

HANS-DIETER LANGER

Erfahrungen mit einer Elektronenstoßdampfquelle für hochschmelzende Metalle und Legierungen

Es werden Erfahrungen mit einer elektronisch stabilisierten Elektronenstoßdampfquelle für die Herstellung von Schichten hochschmelzender Metalle und Legierungen mitgeteilt. Die aus der hohen Quellentemperatur resultierenden Besonderheiten werden am Beispiel von Tantal als Quellenmaterial diskutiert. Im Hinblick auf den UHV-Einsatz zur Herstellung sehr reiner Schichten ist die Beeinflussung des Restgasdruckes und der Restgaszusammensetzung sowie des Zustandes der auf dem Substrat befindlichen Adsorptionsschicht durch die Dampfquelle zu beachten. Entsprechende Verbesserungen der Anordnung werden vorgeschlagen.

1. Einleitung

Um für die Verdampfung hochschmelzender Metalle und Legierungen den erforderlichen Dampfdruck von mehr als $1 \cdot 10^{-3}$ Torr zu erzielen (vgl. z. B. [1]), müssen Quellentemperaturen erzeugt werden, die z. T. weit über 2000 °K liegen. Ein entsprechend hohes, lokalisierendes Energieangebot ist mit den üblichen Mitteln, z. B. der Erhitzung des Verdampfungsgutes durch direkten Stromdurchgang [2] bzw. der Schiffchenverdampfung, nicht im Sinne reproduzierbarer stabiler Verdampfungsverhältnisse beherrschbar, zumal die hohe Quellentemperatur eine Reihe von einschränkenden und störenden Nebenerscheinungen zur Folge hat. Es treten chemische Reaktionen auf bzw. es kommt zur Legierungsbildung zwischen Verdampfungsgut und Tiegel- bzw. Halterungsmaterial (Erniedrigung der Schmelztemperatur, Verunreinigungen). Ferner dominieren z. T. die Energieverluste durch Wärmestrahlung, wodurch unmittelbar durch Photonen bzw. thermisch-Desorptionsprozesse an Halterungs- und Rezipientenoberflächen angeregt werden.

Durch Einführung der Elektronenstoßaufdampftechnik wurde das Problem der Verdampfung hochschmelzender Metalle und Legierungen in den letzten 5 Jahren einer grundsätzlichen Lösung derart zugeführt, daß die Herstellung von Schichten dieser Metalle selbst im großtechnischen Maßstab keine Schwierigkeiten mehr bereitet [3], [4]. Meist wird dabei ein gesondert erzeugter Elektronenstrahl auf einen Punkt des Verdampfungsgutes fokussiert, so daß ein schmelzflüssiger Sumpf entsteht, der im arteigenen, von außen gekühlten Material eingebettet ist [5]. Die damit erzielbaren hohen Aufdampfraten werden durch einen relativ großen apparativen Aufwand erkauft. Das Anliegen des vorliegenden Beitrages ist es deshalb, anhand eigener Erfahrungen die Einsetzbarkeit einer Dampfquelle zu demonstrieren, der der letztgenannte Nachteil nicht anhaftet, die sich aber sowohl zur Schichtherstellung im Hoch- und Ultrahochvakuum für wissenschaftliche Zwecke als auch für die technisch interessante Erzeugung hoher Aufdampfraten eignet.

2. Experimentelle Anordnung und Diskussion der Ergebnisse

Die Wirkungsweise der elektronisch stabilisierten Elektronenstoßdampfquelle (s. auch [6], [7], [8], [9]), bei der das Verdampfungsgut vom hängenden Schmelztropfen abdampft, sei anhand der schematischen Darstellung in Bild 1 kurz erläutert. Das Verdampfungsgut P wird am oberen Ende gehalten.

Es muß grundsätzlich draht- bzw. stabförmig vorliegen. Diese Bedingung bereitet bei reinen Metallen in der Regel keine Schwierigkeiten. Im Fall pulverförmiger Ausgangsstoffe ist das Kaltpressen der vorgegebenen Pulvermischung zu zylinderförmigen Stäbchen zu empfehlen. Diese Methode erschließt ein breites Spektrum von Ausgangsstoffen. Bei hochschmelzenden Metallen bzw. Legierungen, deren Kaltsinterkörper erfahrungsgemäß eine geringe mechanische Festigkeit aufweisen, wird einseitig — etwa 3 mm tief — beispielsweise ein dünner Tantaldraht zur Halterung eingepreßt [10].

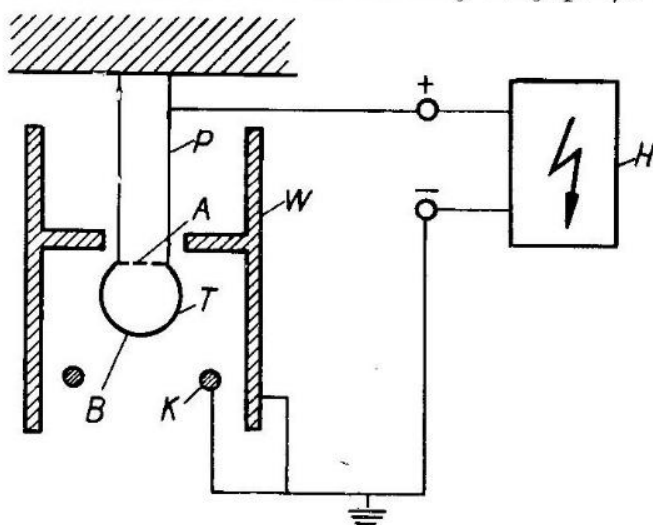


Bild 1 Zum Prinzip der Elektronenstoßdampfquelle für hochschmelzende Metalle und Legierungen
 P – Verdampfungsgut T – Schmelztropfen K – Katode W – Wehneltzylinder
 H – Hochspannungsquelle

Das untere, freie Ende des Anodenstabes ist von einer ringförmigen, direkt geheizten Wolfram-Katode K umgeben. Für die Fokussierung des Elektronenstromes und die Abschirmung von Streufeldern sorgt der Wehneltzylinder W (sowie gegebenenfalls zusätzlich angebrachte Ringblenden), der auf Katodenpotential liegt. Aus Sicherheitsgründen ist die in Bild 1 gewählte Schaltung mit K und W auf Erdpotential zu empfehlen. Die Verdampferdiode befindet sich im Vakuum. Im Betriebszustand werden die an der Katode emittierten Elektronen zur Anode beschleunigt, wo sie ihre Energie abgeben. Das freie Ende der Anode kann dadurch auf die Schmelztemperatur erhitzt werden, wobei sich ein Schmelztropfen T bildet, der infolge der wirksamen Oberflächenspannung am kälteren Teil des Verdampfungsgutes hängt und von dem letzteres tiegfrei abdampft.

Die Konstanz der Verdampfungs- bzw. Aufdampftrate hängt von der Stabilität des Diodenstromes ab. Geeignete elektronische Stabilisierungsvorrichtungen sind in [9] und [11] vorgeschlagen worden. Bild 2 zeigt das Schaltbild des hier verwendeten und nach dem Baukastenprinzip entworfenen Schaltkreises. Als Regel- und Stabilisierglied dient eine Sendetetrode T vom Typ SRS 457, die in Reihe mit der Verdampferdiode D an den Hochspannungskonstanthalter Gl 1 angeschlossen ist und selbst bei mechanischem Kurzschluß in der Diode infolge ihres hohen dynamischen Innenwiderstandes die volle Anodenspannung ($U_A = U_H$) verarbeiten kann. Die Stabilisierung folgt aus der Tatsache, daß ab einer minimalen Anodenspannung ($U_{A, \min} \approx 450 \text{ V}$) der Anodenstrom trotz steigender Anodenspannung entsprechend der flachen Kenn-

linie nahezu konstant bleibt. Das System regelt sich bei kleiner Regelzeitkonstante selbst, da eine zufällige Zunahme des Anodenstromes durch Abnahme des Verdampferdiodeninnenwiderstandes mit einem Abfall der Anodenspannung verbunden ist und umgekehrt. Die Steuergitter- und die Schirmgitterspannung der Tetrode sowie die Heizspannungen der Katoden sind handelsüblichen stabilisierten Netzgeräten zu entnehmen. Sämtliche Spannungen sind mit Hilfe von Regelpotentiometern von Hand einstellbar. Der Arbeitspunkt wird im Vorversuch bestimmt.

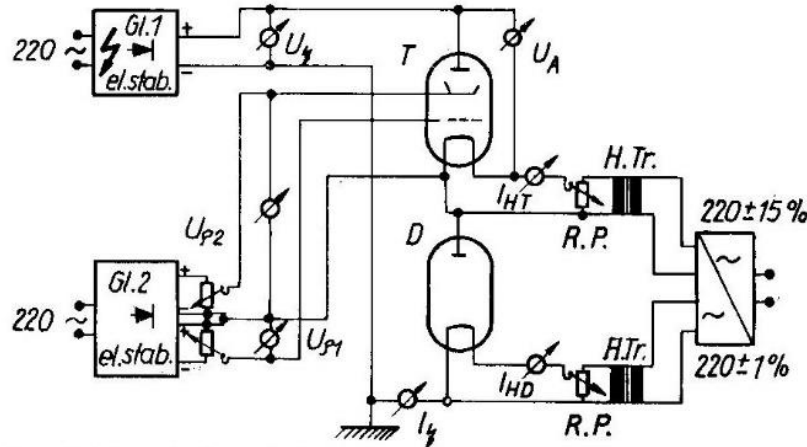


Bild 2 Schaltbild der elektronisch stabilisierten Dampfquelle *D* – Verdampferdiode *T* – Sendetetrode *Gl. 1, Gl. 2* – Gleichspannungskonstanthalter *H. Tr.* – Hochspannungstrenntransformator *R. P.* – Regelpotentiometer U_{g1}, U_{g2} – Schirm- bzw. Steuergitterspannung U_g – Gesamtspannung U_A – Anodenspannung der Tetrode I_g – Gesamtstrom I_{HT}, I_{HD} – Katodenheizstrom

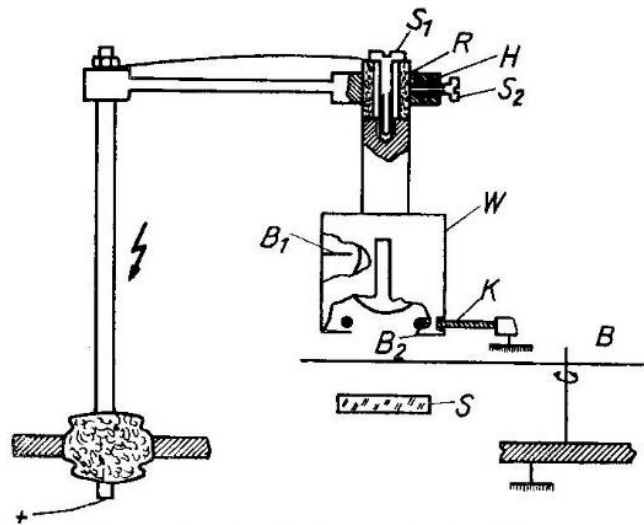


Bild 3 Schematische Darstellung der im Vakuum befindlichen Ta-Dampfquellenanordnung *K* – Ringkatode *W* – Wehneltzylinder *B₁, B₂* – Fokussierungs- bzw. Abschirmblende *H* – Halterung *R* – Keramikröhre *S₁, S₂* – Befestigungsschrauben *B* – Substratvorblende *S* – Substrat

Bild 3 veranschaulicht eine für Tantal geeignete einfache Konstruktion der Verdampferdiode – im folgenden kurz als Ta-Dampfquelle bezeichnet – die sich durch geringen Energiebedarf auszeichnet. Im Betriebszustand liegt der Mittelpunkt des im Vorversuch kugelförmig erstarrten Anodenstabendes in der Ebene der Ringkatode. Der Schmelztropfen wandert während des Aufdampfprozesses allmählich nach oben weg. Die Abwanderungsgeschwindigkeit kann bei geeigneter Versuchsführung mit etwa $0,05 \text{ mm min}^{-1}$ in vertretbaren Grenzen gehalten werden.

Mit der Ta-Dampfquelle konnte beispielsweise im Abstand von 4 cm ohne Nachjustierung des Verdampfungsgutes in 10 Einzelschritten ein Schichtdickentotal von 20000 \AA erzielt werden. Eine niedrige Abwanderungsgeschwindigkeit setzt die Vermeidung von Überhitzungen des Schmelztropfens während der Aufheiz- und Reinigungsstufe (Blende *B* geschlossen, s. Bild 3) sowie während des Verdampfungspro-

zesses (Blende B geöffnet) voraus. Die Heizleistung ist zweckmäßig so einzustellen, daß die in [6] beschriebenen Tropfenschwingungen noch nicht auftreten können.

Zur Erzielung möglichst hoher Aufdampfraten sind prinzipiell mehrere Wege gangbar:

1. Erhitzung der Anodenspitze über die Schmelztemperatur;

Auf eine solche Möglichkeit ist bereits in [9] hingewiesen worden. Dieses Verfahren setzt voraus, daß der entsprechend steile Temperaturgradient im Inneren des flüssigen Tropfens erzwungen wird. Anderenfalls wird lediglich mehr Material aufgeschmolzen. Die technische Realisierbarkeit — das betrifft insbesondere die elektronische Stabilisier- und Regelvorrichtung — stößt allerdings auf Schwierigkeiten, wenn das steile Temperaturgefälle längere Zeit aufrechterhalten werden muß.

Für eine unter diesen Bedingungen notwendige hochempfindliche automatische Stromstabilisierung kann z. B. durch elektronische Kopplung des Steuergitters der Tetrode (vgl. Bild 2) mit einer opto-elektrischen Kontrollvorrichtung für die Quelltemperatur oder mit einer Schichtdicken- bzw. Aufdampfratemeßvorrichtung gesorgt werden.

2. Schaffung einer großen effektiven Quellenoberfläche;

Die effektive Quellenoberfläche ist definiert durch die Größe des von einem Punkt des Substrats aus sichtbaren Abschnittes der auf Schmelztemperatur liegenden Quellenoberfläche, deren Betrag vom Anodenstabdurchmesser und von der Masse des Schmelztropfens abhängt. Letztere wird durch die Oberflächenspannung begrenzt. Eine Zunahme der effektiven Quellenoberfläche ist mit einer Erhöhung der Heizleistung verbunden — empirisch ist diese dem Anodenstabdurchmesser proportional — da die Verluste durch Wärmeabstrahlung und Wärmeleitung stark ansteigen. Es ist deshalb der Einsatz von geeignet dimensioniertem, rohrförmigem Anodenmaterial zu empfehlen.

3. Einstellung eines geringen Abstandes zwischen Dampfquelle und Substrat;

Infolge der intensiven Wärmeeinstrahlung von der Quelle ist eine parasitäre Erwärmung des Substrates nicht zu vermeiden. Unter solchen Bedingungen ist eine automatische Temperaturregelung der heizbaren Unterlage unerläßlich. Dieses Prinzip hat selbstverständlich nur Sinn, wenn die geforderte Substrattemperatur höher ist als die Maximaltemperatur, die sich durch parasitäre Erwärmung einstellen würde. Anderenfalls ist eine zusätzliche Kühlung des Substrates vorzusehen.

Der Verfasser verwendete ein Kupferblöckchen als Unterlage (Abmessungen in cm: $7 \times 4 \times 1$), in dem der Heizdraht, dessen U-förmig gebogene Teilstücke miteinander verschraubt und damit leicht auswechselbar waren, durch zahlreiche, 4 cm lange Bohrungen — isoliert mit Hilfe von Keramikröhrchen — geführt wurde. Die Temperatur des unbeheizten Kupferblöckchens stieg im Betriebszustand der Ta-Dampfquelle bei einem Abstand von 4 cm nach Öffnen der Blende (B im Bild 3) innerhalb von 2 Minuten von Raumtemperatur auf einen stationären Endwert von 250°C . Die Substrattemperatur — sie war durch zusätzliche Heizung stets höher einzustellen — wurde mit Hilfe eines Fallbügelreglers, an dem ein in eine Bohrung des Kupferblöckchens eingeführtes Thermoelement angeschlossen war, auf besser als $\pm 7^\circ\text{C}$ konstant gehalten.

Aus Bild 4 geht die radialsymmetrische Verteilung der mit Hilfe großflächiger Substrate experimentell bestimmten mittleren Bedampfungsrate $\bar{\beta}_{\text{exp}}^1$ der Ta-Dampfquelle in Abhängigkeit vom Abstand x zwischen Aufpunkt und Fußpunkt des Lotes der Anode auf dem Substrat hervor. Parameter ist der Abstand R zwischen Dampf-

¹⁾ $\bar{\beta}_{\text{exp}}$. . . Quotient aus mittlerer Schichtdicke und Expositionszeit (Schichtdickenbestimmung nach dem Tolansky-Verfahren).

quelle und Substrat. Die Kurven γ sind Enveloppen des Bereichs, innerhalb dessen die mittlere Schichtdicke auf dem Substrat um weniger als 5% differiert. Eine einfache Abschätzung²⁾ der theoretischen Bedampfungsrates β_{ber} ergibt nach [12]

$$\beta_{\text{ber}} = 0,069 \frac{r^2}{R^2 \cdot \rho_{\text{Ta}}} \text{ mg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}, \quad (1)$$

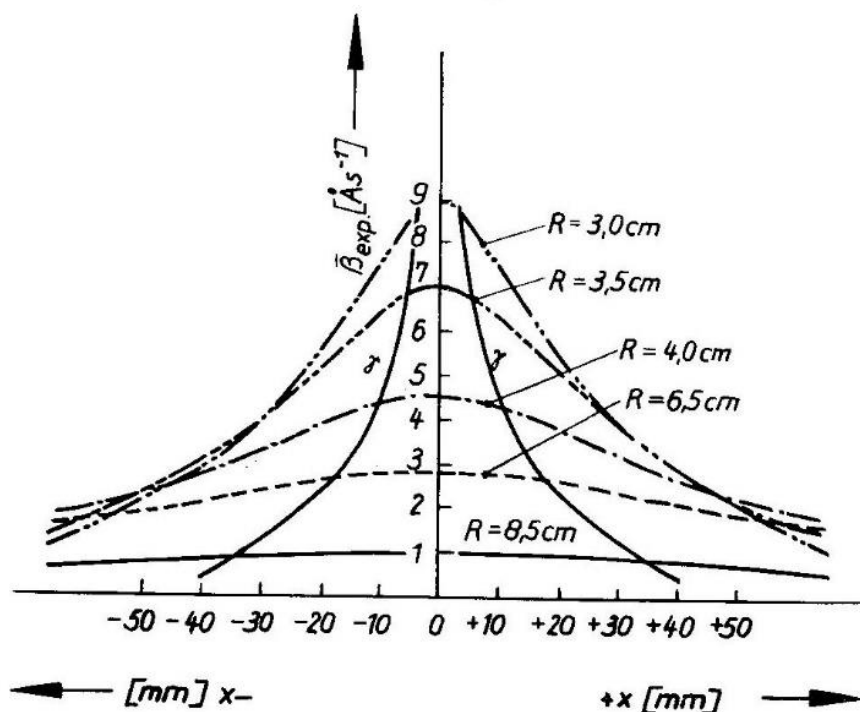


Bild 4 Radialsymmetrische Verteilung der experimentellen Bedampfungsrates: R -Abstand Dampfquelle/Substrat, x -Radius, vom Fußpunkt des Lotes der Anode auf dem Substrat aus gezählt

worin r den Radius des Schmelztropfens und ρ_{Ta} die Dichte des kompakten Tantal bedeuten. Der Vergleich in Bild 5 für $r = 2,6 \text{ mm}$ läßt erkennen, daß $\bar{\beta}_{\text{exp}}$ als Funktion von R infolge der unzulässigen Vereinfachungen in (1) nicht mit β_{ber} übereinstimmt, sondern etwa um den Faktor 3 größer ist.

Die Qualität der mit der Verdampferdiode hergestellten ein- und mehrkomponentigen Schichten hochschmelzender Metalle und Legierungen kann wie folgt charakterisiert werden:

1. Lochfreiheit, sofern vor Einbringen des Substrats in den Rezipienten die auf der Substratoberfläche trotz der chemischen Vorreinigung haftenden Mikrostaubteilchen entfernt worden sind (vgl. hierzu [10]).
2. Glatte Schichtoberfläche (Nachweismethode: Elektronenmikroskopische Kohle-Platin-Abdrucktechnik, s. [10]).
3. Gute Konstanz der lateralen Schichtdickenverteilung auf der vorgegebenen Substratfläche (s. Bild 4).
4. Ausbildung von „dichten“ Schichten (vgl. [13]).
5. Homogene Verteilung der Komponenten im Fall von Legierungsschichten (Nachweismethode: Elektronenmikrosonden-Technik, s. [10]).
6. Gute Reproduzierbarkeit des Gefügestandes (vgl. [10], [14], [15], [16]).

²⁾ Die Abschätzung gilt für eine Quelltemperatur von $3000 \text{ }^\circ\text{C}$.

7. Gute Reproduzierbarkeit der Phasenzusammensetzung im geometrischen und im mengenanteiligen Sinne (z. B. Anteil der allotropen Modifikationen und der Oxide, vgl. [10]).
8. Gute Reproduzierbarkeit der elektrischen Schichteigenschaften (spezifischer elektrischer Widerstand, Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes, vgl. [10], [16]).
9. Realisierbarkeit niedriger Beträge des Flächenwiderstandes (vgl. [10]).

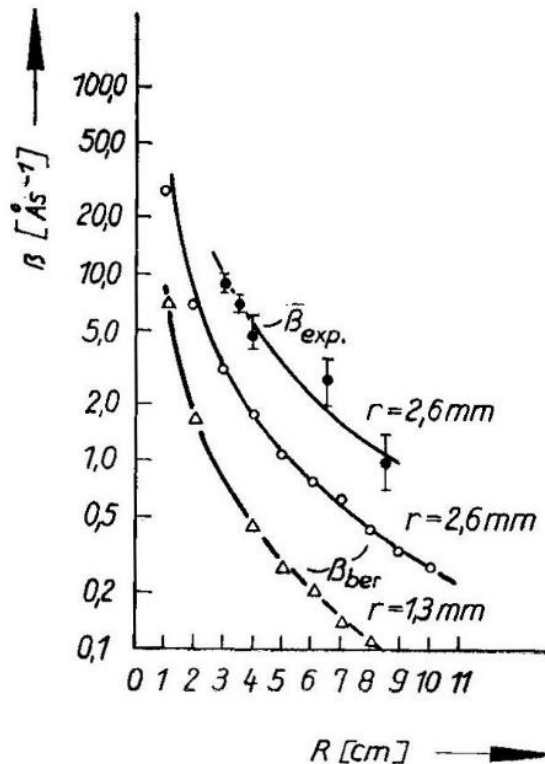


Bild 5 Zum Vergleich der berechneten und der experimentellen Bedampfungsrates (logarithmische Darstellung); r – Radius des Schmelztropfens

3. Schlußfolgerungen

Der einfache Aufbau und die Manipulierbarkeit der Elektronenstoßdampfquelle sowie die gute Qualität der mit dieser hergestellten Metall- und Legierungsschichten rechtfertigen ihren Einsatz im Labor- wie im UHV-technischen Maßstab. Insbesondere ist die Anordnung für die Herstellung einkristalliner und/oder sehr reiner Schichten geeignet [10].

In [16] wurde die Einflußnahme der Restgasatmosphäre und der Substrat-Adsorptionsschicht auf die elektrischen Eigenschaften und die Phasenzusammensetzung von Tantalsschichten, die mit der Ta-Dampfquelle hergestellt worden sind, diskutiert. Die dort erwähnte optimale Temperatur des Quarzglassubstrates von 500°C für die Herstellung reiner Ta-Schichten resultiert aus dem Abbau der Adsorptionsschicht (vgl. [17]) und aus der verringerten Einflußnahme des Gettereffektes. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, daß die Zusammensetzung der Restgasatmosphäre — primär überwiegend Kohlenwasserstoffe, Wasserdampf, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff im Fall von Öldiffusionspumpen — und damit auch die der Adsorptionsschicht sowie der Restgasdruck durch die Dampfquelle und ihre Wechselwirkung mit dem primären Restgas — primär im Sinne einer Zusammensetzung vor Einschalten

der Dampfquelle — beeinflußt werden³⁾). Es sind im wesentlichen vier Beiträge zu unterscheiden:

1. Abdampfung von im Quellenmaterial gelösten bzw. ausgeschiedenen Elementen (Vakuumdestillation), d. s. insbesondere Edelmetalle u. a. Elemente mit niedriger Dissoziationsenergie ihrer Oxide, Nitride, Karbide, Hydride, Silizide usw.
2. Wiederverdampfung von Fremdstoffen, deren Bestandteile von den Halterungs-, Rezipienten- und Elektrodenmaterialien thermisch bzw. durch Photonen abgelöst werden und auf die Quellenoberfläche gelangen.
3. Abdampfung von Reaktionsprodukten der Reaktionspartner Quellenmaterial, gelöste bzw. an Korngrenzen ausgeschiedene und zur Oberfläche diffundierte Fremdstoffe, Fremdstoffe der unter 2. genannten Art und primäre Restgasatmosphäre.

Hier dominiert z. B. im Fall der Ta-Dampfquelle die Abgabe des gelösten Sauerstoffs, der an der Oberfläche mit Tantal zu TaO und TaO₂ reagiert und in Form dieser Verbindungen bei Temperaturen oberhalb von 1600 °C abdampft (vgl. [18]). Daneben sind zahlreiche weitere miteinander gekoppelte Volumendiffusions-, Oberflächendiffusions- und Reaktionsprozesse denkbar, die zu unterschiedlichen Abdampfprodukten führen (z. B. Ta-Nitride, -Karbide, -Hydride, -Silizide).

4. Abdampfung von im Quellenmaterial gelösten bzw. an dessen Oberfläche adsorbierten Gasen: Nach [19] und [20] dominiert die Abgabe von H₂.

Die ohnehin recht verwickelten Vorgänge werden durch den Einfluß des elektrischen Feldes (Feldstärke etwa 10⁴ Vcm⁻¹) und des Elektronenbombardements weiter kompliziert. Im Ergebnis dieser Wechselwirkungserscheinungen kann sich wie z. B. im Fall der Ta-Dampfquelle bei höherer Quellentemperatur ein Vakuumlichtbogen zwischen Katode und Anode ausbilden, der zu Instabilitäten des Diodenstromes führt und ohne elektronische Stabilisierung unweigerlich einen Kurzschluß zur Folge hätte. Die Instabilität ist umso ausgeprägter, je mehr Sauerstoff, Wasserstoff u. a. Verunreinigungen im Quellenausgangsmaterial enthalten sind. Die in [21] erwähnte Ausbildung von Mikrolunkern an der ursprünglichen Grenzfläche flüssig/fest — Zone A in Bild 1 — macht deshalb die Annahme plausibel, daß durch das „Einfrieren“ des Fremdstoffdiffusionsstromes, infolge des schnellen Erstarrungsvorganges, eine Ausscheidung von Gasen im Inneren des Materials erfolgt.⁴⁾ Somit sind eine hohe Saugleistung der Pumpen und ein niedriger primärer Restgastotaldruck zwar eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für die Herstellung reiner Schichten. Es sind deshalb unter dieser Zielsetzung folgende Vorkehrungen zu empfehlen:

Vakuumerzeugung mit Hilfe von Turbomolekular-, Atomgetter-, Ionengetter-, Kryo- u. a. Sorptionspumpen;

Einsatz ausheizbarer Ganzmetallapparaturen (Ausheiztemperatur \gtrsim 400 °C);

Einsatz einkristalliner, mehrfach unter hohem Vakuum zonengeschmolzener, stabförmiger Quellenmaterialien (vgl. [22]);

Kühlung des Rezipienten und der Halterungsmaterialien während des Aufdampfprozesses;

³⁾ Während des Aufdampfprozesses stieg im Fall der Ta-Dampfquelle der mit einem Ionisationsvakuummeter gemessene Restgastotaldruck innerhalb von 2 Minuten von $4 \cdot 10^{-6}$ Torr auf einen stationären Endwert von $8 \cdot 10^{-6}$ Torr an. Die Saugleistung der Öldiffusionspumpe betrug 500 ls⁻¹.

⁴⁾ Das würde die aus der errechneten Energiebilanz der Dampfquelle gefolgerte und in [21] erwähnte Voraussage bestätigen, wonach die Kristallisationsfront von A nach B in Bild 1 wandert und nicht umgekehrt.

Anbringen tiefgekühlter Bleche in der Umgebung des Substrates und der Dampfquelle;

Sorgfältige naßchemische Vorreinigung des Substrates; thermische Nachreinigung im Vakuum bei einer Substrattemperatur von mehr als 450 °C über einen Zeitraum von mehr als 30 Minuten.

Die wesentlichen Vorteile der Dampfquelle lauten somit wie folgt:

1. Es existieren gute Voraussetzungen für die Herstellung sehr reiner Schichten der hochschmelzenden Metalle und Legierungen sowie für den UHV-Einsatz.
2. Ebenso wie die Erzeugung niedriger Aufdampfraten ($\bar{\beta}_{\text{exp}} \lesssim 0,2 \text{ \AA s}^{-1}$) als Voraussetzung für die Herstellung einkristalliner Schichten möglich ist, sind sehr hohe Aufdampfraten ($\bar{\beta}_{\text{exp}} \gtrsim 100 \text{ \AA s}^{-1}$) bei niedriger Beschickungsrate erzielbar.
3. Der apparative Aufwand ist gering (Baukastenprinzip!).
4. Die Dampfquelle eignet sich für die tiegelfreie Herstellung von hochreinen, kugelförmigen Einkristallen der hochschmelzenden Metalle und Legierungen (vgl. [21]).

Literatur

- [1] Roberts, R. W.: USA-Report, Nr. 64-RL-3394 C (1964).
- [2] Nickolson, S. L.: Rev. Sci. Instr. 34, 118 (1963).
- [3] Effenberger, D.: Vakuum-Technik 9, 205 (1967).
- [4] von Ardenne, M.: Tabellen zur angewandten Physik I, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin (1962).
- [5] Wolf, G.: Wiss. Zeitschr. Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt 10, 181 (1968).
- [6] Kelly, J. C.: J. Sci. Instr. 36, 89 (1959).
- [7] Bachmann, L.: Naturwiss. 49, 34 (1962).
- [8] Holland, F. R.: Thin Film Microelectronics, Chapman and Hall, Ltd., London (1965).
- [9] Bitterlich, W., u. Bachmann, L.: Vakuum-Technik 15, 90 (1966).
- [10] Langer, H.-D.: Dissertation, Techn. Hochschule Ilmenau, eingereicht im Januar 1970.
- [11] Allenden, D.: J. Sci. Instr. 36, 66 (1959).
- [12] Espe, W.: Werkstoffkunde der Hochvakuumtechnik I, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin (1959).
- [13] Maskalick, N. J., Lewis, C. W., u. Reingold, A. M.: 10. Americ. Vac. Symp. Trans. 503 (1963).
- [14] Langer, H.-D., Meyer, S., u. Schneider, H. G.: „Gesetzmäßig orientiertes Verwachsen dünner Schichten hochschmelzender Metalle mit kristallinen Substraten“, in „Kristallisation metallischer Werkstoffe“, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (1969).
- [15] Meyer, S., Langer, H.-D., u. Schneider, H. G.: Struktur und Gefügestand aufgedampfter Tantalschichten auf vor- und einkristallinen Substraten“, Vortr., Symposium „Kristallisation auf Oberflächen-Grundlagen der Epitaxie“, Berlin (1969).
- [16] Langer, H.-D.: „Zur Diffusion von Sauerstoff in aufgedampften dünnen Tantalschichten“, in „Diffusion in metallischen Werkstoffen“, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (1971).
- [17] Hollands, E. J., u. Campbell, D. S.: Vacuum 18, 150 (1968).
- [18] Langer, H.-D., u. Schneider, H. G.: Wiss. Zeitschr. Technische Hochschule Ilmenau 14, 165 (1968).
- [19] Pulker, H. K., u. Jung, E.: Thin Solid Films 4, 220 (1969).
- [20] Morley, A. R., u. Campbell, D. S.: Thin Solid Films 2, 403 (1968).
- [21] Langer, H.-D., u. Meyer, S.: Kristall und Technik 4, K 5 (1969).
- [22] Čistjakow, Ju. D., u. Pekarjew, A. I.: Nach einer privaten Mitteilung liegen diesbezüglich bereits gute Erfahrungen vor.

(Eingang: 13. 8. 1970)

Verfasser: Langer, Hans-Dieter, Dipl.-Phys., Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt, Sektion Physik-Elektronische Bauelemente, Weiterbildungszentrum Elektronische Bauelemente, 90 Karl-Marx-Stadt, Reichenhainer Str. 70