 mm. Pendant l'évaporation, les plaques, ou les cylindres tournent devant une fente qui limite le faisceau de vapeur. Les résultats calculés correspondent à $\pm 0,3\%$ avec les résultats expérimentaux, mesurés par photométrie, ceci sur la longueur de 100 mm.

1. Einleitung

Für Messungen an einem Kernreaktor (pile oscillations) sollten dünne, sehr reine Gold- und Indiumsichten auf Aluminium- oder Quarzunterlage hergestellt werden. Als Träger wurden sowohl Platten (100 mm \times 25 mm \times 1 mm) als auch Zylinder (Durchmesser 25 mm, Länge 100 mm, Wandstärke 1 mm) gefordert.

Die Schichtdicken sollten auf den einzelnen Trägern weniger als $\pm 5\%$ variieren. Diese Voraussetzungen können sehr gut durch Metallverdampfung unter Vakuum erfüllt werden.

In jüngerer Zeit sind verschiedene Aufstellungen beschrieben worden, um größere Flächen mit homogenen Metallschichten zu bedampfen. Behrndt und Jones [1] benutzen die von Holland und Steckelmacher [2] berechnete Ringquelle. Engelman berichtet über Berechnungen

von Verdampfergruppen, die in rechteckiger oder kreisförmiger Aufstellung über große Bereiche homogene Schichten zu produzieren gestatten. Diese Methoden, wie auch die von Behrndt [4] angegebene, durch eine spezielle Talbot-Scheibe mit einer Einzelquelle gute homogene Schichten zu erzeugen, haben für die vorliegende Aufgabe den Nachteil, daß der Verlust an Verdampfungsmaterial ziemlich hoch ist. Die Form der Träger legt eine linienförmige Aufstellung der Verdampfer nahe. Eine mögliche Anordnung hierfür ist die von Oberg, Sanders und Torok [5] berechnete Quelle, die aus einem Verdampferdraht mit variabler Beladung besteht.

Im folgenden wird beschrieben, wie durch Verwendung mehrerer gleichmäßig beladener Flächenquellen die langen Träger mit Schichten konstanter Dicke bedampft werden können. Dabei ergibt sich in einem ausgedehnten Bereich sehr gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen Schichtdichten und den berechneten Werten.

*) Dr. H. I. Eschbach, Zentralbüro für Kernmessungen, Geel, Belgien

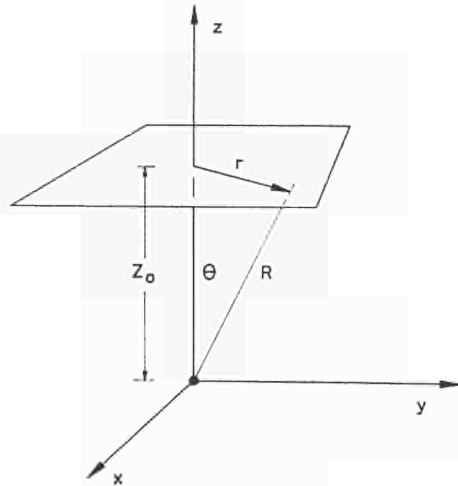


Abb. 1
Koordinatensystem

2. Berechnung der Verdampferanordnung

Als Verdampferquellen wurden widerstandsbeheizte Molybdänstreifen verwendet. Solche Quellen lassen sich als kleine Flächenquellen beschreiben (Holland und Steckelmacher [2]), wobei sich das abgedampfte Material nach einer Kosinusverteilung ausbreitet. Zunächst betrachten wir eine einzelne Verdampferquelle, die sich im Ursprung des Koordinatensystems befindet (Abb. 1). Das verdampfte Material werde auf einer Fläche, die im Abstand z_0 parallel zur xy -Ebene und parallel zur Flächenquelle liegt, kondensiert. Nach Holland und Steckelmacher [2] kann man die Dicke d der aufgedampften Schicht berechnen. Mit den Bezeichnungen der Abb. 1 gilt:

$$d = \frac{m}{2\pi\rho} \cdot \frac{\cos^2 \Theta}{R^2} \tag{1}$$

m = Masse und ρ = Dichte des verdampften Materials. Eine einfache Umformung ergibt:

$$d = \frac{m}{2\pi\rho} \cdot \frac{z_0^2}{R^4} \tag{1a}$$

$$d = \frac{m}{2\pi\rho} \cdot \frac{z_0^2}{(z_0^2 + r^2)^2} \tag{1b}$$

Senkrecht über der Quelle (d. h. für $r = 0$) ist die Schichtdicke d_0 :

$$d_0 = \frac{m}{2\pi\rho z_0^2} \tag{2}$$

Aus (1b) und (2) erhält man für die relative Verteilung der Schicht:

$$\frac{d}{d_0} = \frac{1}{\left(1 + \frac{r^2}{z_0^2}\right)^2} \tag{3}$$

In der Abb. 2 ist dies für verschiedene z_0 gegen r aufgetragen. Man erkennt, daß die Schichtdicke sich um so schneller ändert, je kleiner z_0 gewählt wird. Soll etwa über einen Bereich von 100 mm Durchmesser die Schichtdicke nicht mehr als 10% variieren, so muß bei der Verwendung von nur einer Verdampferquelle $z_0 \geq 200$ mm gemacht werden. Da aber die gesamte aufgebrauchte Menge wie $1/z_0^2$ abnimmt (Gl. 2), ergeben sich für große Schichtdicken lange Aufdampfzeiten; außerdem wird der Verlust von Aufdampfmaterial sehr groß. Es wurde daher versucht, eine Anordnung mit mehreren Verdampfern und möglichst kleinem z_0 zu finden.

Die Gleichung (3) läßt sich leicht etwas verallgemeinern. Bezeichnen wir mit $f(x, y)$ die relative Schichtdicke in der Ebene z_0 und befindet sich die Flächenquelle in der xy -Ebene im Punkt $x = a$ und $y = b$, so ergibt sich:

$$f(x, y) = \frac{1}{\left(1 + \frac{(x-a)^2 + (y-b)^2}{z_0^2}\right)^2} \tag{4}$$

Für n -Quellen in der xy -Ebene mit den Koordinaten a_i und b_i ergibt sich schließlich:

$$F(x, y) = \sum_i \frac{1}{\left(1 + \frac{(x-a_i)^2 + (y-b_i)^2}{z_0^2}\right)^2} \tag{5}$$

Es ist zweckmäßig, die Werte aus (5) auf den Funktionswert für $x = 0$ und $y = 0$ zu normalisieren, um so einen einfachen Vergleich mit den gemessenen Werten zu ermöglichen.

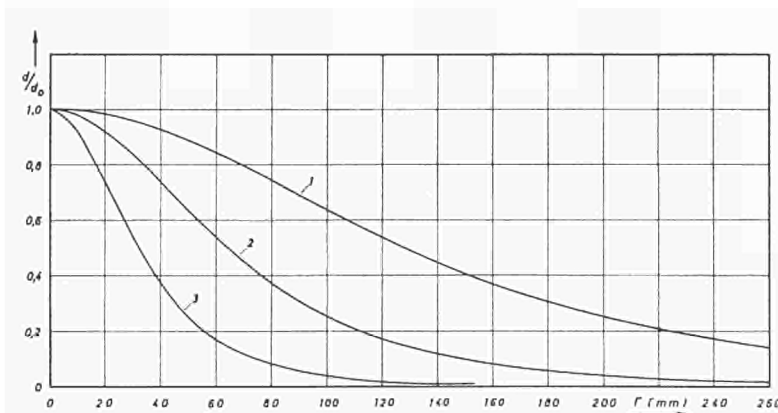


Abb. 2

Relative Schichtdicke auf einem ebenen Träger, der im Abstand z_0 parallel zu einer Flächenquelle aufgestellt ist.

Kurve 1: $z_0 = 200$ mm; Kurve 2: $z_0 = 100$ mm; Kurve 3: $z_0 = 50$ mm.

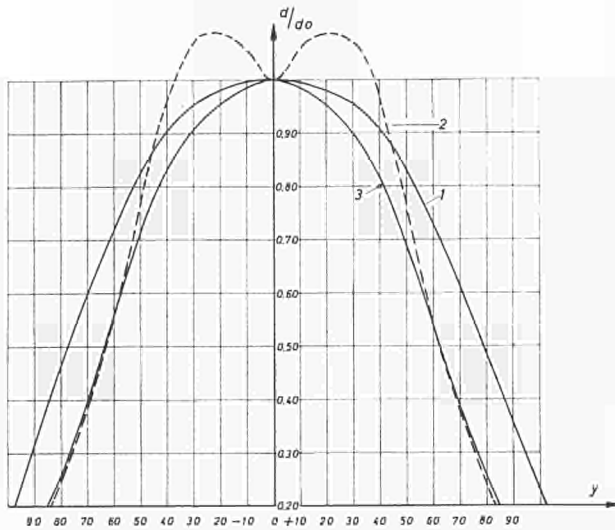


Abb. 3

Berechnete relative Schichtdicke für $x = 0$ bei Verwendung von mehreren Flächenquellen:

Kurve 1: 5 Verdampfer ($b_1 = \pm 80; \pm 30; 0$; Kurve 3: 3 Verdampfer ($b_1 = \pm 40; 0$); Kurve 2: 2 Verdampfer ($b_1 = \pm 30$) $z_0 = 50$ mm

Es wurde nun für mehrere Quellenverteilungen nach geeigneten Parametern gesucht, wobei für z_0 ein Abstand von 50 bis 60 mm angestrebt wurde.

Da eine lineare Anordnung gesucht wird, kann man in (5) alle $a_i = 0$ setzen. Die Quellen werden also auf der y -Achse angeordnet; die Längsachse der Träger soll dann parallel zur y -Achse sein. Es wurden die Verteilungen für Anordnungen mit 2, 3, 4 und 5 gleichmäßig beladenen Quellen berechnet. Einige davon sind in Abb. 3 wieder gegeben. Für die gestellte Aufgabe erwies sich eine Aufstellung mit 5 Quellen als am besten geeignet; die b_i haben dabei folgende Werte: $b_1 = -72; b_2 = -40; b_3 = 0; b_4 = +40; b_5 = +72$. Abbildung 4 gibt den Verlauf

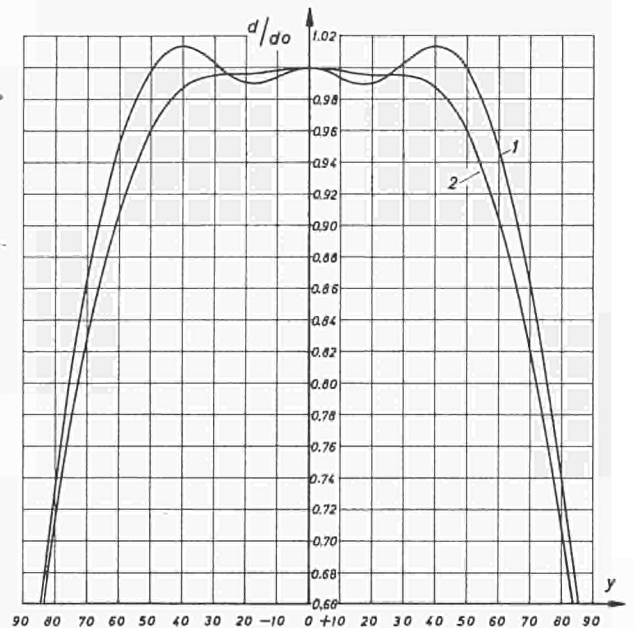


Abb. 4

Berechnete relative Schichtdicke für $x = 0$ bei Verwendung von 5 Verdampfern ($b_1 = \pm 72; \pm 40; 0$). Kurve 1: $z_0 = 50$ mm; Kurve 2: $z_0 = 60$ mm

der Schichtdicke in y -Richtung für $x = 0$ und $z_0 = 50$ bzw. $z_0 = 60$.

3. Experimentelle Anordnung

Für die Bedampfung der Aluminiumplatten wurde eine Anordnung gewählt, wie sie in Abbildung 5 dargestellt ist. Die 5 Verdampferquellen werden in dicke Kupferhalter 3, die auf einer Keramikplatte 2 montiert sind, eingespannt. Auf einer Platte 4 aus Edelstahl, die an drei Stellen unterstützt ist, und in der sich parallel zu den Quellen ein Bedampfungsspalt von 6 mm Breite und

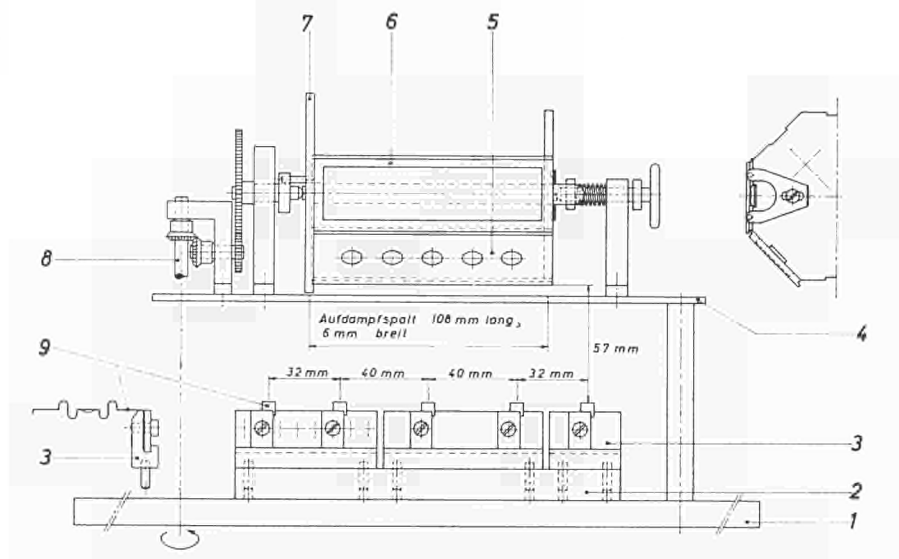


Abb. 5

Aufbau der Verdampferanordnung

1 Grundplatte, 2 Keramikblock, 3 Kupferklemmen, 4 Montageplatte, 5 Halter für Testplättchen, 6 Halter für Al-Platten, 7 Trommel (15 U/min) 8 Antrieb 9 Verdampfer (Mo-Band 6,2 mm breit, 0,1 mm dick).

108 mm Länge befindet, ist eine Trommel 7 angebracht, die von außen angetrieben wird. Sie kann an 8 Stellen die zu bedampfenden Aluminiumplatten oder Halter 5 mit Testplättchen zur Homogenitätskontrolle aufnehmen. Die Trommel dreht sich während des Aufdampfens mit 15 U/min über dem Spalt. Hierdurch wird eine gute Homogenität der Aufdampfschichten in x-Richtung erreicht. Auf ähnliche Weise wurden die zu bedampfenden Zylinder montiert. Hierbei wurde durch zwei Spalte symmetrisch zu den Quellen aufgedampft. Die Zylinder drehen sich gegenläufig über den beiden Spalten. Bei dieser Anordnung befanden sich die Testplättchen zur Homogenitätskontrolle (in y-Richtung) zwischen den beiden Zylindern. Besondere Sorgfalt wurde auf die Herstellung und die Anordnung der Verdampfer 9 (Abb. 5) verwendet. Sie wurden aus Mo-Band (6,2 mm breit und 0,1 mm dick) mit Hilfe einer speziellen Handpresse so reproduzierbar wie eben möglich gedrückt. Die in Abb. 5 gezeigte Verdampferform 9 mit Expansionsstreifen wurde gewählt, um ein Verkanten des mittleren horizontalen Teiles, der in einer Vertiefung das zu verdampfende Gut aufnimmt, während des Glühens zu vermeiden. Weiterhin wurden geeignete Hilfsstücke und Lehren angefertigt, die es gestatten, die Quellen genau auszurichten und auf die gewünschten Abstände einzustellen. Bei der Benutzung neuer Verdampfer wurden diese erst gründlich ausgeglüht und dann sorgfältig justiert.

4. Ergebnisse

Um die Verteilung der aufgedampften Goldschichten zu kontrollieren und mit den Berechnungen zu vergleichen, wurde in einer Reihe von Versuchen im gewünschten Abstand z_0 über den Verdampfern eine planparallele Quarzplatte (100 x 200 mm²) angebracht. Die Verdampfer wurden mit genau abgewogenen, gleichen Mengen von spektralreinem Gold gefüllt, und es wurde darauf geachtet, daß bei jedem Versuch alle Schiffehen vollständig leergedampft wurden. Die Schichtdicken sollten photometrisch kontrolliert werden. Da es sich hier nur um Relativmessungen handelt, ist dies möglich, wenn man dafür sorgt, daß eine Minimdicke nicht unterschritten wird.

Wie verschiedene Autoren (z. B. Goos [6], Malé [7], Philip [8]) gezeigt haben, ist die optische Dichte aufgedampfter Goldschichten für nicht zu dünne Schichten proportional zur Schichtdicke.

Bei den gewählten relativ geringen Abständen von 50 bis 60 mm zeigte es sich, daß die Einwaage per Schiffehen nur einige Milligramm betragen durfte, um photometrierbare Schichten zu erhalten. Eine Massenbestimmung auf besser als 1% und das Handhaben wird für derart geringe Mengen unständlich. Es wurden daher jeweils 80 oder 100 mg per Verdampfer eingefüllt und dafür die Quellen während der Verdampfung zeitweise abgeschirmt. Dies geschah durch einen Zylinder aus Edelstahl, in dessen Innern parallel zur Achse die Verdampfer aufgestellt waren. (Abb. 6). Der Zylinder wird mit 60 U/min gedreht. Durch einen Spalt im Zylinderdarmantel von 10 mm Breite, der sich dicht unter der Quarzplatte bewegt, wird nur ein Bruchteil des Metaldampfes durchgelassen.

Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse, die mit den oben angegebenen Quellenabständen und einem $z_0 = 50$ mm für $x = 0$ gewonnen wurden. Die ausgezogene Kurve ist berechnet, während die eingetragenen Meßpunkte aus photometrischen Messungen resultieren. Wie man sieht

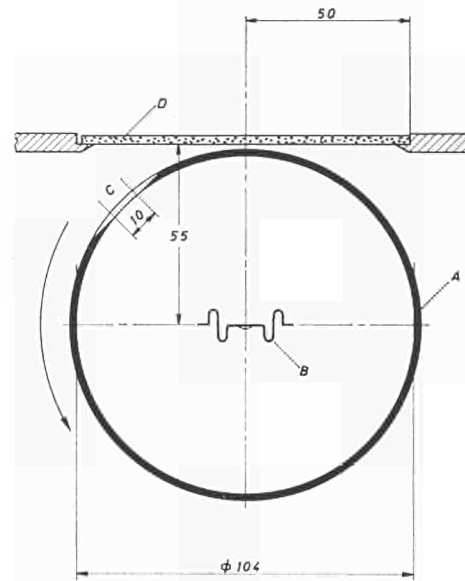


Abb. 6

Schema einer Anordnung zum Aufdampfen sehr dünner Goldschichten A Edelstahlzylinder (60 U/min), B Verdampfer (5 Mo-Schiffehen), C Aufdampfspalt (10 mm x 210 mm), D Quarzplatte (100 mm x 200 mm).

sind die Abweichungen der Messwerte von der berechneten Kurve zwischen - 50 und + 50 etwa $\pm 0,3\%$, an den steilen Flanken sind sie natürlich etwas größer. Diese Abweichungen sind hauptsächlich durch Fehler bei der Einwaage und Fehler beim Photometrieren bedingt. Abbildung 8 zeigt eine Messung, die unter den gleichen Bedingungen wie Abb. 7, aber mit $z_0 = 57$ mm gewonnen wurde. Mit diesen Parametern variiert die Schichtdicke zwischen - 40 und + 40 mm nicht mehr als $\pm 0,25\%$. Für die oben beschriebenen Gold- und Indiumsichten

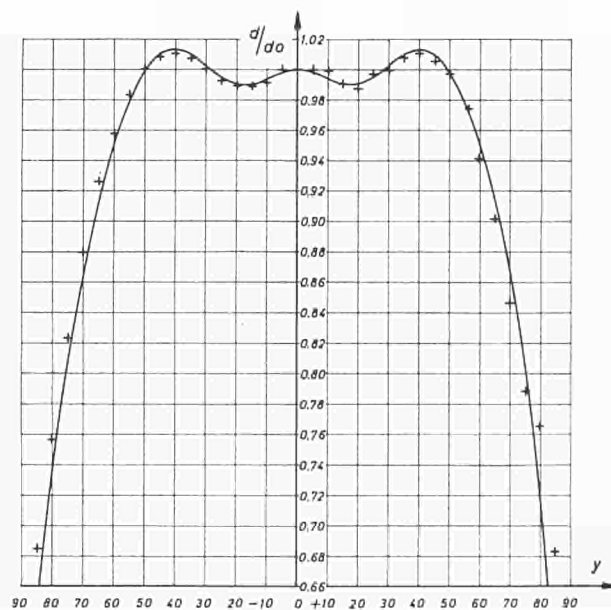


Abb. 7

Relative Dicke einer aufgedampften Goldschicht für $x = 0$ bei Verwendung von 5 Verdampfern ($b_1 = \pm 72, \pm 40, 0$) und $z_0 = 50$ mm Die ausgezogene Kurve gibt den berechneten Verlauf.

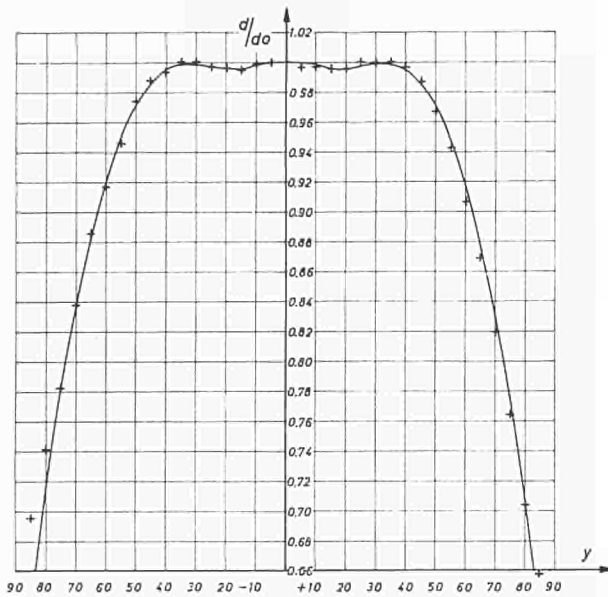


Abb. 8

Relative Dicke einer aufgedampften Goldschicht für $x = 0$ bei Verwendung von 5 Verdampfern ($b_1 = \pm 72, \pm 40, 0$) und $z_0 = 57$ mm. Die ausgezogene Kurve ergibt den berechneten Verlauf.

wurde mit diesen Abständen gearbeitet, da auch über eine Länge von 100 mm die Homogenität der Schicht vollkommen ausreichend ist.

An den Schichten der Abb. 7 und Abb. 8 wurden auch die Profile in x -Richtung für verschiedene y gemessen. Ein Beispiel hierfür gibt die Abbildung 9. Ausgezogen ist hier wieder die berechnete Kurve für $y = 20$ und die einzelnen Photometerwerte für $y = +20$ und $y = -20$ eingetragen. Die Werte sind hier auf den Punkt $x = 0$; $y = +20$ bezogen. In der x -Richtung variiert das Aufdampfprofil der linienförmigen Anordnung natürlich sehr stark. Hier wird eine gute Homogenität der Schicht durch das Bewegen der Platten und Zylinder, wie es oben beschrieben wurde, erreicht.

5. Schluß

Für eine spezielle Anordnung wurde eine lineare Verdampferverteilung berechnet und untersucht, die es gestattet, Platten und Zylinder mit homogenen Metallschichten zu bedecken. In der Längsrichtung der Platten und Zylinder wurde über eine Strecke von 80 mm ($-40 \leq y \leq +40$) eine Variation der Schichtdicke von $\pm 0,25\%$ erzielt, während über eine Länge von 100 mm die Änderung $1,5\%$ betrug. Es ergab sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und den gemessenen Schicht-

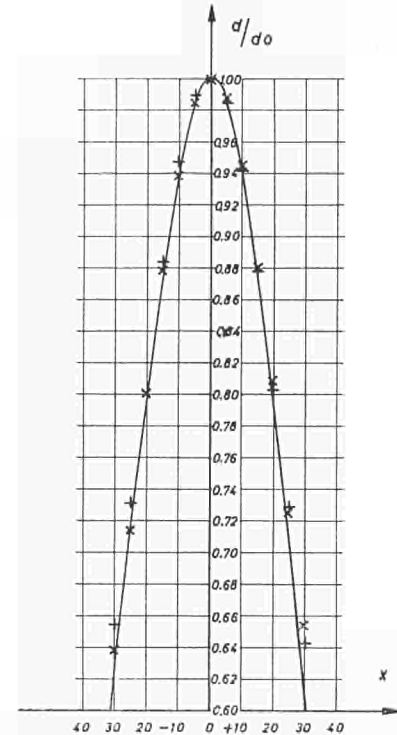


Abb. 9

Relative Dicke einer aufgedampften Goldschicht für $y = +20$ und $y = -20$ bei Verwendung von 5 Verdampfern ($b_1 = \pm 72, \pm 40, 0$) und $z_0 = 50$ mm. Die ausgezogene Kurve gibt den berechneten Verlauf.

dicken. In der Querrichtung wurde eine gute Homogenität durch Bewegen der Träger über einem Aufdampfspalt erreicht.

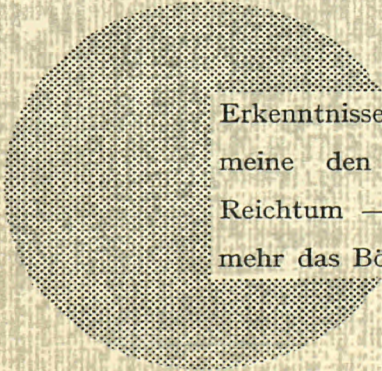
Weitere Untersuchungen zur Verallgemeinerung der Verdampferaufstellung auch für zweidimensionale Anordnungen sind im Gange.

Ich danke dem Direktor des ZBKM, Herrn Dr. J. SPAEPEN, für sein Interesse an dieser Arbeit.

Herrn Ir. H. MORET bin ich für anregende Diskussionen und Vorschläge verpflichtet. Ebenso danke ich Herrn W. DOBMA, der durch seine sorgfältig und sehr geschickt durchgeführten Aufdampfungen wesentlich zu dieser Arbeit beigetragen hat.

Literatur-Verzeichnis

- [1] K. H. Behrndt und R. A. Jones, Vacuum **11** (1961) 129
- [2] L. Holland und W. Steckelmacher, Vacuum **2** (1952) 346
- [3] J. H. Engelman, Vac. Symp. Trans. **8** (1961) 1036
- [4] K. H. Behrndt, Vac. Symp. Trans. **9** (1962) 111
- [5] P. E. Oberg, R. M. Sanders und E. J. Torok, Vacuum **13** (1963) 53
- [6] F. Goos, Z. Phys. **106** (1937) 606
- [7] D. Malé, Ann. Phys. (Paris) **12^{me} série** (1954) 10
- [8] R. Philip, Ann. Phys. (Paris) **13^e série** (1960) 805.



Erkenntnisse verbreiten ist soviel wie Wohlstand verbreiten — ich meine den allgemeinen Wohlstand, nicht den individuellen Reichtum — denn mit dem Wohlstand verschwindet mehr und mehr das Böse, das uns aus dunkler Zeit vererbt ist.

Alfred Nobel

CDNA01654DEC