



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **267 261 A1**4(51) C 23 C 14/28
C 23 C 14/54

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP C 23 C / 311 305 0	(22)	24.12.87	(44)	26.04.89
(71)	VEB Hochvakuum Dresden, Niedersedlitzer Straße 63, Dresden, 8017, DD				
(72)	Schulze, Dietmar, Dipl.-Phys.; Wilberg, Rüdiger, Dipl.-Ing.; Scheibner, Helmar, Dr. rer. nat.; Schrade, Frank, Dr. rer. nat.; Behnke, Jürgen, Dr. rer. nat.; Kagel, Henning, Dr. rer. nat.; Becker, Wolfgang, Dr. rer. nat., DD				
(54)	Hohlkatodenbogenverdampfer zur gleichmäßigen Beschichtung großflächiger Substrate und Verfahren zu dessen Betrieb				

(55) Hohlkatodenbogenverdampfer, großflächige Bedampfung, mehrere Katoden, Gasdurchsatzregelung, Regelverfahren

(57) Die Erfindung betrifft einen Hohlkatodenbogenverdampfer zur gleichmäßigen Beschichtung großflächiger Substrate und ein Verfahren zu dessen Betrieb. Entsprechend dem grundsätzlichen Einsatzgebiet von Hohlkatodenbogenverdampfern werden mit der vorliegenden Erfindung im wesentlichen Hartstoffschichten für dekorative und funktionelle Zwecke hergestellt. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde einen Verdampfer zu schaffen, der einen großflächigen, der Geometrie der Substrate angepaßten Anodentiegel aufweist und mittels Hohlkatodenbogenentladung beheizt wird. Erfindungsgemäß weist der Hohlkatodenbogenverdampfer einen großflächigen, den Substraten angepaßten Anodentiegel auf und diesem gegenüber eine Vielzahl von Katoden. Alle Einzelkatoden sind mit dem negativen Pol einer stromgeregelten Spannungsquelle verbunden, während der positive Pol mit dem Anodentiegel kontaktiert ist. Der Abstand der einzelnen Katoden zueinander beträgt das 5- bis 20fache des Strahldurchmessers des Elektronenstrahls einer Katode am Auftreffort im Anodentiegel. Der für die Funktion der Hohlkatodenbogenentladung erforderliche Gasfluß durch die Hohlkatode selbst wird mit Hilfe bekannter Mittel für jede einzelne Katode getrennt gesteuert. Gleichfalls für jede Katode getrennt ist eine ein transversales Magnetfeld erzeugende Einrichtung zur Führung des Elektronenstrahls. Die erfindungsgemäße Regelung der Verdampfungscharakteristik erfolgt über den Gasdurchsatz an den einzelnen Katoden.

Patentanspruch:

1. Hohlkatodenbogenverdampfer zur gleichmäßigen Beschichtung großflächiger Substrate, **gekennzeichnet dadurch**, daß gegenüber einem großflächigen anodischen Tiegel eine Vielzahl von Katoden mit gemeinsamer stromgeregelten Spannungsquelle und einzelnen steuerbaren Inertgaszuführungen angeordnet sind, und daß der Abstand der einzelnen Katoden zueinander das 5- bis 20fache des Strahldurchmessers beträgt.
2. Hohlkatodenbogenverdampfer nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die geometrische Form des anodischen Tiegels an die Form des Substrates angepaßt ist.
3. Hohlkatodenbogenverdampfer nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß jeweils zwischen der Katode und dem Katodenbrennfleck eine Einrichtung zur Erzeugung eines transversalen Magnetfeldes angeordnet ist.
4. Hohlkatodenbogenverdampfer nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Anodentiegel zugehörig zu einzelnen Katoden Unterteilungen aufweist, aus denen verschiedenartige Materialien verdampft werden können.
5. Verfahren zum Betreiben des Hohlkatodenbogenverdampfers nach Anspruch 1 bis 4, **gekennzeichnet dadurch**, daß zur Steuerung der Dampfdichteverteilung über der großflächigen Anode der Gasdurchsatz an den einzelnen Katoden variiert wird.
6. Verfahren zum Betreiben des Hohlkatodenbogenverdampfers nach Anspruch 3, **gekennzeichnet dadurch**, daß zur Steigerung der Plasmaparameter die einzelnen transversalen Magnetfelder variiert werden.
7. Verfahren zum Betreiben des Hohlkatodenbogenverdampfers nach Anspruch 4, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Verdampfung der verschiedenartigen Materialien jeweils über den Gasdurchsatz an der zugeordneten Katode geregelt wird.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft einen Hohlkatodenbogenverdampfer zur gleichmäßigen Beschichtung großflächiger Substrate, zum Beispiel zur Beschichtung langgestreckter Substrate. Entsprechend dem grundsätzlichen Einsatzgebiet von Hohlkatodenbogenverdampfern werden mit der vorliegenden Erfindung im wesentlichen Hartstoffschichten für dekorative und funktionelle Zwecke hergestellt.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Der Einsatz von Hohlkatodenbogenverdampfern zur reaktiven plasmagestützten Abscheidung von Schichten, insbesondere von Hartstoffschichten, ist seit langem bekannt und industriell eingeführt (z. B. Schmierungstechnik; Berlin, 9 [1987], 270). Mit derartigen Einrichtungen ist es möglich, harte Schichten auf Werkzeuge und Bauteile rationell abzuscheiden, da hohe Bedampfungsraten kombiniert mit günstigen Plasmabedingungen realisierbar sind. Alle bisher bekannten Hohlkatodenbogenverdampfer besitzen allerdings den Nachteil, daß die Baugruppen Hohlkatode und Anodentiegel relativ fest zueinander angeordnet werden müssen und das dadurch die Verdampfungscharakteristik die einer Punktquelle ist. In größeren Anlagen ergibt sich somit eine stark inhomogene Dampfdichteverteilung bei der Beschichtung ausgedehnter Substrate. Mit Hilfe komplizierter Substratbewegungsmechanismen, die eine Lageveränderung dieser ausgedehnten Substrate relativ zur Dampfquelle gestatten, wird dieses Problem nur teilweise gelöst. Der Einsatz mehrerer Einzelverdampfer ist prinzipiell möglich und führt zu einer gewissen Homogenisierung der Dampfdichte, z. B. in einer Linie. Dabei ist aber zu beachten, daß für jeden dieser Einzelverdampfer Hohlkatode, Tiegelanode sowie Stromversorgungssysteme aufgebaut werden müssen und sich der technische Aufwand durch die für jede Verdampfereinheit separate Leistungssteuerung zusätzlich erhöht. Aus diesem Grunde haben sich Hohlkatodenbogenverdampfungseinrichtungen mit mehreren Einzelverdampfern nur für Sonderzwecke durchgesetzt.

In der US-PS 4561 382 wird ein Hohlkatodenbogenverdampfer beschrieben, bei dem u. a. auch die Verdampfungscharakteristik beeinflußt werden kann. Jedoch sind diese Möglichkeiten sehr gering, da lediglich Katode und Anode zueinander in ihrer räumlichen Lage variiert werden. Der grundsätzliche Charakter einer Punktquelle wird nicht verändert.

Das Verfahren der Ablenkung (Wohbelung), wie es bei Elektronenstrahlverdampfern zur Beheizung großflächiger Verdampfungsquellen eingesetzt wird, ist für Hohlkatodenbogenverdampfer nicht anwendbar, da sich die relativ niedere energetischen Elektronen der Hohlkatoden-Bogenentladung nicht in der beschriebenen Weise effektiv beeinflussen lassen. Das letztlich quasineutrale Plasma der äußeren positiven Säule der Entladung wirkt einer solchen Ablenkung entgegen. In ähnlicher Weise ist die Anwendung magnetischer Felder zur Strahlauslenkung über große Winkelbereiche unmöglich. Andererseits ist die Kombination eines großflächigen Elektronenstrahlverdampfers mit dann erforderlichen gesonderten Plasmaeinrichtung technisch sehr aufwendig, daß dies nicht in Betracht kommt.

Ziel der Erfindung

Die Erfindung hat das Ziel, die gleichmäßige Beschichtung großflächiger Substrate mittels Hohlkatodenbogenverdampfers zu ermöglichen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Verdampfer zu schaffen, der einen großflächigen, der Geometrie der Substrate angepaßten Anodentiegel aufweist und mittels Hohlkatodenbogenentladung beheizt wird. Eine weitere Aufgabe besteht darin, ein Verfahren zur Regelung und Steuerung dieses Verdampfers anzugeben.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe derart gelöst, daß der Hohlkatodenbogenverdampfer einer großflächigen, den Substraten angepaßten Anodentiegel aufweist und daß diesem gegenüber eine Vielzahl von Katoden angeordnet sind. Alle Einzelkatoden sind mit dem negativen Pol einer stromgeregelten Spannungsquelle verbunden, während der positive Pol mit dem Anodentiegel kontaktiert ist. Der Abstand der einzelnen Katoden zueinander beträgt das 5- bis 20fache des Strahldurchmessers des Elektronenstrahls einer Katode am Auftreffort im Anodentiegel. Die geometrische Form des Anodentiegels kann dabei sehr verschiedenartig gestaltet sein und richtet sich ausschließlich nach den erforderlichen Verdampfungsraten in der räumlichen Lage. Denkbar sind z. B. einfache Linienverdampfer mit gleichmäßig oder auch ungleichmäßig zugeordneten Katoden. Es kann aber auch ein größerer kreisförmiger oder ringförmiger Verdampfertiegel sein, dem radial die Katoden zugeordnet sind. Für größere kreisförmige Substrate oder Substratanordnungen können auch kreissegmentförmige Verdampfertiegel mit entsprechenden Katodenzuordnungen vorteilhaft sein. Der Abstand der Katoden zueinander wird sowohl nach der erforderlichen Verdampfungsraten, wie von der Wärmeleitfähigkeit des zu verdampfenden Materials beeinflusst, also vom erforderlichen Energieeintrag. Der für die Funktion der Hohlkatodenbogenentladung erforderliche Gasfluß durch die Hohlkatode selbst, wird mit Hilfe bekannter Mittel für jede einzelne Katode getrennt gesteuert. Gleichfalls für jede Katode getrennt ist eine, ein transversales Magnetfeld erzeugende Einrichtung zur Führung des Elektronenstrahls, üblicherweise bestehend aus einer Magnetspule und zwei Polschuhen angeordnet.

Das Betreiben der erfindungsgemäßen Einrichtung geschieht in folgender Weise: Die Katoden und der Anodentiegel sind mit der beschriebenen stromgeregelten Spannungsversorgung verbunden, der Gasdurchfluß durch alle Katoden ist entsprechend den üblichen Erfordernissen zum stabilen Betrieb von Hohlkatodenbogenentladungen realisiert. In der Folge wird eine erste Katode durch bekannte Aufheizung auf die Zündtemperatur gebracht. Sobald die erste Bogenentladung stabil brennt, erfolgt das Zünden der weiteren Entladungen durch Aufheizen der Katoden. Dieser Zünd- und Einbrennvorgang ist, unter einer Blende, die die Substratbedampfung verhindert, bis zum gleichmäßigen Aufschmelzen der gesamten Oberfläche des Verdampfungsmaterials fortzusetzen. Anschließend wird die Blende geöffnet und die Substratbedampfung setzt ein. In bekannter Weise wird die Bedampfungsraten an mehreren Punkten in Substratnähe bestimmt und der Gasdurchfluß durch die einzelnen Katoden so gesteuert, daß sich eine derartige Bogenstromverteilung über die einzelnen Entladungen einstellt, die zu einer gleichgroßen Bedampfungsraten an den verschiedenen Meßstellen führt. Die Stärke des transversalen Magnetfeldes wird dabei so festgelegt, daß ein maximaler Energieumsatz am Anodentiegel erfolgt, d. h. daß der Bogenweg möglichst kurz gehalten wird. Ist die bei diesem kurzen Bogen erfolgende Ionisierung des Metaldampfes und der Gaskomponenten verfahrensgemäß zu gering, ist es möglich, die einzelnen Bögen durch Variation der jeweiligen Magnetfeldstärke unterschiedlich zu führen und somit eine im Verfahren erforderliche gleichmäßig oder getrennt unterschiedliche Ionisierung und damit Plasmadichte zu erzeugen. Die mit der unterschiedlichen Bogenführung verbundene Veränderung der Verdampfungsraten des einzelnen Bogens kann dann über die Wahl des Gasdurchflusses durch die Katode korrigiert werden.

Werden für unterschiedliche Substrate bzw. Substratbeschichtungen unterschiedliche Verdampfungscharakteristiken benötigt, dann kann diese Aufgabe ebenfalls über die verfahrensgemäße Regelung realisiert werden. Wird der Gasdurchfluß durch eine Katode gedrosselt, so sinkt der Entladungsstrom und die anderen Katoden übernehmen diesen geminderten Strom gleichmäßig. Bei Unterbrechung des Gasflusses einer Katode erlischt deren Bogenentladung völlig. Mit dieser verfahrensgemäßen Steuerung kann die Verdampfungscharakteristik in weiten Grenzen variiert werden. Im allgemeinen wird das Verdampfungsgut insgesamt schmelzen und zum Brennfleck nachlaufen, wo die Verdampfung erfolgt. In Ausnahmefällen kann es erforderlich sein, die Katoden gegenüber die Anoden relativ zu bewegen.

Der wesentliche Vorteil der Erfindung besteht darin, daß mittels des vorgeschlagenen Hohlkatodenbogenverdampfers eine großflächige Verdampfung, bei gleichzeitig gut steuerbarer Plasmaerzeugung realisiert werden kann. Darüber hinaus kann der Hohlkatodenbogenverdampfer, wegen seiner guten Regelbarkeit, in einfacher Weise an die unterschiedlichen Substratgeometrien angepaßt werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß auch unterschiedliche Materialien parallel oder nacheinander verdampft werden können. In diesem Fall muß lediglich der Anodentiegel entsprechend unterteilt sein. Die Verdampfung der einzelnen Materialien erfolgt dann über die beschriebene Steuerung der einzelnen Katoden.

Ausführungsbeispiel

Nachfolgend soll die Erfindung an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. Die zugehörige Zeichnung zeigt eine Hartstoffbeschichtungsanlage für Schüttgutbeschichtungen mittels erfindungsgemäßem Hohlkatodenbogenverdampfer. Innerhalb der Vakuumkammer 1 sind an einer entsprechenden Halterung abrollende Substrataufnahmekörbe 2 angeordnet. Diese können negativ vorgespannt werden. Im unteren Teil der Vakuumkammer 1 befindet sich der erfindungsgemäße Hohlkatodenbogenverdampfer. Entsprechend der räumlichen Lage der Substrataufnahmekörbe 2 wird der Anodentiegel 3 und somit das Verdampfungsgut 4 ringförmig angeordnet. Im Zentrum des Anodentiegels 3 ist eine Vielzahl, im Beispiel vier Katoden 5 angeordnet. Alle Katoden 5 sind an den negativen Pol der gemeinsamen stromgeregelten Spannungsquelle 6 angeschlossen. Das erforderliche Inertgas wird jeder Katode 5 individuell geregelt zugeführt. Zur Lenkung des Elektronenstromes 7 von der Katode 5 zum Verdampfungsgut 4 sind elektromagnetische Umlenkeinrichtungen 8 jeder einzelnen Katode 5 zugeordnet. Diese bestehen aus gekühlten Elektromagneten mit zwei Polschuhen. In der Figur ist mit 9 auch

die wesentliche Lage der Dampfkeule (9) eingezeichnet, wobei diese insgesamt ringförmig ausgebildet ist. Dabei ist gut zu erkennen, daß die Substrate einer intensiven Bedampfung ausgesetzt sind. Ein üblicher Punktverdampfer, der nur eine einfache Dampfkeule ausbildet, gestattet eine Bedampfung immer nur im Moment des Substratdurchlaufes. Die erforderliche Beschichtungszeit betrüge ein Vielfaches.

Der Verdampfungsablauf geschieht wie folgt. Nach der Evakuierung der Vakuumkammer 1, soll zuerst eine Ionenbeschleunigung der Substrate erfolgen. Dazu wird über die Hohlkatoden 5 Inertgas in die Vakuumkammer 1 eingelassen. Im Beispiel erfolgt das aber nur über zwei Katoden 5, während der Gasdurchfluß bei den zwei weiteren Katoden 5 abgesperrt bleibt. Durch bekannte, nicht näher dargestellte Katodenheizungen, wird nach Anlegen der Spannung zwischen Anode 3 und Katoden 5 mindestens eine Katode 5 elektrisch beheizt bis der Bogen zündet. Unmittelbar danach zündet auch die zweite gasdurchflossene Katode 5. Durch entsprechende Wahl der Parameter erfolgt jetzt trotz Bogenentladung keine Materialverdampfung, aber es wird ein Plasma hoher Dichte ausgebildet. Durch Anlegen einer höheren negativen Spannung an die Substrataufnahmekörbe 2 werden aus dem Plasma Ionen mit großer Energie auf die Substrataufnahmekörbe und die an den offenen Maschen anliegenden Substrate extrahiert, was zur oberflächlichen Abstäubung und damit Reinigung führt. Danach wird der eigentliche Beschichtungsprozeß gestartet. Dazu wird die negative Vorspannung der Substrataufnahmekörbe 2 auf einige 10V abgesenkt und der Bogenstrom auf etwa 300A gesteigert. Danach wird der Gasfluß auch an den übrigen Katoden 5 eingeregelt und nach Zündung aller vier Katoden 5 brennen alle Katoden 5 gleichmäßig, wobei sich der Bogenstrom auf diese aufteilt. Ungleichmäßigkeiten können über den Gasdurchsatz ausgeglichen werden. Die vier Elektronenstrombögen führen zwar jeder für sich ebenfalls nur zu einfachen Dampfkeulen. In der Nähe der Substrate haben sich die einzelnen Dampfkeulen jedoch zu einem Dampfkring vermischt. Durch den relativ hohen Wärmeeintrag wird das Verdampfungsgut nicht nur punktförmig aufgeschmolzen und verdampft, sondern über Wärmeleitung erfolgt ein generelles Aufschmelzen des Verdampfungsgutes und es läuft ständig zur Verdampfungsquelle am Bogenbrennfleck nach.

