

ARC-Verdampfungsquelle mit definiertem elektrischem Feld

Die Erfindung betrifft eine ARC-Verdampferquelle nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Als ARC-Verdampferquelle wird in der vorliegenden Beschreibung eine Vorrichtung bezeichnet, mit deren Hilfe ein Lichtbogen, welche ihren Brennfleck auf einer Kathode hat, im Vakuum gezündet werden kann, wobei durch die Kathode (=Target) das zu verdampfende Material bereitgestellt wird und der Brennfleck die Verdampfung des Targetmaterials zu Folge hat.

ARC-Verdampfungsquellen sind aus dem Stand der Technik bekannt. So offenbart Snaper in US 3625848 eine „Strahlenkanone“ (beam gun) mit einer Kathode und einer Anode die so angeordnet sind, dass eine Funkenentladung zwischen ihnen zustande kommt. Die Kathode wird dabei aus dem Material hergestellt, welches abgeschieden werden soll. Die dort beschriebene Anode hat eine konisch zulaufende Geometrie und ist in unmittelbarer Nachbarschaft zur zylindrischen Kathode angeordnet. Die Anordnung gemäss diesem Stand der Technik ist in Figur 1 gezeigt. Magnetische Mittel kommen in dieser Anordnung nicht zur Anwendung. Die Bewegung des Brennflecks auf dem Target dürfte daher für heutige Verhältnisse eine sehr langsame sein, obwohl diese damals als schnell beschrieben wurde. Eine langsame Bewegung des Brennfleckes führt u.a. zu einer erhöhten Rauigkeit der mittels der ARC-Verdampfungsquelle hergestellten Schichten.

Demgegenüber wird in der Patentschrift US 4 620 913 von Clark Bergman ein Multi ARC Vacuum System offenbart bei dem magnetische Mittel zum Einsatz kommen. Dabei handelt es sich um eine ARC Quelle mit Anodenbeschaltung, wobei die Kammer oder eine elektrisch isoliert eingeführte Anode verwendet wird. Dabei ergibt sich aber der Nachteil, dass lediglich ein Teil der Magnetfelder, welche vom Target ausgehen, in die Anode führt. Vorteil der dortigen Apparatur ist eine stabile Funkenführung speziell bei kleinen Entladeströmen. Eine Stromaufteilung zwischen Kammer und eingeführter Anode wird durch eine zusätzliche Beaufschlagung der eingeführten Anode mit einer positiven Spannung erreicht.

Es besteht daher ein Bedürfnis nach einer ARC-Verdampferquelle welche es erlaubt, bei konstant hoher Verdampfungsrate Schichten mit geringer Oberflächenrauigkeit herzustellen. Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine solche ARC-Verdampferquelle anzugeben.

Erfindungsgemäss wird die Aufgabe durch die ARC-Verdampferquelle gemäss Anspruch 1 gelöst. In den abhängigen Ansprüchen sind unterschiedliche und vorteilhafte Ausführungsformen der erfindungsgemässen ARC-Verdampfungsquelle.

BESTÄTIGUNGSKOPIE

Die erfindungsgemässe ARC-Verdampfungsquelle umfasst eine Kathode (Target), eine Anode und magnetische Mittel, die es erlauben, die magnetischen Feldlinien auf kurzer Verbindung von der Targetoberfläche zur Anode zu führen.

5 Die Anode ist in der unmittelbaren Nachbarschaft der Kathode angeordnet, so dass die Verbindung der Kathode mit der Anode über Magnetfeldlinien von jedem Punkt der zu verdampfenden Oberfläche des Targets, welcher einer Erosion ausgesetzt ist, gewährleistet ist.

10 Dabei sind die magnetischen Mittel so ausgestaltet, dass die Komponente parallel zur Targetoberfläche deutlich grösser ist als die Komponente senkrecht zur Targetoberfläche. Es können magnetische Feldstärken von bis zu 500 Gauss in Verwendung kommen, d.h. deutlich höhere Feldstärken als die sonst in der PVD-Technologie zu Anwendung kommenden Magnetfeldstärken.

Die so beschriebene ARC-Quelle weist im Vergleich mit dem Stand der Technik, höhere Beschichtungsraten bei gleichzeitig sehr glatten Schichten auf.

15 Die erfinderische ARC-Quelle ist selbst im Vakuum betriebsfähig, wobei eine hohe Funkengeschwindigkeit erreicht wird. Die ARC-Quelle wird dabei im Metallmode betrieben. Die so erzeugten Metalionen, wie z.B. Cr⁺, Ti⁺ können störungsfrei an das Substrat gelangen und zum Zweck des Metal Ionen Ätzens verwendet werden. Ein Betrieb bei geringem Entladestrom ist möglich.

Mittels sogenanntem „Prebiasing“ lässt sich mit der erfindungsgemässen Anode die Ionenenergie zuverlässig einstellen.

20 Die Erfindung wird nun beispielhaft und mit Hilfe der Figuren im Detail dargestellt.

Figur 1 zeigt eine ARC-Verdampfungsquelle gemäss dem Stand der Technik

Figur 2 zeigt eine ARC-Verdampfungsquelle gemäss dem Stand der Technik

Figur 3 zeigt eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemässen ARC-Verdampfungsquelle

25 Figur 4 zeigt eine Vakuumvorrichtung mit einer erfindungsgemässen ARC-Verdampfungsquelle

Figur 5 zeigt eine Vakuumvorrichtung mit einer ARC-Verdampfungsquelle gemäss Stand der Technik.

Figur 6 zeigt die Potentialverhältnisse bei einer Vorrichtung gemäss Figur 5

Figur 7 zeigt die Potentialverhältnisse bei einer erfindungsgemässen Vorrichtung gemäss Figur 4

Figur 8 zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemässen Vakuumvorrichtung

30 Figur 9 zeigt die Potentialverhältnisse bei einer erfindungsgemässen Vorrichtung gemäss Figur 4

Figur 10 zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemässen Vakuumvorrichtung

Figur 11 zeigt die Potentialverhältnisse bei einer erfindungsgemässen Vorrichtung gemäss Figur 4

Für ein besseres Verständnis der Erfindung wird im Folgenden zunächst grob auf die Verhältnisse bei ARC-Quellen gemäss dem Stand der Technik eingegangen. Figur 2 zeigt eine Arc Verdampfer Anordnung 201 mit einer Anode 203 im Abstand von der Quellenkathode 209 gemäss dem Stand der Technik. Die Quellenkathode wird durch eine Kühlvorrichtung 211 gekühlt und ist mit dem negativen Pol 213 einer DC-Stromversorgung verbunden. Hinter der Quellenkathode sind magnetische Mittel 215 vorgesehen welche für den Aufbau eines Magnetfeldes oberhalb der Targetoberfläche sorgen. Ein Brennfleck 205 entlässt einen hohen Strom und damit eine Vielzahl von Elektronen in den Verdampferraum. Als leitfähiges Medium steht das ARC-Plasma zur Verfügung. Nachdem sich gemäss dem Stand der Technik die Anode 203 nicht in unmittelbarer Nähe des Brennflecks 205 befindet, müssen die geladenen Teilchen auf dem Weg zur weiter entfernten Anode das Magnetfeld kreuzen. Relevant ist die Bewegung eines geladenen Teilchens mit Ladung q , Masse m , Geschwindigkeit v am Ort r in einem elektrischen Feld $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ und magnetischen Feld $\mathbf{B}(\mathbf{r})$. Dabei wirken verschiedene Kraftkomponenten: Für die Bewegung parallel zum $\mathbf{B}$ -Feld wirkt eine Kraft proportional zu $q\mathbf{E}$. Für die Bewegung senkrecht zum Magnetfeld wirkt die Kraft proportional zu $q(\mathbf{E}_{\perp} + \mathbf{v}_{\perp} \times \mathbf{B})$, was zur Gyrationbewegung führt, die aber durch eine $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ - Drift überlagert ist. Dies führt zu einem „virtuellen“ Strompfad 207 wie er in Figur 2 angedeutet ist. Beim Durchlaufen dieser an eine Spirale erinnernde Bahn auf dem Weg zur entfernten Anode 203 wird das im Beschichtungsraum befindliche Arbeitsgas (z.B. Ar, N_2) stark ionisiert. Es kommt zur Bildung von Gas-Ionen, zu einer Spannungserhöhung der Entladung und einem Potentialsprung vor der Kathode. Ausserdem wird eine Reduktion der Beschichtungsrate beobachtet.

In Figur 3. ist eine Ausführung der erfindungsgemässen ARC-Verdampferquelle 301 gezeigt. Dies ist nur eine beispielhafte Variante und kann durch verschiedenste Ausführungen realisiert werden. Die Kathode 309 besteht aus dem zu verdampfenden Material und ist über den Stromanschluss an den negativen Pol einer Stromquelle angeschlossen. Über die magnetischen Mittel 305 wird ein Magnetfeld an der Kathodenoberfläche erzeugt, welches eine schnelle Funkenbewegung erlaubt.

Die Magnetfeldlinien welche von der Targetoberfläche ausgehen sind innerhalb eines grossen Flächenanteils so gestaltet, dass sie vorwiegend Komponenten parallel zur Oberfläche der Kathode 309 haben und eine kurze Verbindung zur Anode 303, die sich ringförmig um den Kathodenrand erstreckt, ermöglichen. Die in Fig. 3 dargestellte ARC-Verdampferquelle kann aber sowohl als axialsymmetrische Rundkathode als auch als Rechteckkathode realisiert sein. Kathodenbereiche im Zentrum bzw. entlang der Mittellinie weisen immer senkrecht zur Targetoberfläche verlaufende Feldlinien auf und sollten daher von der Erosion ausgenommen werden. Dies kann beispielsweise mit einer Blende oder mittels einer gefüllten Aussparung geschehen (beides nicht gezeigt). Die magnetische Feldstärke im Bereich 6 beträgt 40 Gauss bis 500 Gauss. Vorteilhaft sind 60 bis 100 Gauss und besonders vorteilhaft sind 200 bis 500 Gauss für besonders glatte Schichtergebnisse. Die erfindungsgemässe Anordnung der Anode in Kombination mit der magnetischen Feldverteilung erlaubt den Betrieb bei solch hohen Magnetfeldern. Als Targetmaterial der Kathode 309 können die für die Hartstoffbeschichtung üblichen Materialien wie Ti, TiAl, Al, AlCr, TiSi, Cr usw. verwendet werden.

In ARC-Verdampferanordnung 301 gemäss Fig. 3 ist die Anode 303 in Kombination mit dem von den magnetischen Mitteln 305 erzeugten magnetischen Feld erfindungsgemäss so in der Nähe der Kathode 309 angeordnet, dass die magnetischen Feldlinien den Strompfad 307 auf direktem Weg vom Brennfleck 315 zur Anode 303 erlauben. Eine wie oben beschriebene Drift lässt sich im Wesentlichen vermeiden, wenn das elektrische Feld im Wesentlichen parallel zum magnetischen Feld verläuft. In einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird die Anode so ausgestaltet, dass dies bei angelegter Spannung und angeschaltetem Magnetfeld erfüllt ist und bis auf die zentralen Magnetfeldlinien nahezu alle oder zumindest ein Grossteil der Magnetfeldlinien zur Anode führen. Die Bahn der Elektronen wird durch den Larmor Radius charakterisiert und beschreibt eine Gyration um den Feldlinienverlauf. Der Gyration Radius für ein Elektron beträgt für 10 Gauss ca. 1mm für 100 Gauss ca. 0.1mm. Die Bahn ist daher bei entsprechenden magnetischen Feldstärken gut entlang der Feldlinie lokalisiert. Die Wirkung einer solchen Anordnung ist eine Reduktion der Gesamt Entladungsspannung und eine Erhöhung der Beschichtungsrate. Das Arbeitsgas in der Nähe des Targets wird nur geringfügig ionisiert.

Eine mögliche vorteilhafte Anwendung der vorliegenden Erfindung ist das Metall Ionen Ätzen (MIE).

Dies wird durch eine weitere Besonderheit der erfinderischen Arc-Verdampfungsquelle möglich. Die Besonderheit besteht in der Möglichkeit eines stabilen Betriebs selbst ohne Arbeitsgas im Vakuum mit Drücken kleiner als $1\text{E-}03\text{Pa}$. Dabei wird es durch die gute elektrische Anbindung des Arc –Spots 5 an die Anode möglich, dass die elektrische Leitfähigkeit des Metallplasmas 8 ausreicht um den Strom von der Kathode zur Anode zu tragen 9. Der Metaldampf aus der Arc Quelle ist zu einem hohen Grad einfach und mehrfach ionisiert und kann durch die Biasspannung 12 auf das Substrat 11 beschleunigt werden. Damit kann ein Metall Ionen Ätzen (MIE) effektiv realisiert werden. Eine entsprechende MIE-Vorrichtung 401 ist in Figur 4 gezeigt: Diese umfasst eine ARC-Verdampfungsquelle 403 und eine Substrathalterung 407, welche in einer Vakuumkammer 405 angeordnet sind. Die Substrathalterung, bestückt mit zu ätzenden Substraten (nicht gezeigt) wird mit Hilfe einer Spannungsquelle 408 auf negatives Potential gelegt, wodurch die an der ARC-Verdampfungsquelle entstehenden positiven Ionen zu den Substraten hin beschleunigt werden.

Bemerkenswert ist, dass der Betrieb im Vakuum bei sehr geringen Stromstärken aufrecht erhalten werden kann: Bei der Auswahl des Parameterraumes für den oben genannten MIE Prozess ergab sich erstaunlicherweise, dass selbst bei sehr geringem Entladestrom der ARC –Entladung ein stabiler Prozess möglich ist. Aufgrund der Magnetfeldlinien wird das Potential der Anode bis kurz vor die Targetoberfläche „verschleppt“, wodurch der Strompfad aufrecht erhalten werden kann.

Für Aluminium konnte ein stabiler Prozess bei Stromstärken bis hinunter zu knapp oberhalb 10 A und für Titan bei Stromstärken bis hinunter zu knapp oberhalb 40 A festgestellt werden. Mit der erfindungsgemässen ARC-Verdampfungsquelle kann Metall Ionen Ätzen auch mit anderen

Materialien, wie zum Beispiel Cr, Nb, Ta und andere Metalle mit hohem Ionisierungsgrad und hohem Anteil an Mehrfachionisation stabil durchgeführt werden.

Die erfindungsgemässe ARC-Verdampfungsquelle lässt sich mit unterschiedlichen Beschaltungen realisieren, die ihrerseits wiederum selbst erfinderisch sind.

Zunächst wird wieder zum besseren Verständnis die Situation beim Verwenden einer ARC-Verdampfungsquelle gemäss dem Stand der Technik skizziert. Dementsprechend ist in Figur 5 eine nach dem Stand der Technik angegebene Beschaltung dargestellt.

Dabei bildet die Kammerwand des Rezipienten 505 die Anode. Die magnetischen Feldlinien, welche vom Target ausgehen, haben keine direkte Verbindung mit der Anode. In der Figur 5 gezeigt ist eine Beschichtungsvorrichtung 501 mit einer ARC-Verdampfungsquelle 503 die in einem Rezipienten 505 angeordnet ist, wobei in dem Rezipienten 505 ausserdem ein Substrathalter 507 angeordnet ist der mittels einer Spannungsquelle 508 auf negative Spannung gelegt werden kann. Speziell bei hohen magnetischen Feldstärken, welche sich auf die Schichtrauhigkeit positiv auswirken, kommt es zu starker Ionisation des Arbeitsgases (z.B. N₂) und damit zu einer Erhöhung der Entladespannung bzw. einem Potentialfall vor dem Target. Ausserdem kommt es durch die hohe Elektronentemperatur der Entladungen (2eV-5eV) zu einer Verzerrung des Potentials vor dem Substrat, wie in Figur 6 skizziert.

In Figur 4 wurde demgegenüber eine erfindungsgemässe Ausführungsform skizziert und bereits weitgehend erläutert.

Das mit hohem Ionisationsgrad verdampfte Kathodenmaterial wird über eine Biasspannung 408 auf das Substrat beschleunigt. Das elektrische System Kathode 1 –Anode 4 ist floatend zur Kammermasse 10 ausgeführt.

Das Plasmapotential U_{plasma} ist in dieser Ausführungsform an die Kammerwand gebunden.

Der Entladungsstrom der Arc- Quelle fliesst von der Kathode zur Anode. Die Kathodenspannung in diesem Beispiel von ca. -16 bis -25V wird gegen die Anode 4 aufgebaut. Der Substratbias aus Generator 408 beschleunigt Ionen aus dem Plasma mit Plasmapotential U_{plasma} gegen das Substrat. Der Potentialverlauf vor dem Substrat ist, wie in der Figur 7 dargestellt, nicht mehr verzerrt, da die Elektronentemperatur eines solchen Plasmas lediglich ca. 0.3eV bis 1eV beträgt.

Eine weitere Ausführungsform ist in Figur 8 gezeigt, nämlich eine Beschichtungsvorrichtung 801 mit einer ARC-Verdampfungsquelle 803 die in einem Rezipienten 805 angeordnet ist, wobei in dem Rezipienten 805 ausserdem ein Substrathalter 807 angeordnet ist der mittels einer Spannungsquelle 808 auf negative Spannung gelegt werden kann. Gemäss dieser Ausführungsform wird im Unterschied zur Figur 4 die Kathode des in Figur 4 floatenden Kathoden-Anoden Systems auf Kammermasse

(Ground) geschaltet. Dabei werden die Potentiale verschoben, wie in Figur 9 dargestellt. Das Kathodenpotential wird zur Kammermasse verschoben. Der ARC- Entladestrom verläuft von Kathode zu Anode. Die von der Spannungsquelle (Biasversorgung) 808 aufgebrachte Spannung (in diesem Beispiel 40V erzeugt eine Beschleunigung der Ionen mit einem zusätzlichen Anteil $U_{bias} + U_{plasma}$

5

In Figur 8 ist die Kathode mit der Kammer kurzgeschlossen und liegt somit auf Kammermasse. Es ist aber auch möglich Kathode und Kammer über eine Spannungsquelle zu verbinden und hierdurch eine zusätzliche Potentialverschiebung zu erreichen. Damit kann erreicht werden, dass das Plasmapotential, zumindest vor der Anode, stark positiv wird. Dies ist in den Figuren 10 und 11

10

gezeigt.

Ansprüche:

1. ARC-Verdampfungsvorrichtung umfassend
 - eine Kathode die eine Oberfläche mit demjenigen Material enthält, welches verdampft werden soll
 - magnetische Mittel welche zu einem Magnetfeld über der Oberfläche führen
- 5 - eine Anode zur Absorption der Elektronen, die während des Verdampfungsprozesses aus der Kathode herausgezogenen werden
- eine Spannungsquelle, die es erlaubt zumindest zeitweise die Anode gegenüber der Kathode auf positives Potential zu legen
- dadurch gekennzeichnet, dass
- 10 die Anode in der Nähe der Kathode angeordnet ist dergestalt, dass die aus der Oberfläche des Kathode austretenden Magnetfeldlinien auf die Anode treffen falls sie nicht in einem zentralen Bereich der Kathode aus der Oberfläche treten.
2. ARC-Verdampfungsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Position und
- 15 Geometrie der Anode im Verhältnis zur Kathode so gewählt ist, dass die Magnetfeldlinien unter einem Winkel von über 45° und vorzugsweise im Wesentlichen senkrecht auf die Oberfläche der Anode treffen.
3. ARC-Verdampfungsvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Position und
- 20 Geometrie der Anode im Verhältnis zur Kathode so gewählt ist, dass die Magnetfeldlinien und die elektrischen Feldlinien welche auf die Anode treffen im Wesentlichen parallel zueinander verlaufen.
4. ARC-Verdampfungsvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch
- gekennzeichnet, dass im zentralen Bereich Vorkehrungen getroffen wurden, welche dessen Erosion
- 25 während des Betriebes der Verdampfungsvorrichtung im Wesentlichen verhindern.
5. ARC-Verdampfungsvorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorkehrungen eine Blende im zentralen Bereich der Kathodenoberfläche umfassen.
6. Vakuumbehandlungsvorrichtung mit einem Rezipienten und einer Halterung für Substrate und mit
- 30 einer ARC-Verdampfungsvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche.
7. Vakuumbehandlungskammer nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Kathode der
- ARC-Verdampfungsvorrichtung gegenüber dem Rezipienten auf einem Potential gehalten wird
- 35 welches floatend, gleich oder positiv ist.