

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

Anmeldenummer: **88102556.3**

Int. Cl.⁴ **H01J 37/06 , H01J 1/16**

Anmeldetag: **22.02.88**

Priorität: **24.04.87 CH 1582/87**

Anmelder: **BALZERS AKTIENGESELLSCHAFT**

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
26.10.88 Patentblatt 88/43

FL-9496 Balzers(LI)

Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB LI NL

Erfinder: **Winkler, Otto, Dr. Dipl.-Ing.**
Ramschwagweg 357
FL-9496 Balzers(LI)

Thermionische Haarnadelkathode.

Es wird eine thermionische Haarnadelkathode mit langer Lebensdauer aus einem hochschmelzenden Metalldraht vorgeschlagen, bei der die Temperaturverteilung längs der Schenkel entweder durch örtliche Erhöhung der Abstrahlung in einem Abstand von 10 - 50 % der Schenkellänge vom Scheitel, oder durch Verringerung der Abstrahlung in unmittelbarer Nähe des Scheitels, ohne Aenderung der Drahtquerschnittsfläche, evtl. auch durch Kombination beider Massnahmen, so beeinflusst wird, dass durch Vergrösserung des Temperaturgradienten im Scheitelbereich die Maximaltemperatur in die Nähe des Emissionszentrums oder in das Emissionszentrum verschoben wird.

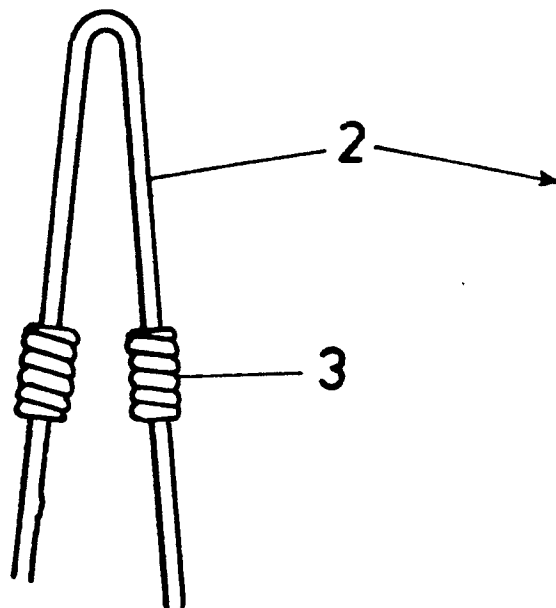


Fig.5

EP 0 287 774 A2

Thermionische Haarnadelkathode

Haarnadelkathoden, die aus Drähten hochschmelzender Metalle, insbesondere Wolfram, hergestellt sind, werden heute allgemein als Standard-Elektronenquellen, z.B. in Elektronenmikroskopen und anderen elektronenoptischen Instrumenten verwendet.

Besonders in Elektronenmikroskopen, bei denen ein hoher Richtstrahlwert gefordert wird und deshalb relativ hohe Betriebstemperaturen von 2700 - 2800 K üblich sind, ist die kurze Lebensdauer der Kathoden, die in der Regel nur 20 - 50 Stunden beträgt, ein störender Faktor, mit dem man sich seit der Erfindung des Elektronenmikroskops wohl oder übel abgefunden hat.

Ein eingehendes Studium der Faktoren, die die Lebensdauer bei der bisher üblichen Kathodenform beeinflussen, zeigte jedoch, dass Möglichkeiten zur Erhöhung der Lebensdauer bestehen, die bisher nicht erkannt und ausgenutzt wurden und dass die Lebensdauer, ohne Beeinträchtigung der elektronenoptischen Eigenschaften um ein Mehrfaches erhöht werden kann.

Die Wolfram-Haarnadelkathoden, die heute in Elektronenmikroskopen Verwendung finden, werden aus reinem, oder thoriertem Wolframdraht von 0,12 - 0,14 mm Durchmesser hergestellt. Dabei beträgt der innere Biegeradius am Scheitelpunkt meistens 0,05 - 0,1 mm. Diese Haarnadel wird an ihren beiden Schenkelenden durch Punktschweissung mit den Heizstromzuführungen im Kathodensockel verbunden. Beide Schenkel sollten gleiche Länge haben, so dass der emittierende Scheitelpunkt von den kalten Enden der Haarnadel gleich weit entfernt ist und im Betrieb deshalb die höchste Temperatur erreicht. Es sollte deshalb auch an dieser Stelle die grösste Materialabtragung durch Verdampfung stattfinden und die Lebensdauer durch die Temperatur und Drahtdicke an dieser Stelle bestimmt sein.

Die Erfahrung zeigt jedoch, dass die Kathode immer neben der Biegung durchschmilzt (s. auch Fig. 4). Es muss also einen Bereich neben der Biegung geben, der eine höhere Temperatur als das Emissionszentrum annimmt.

Man kann dies beobachten, wenn man eine Haarnadelkathode ausserhalb des Elektronenmikroskops unter Vakuum aufheizt und die Temperaturverteilung mittels Pyrometer bei konstant gehaltener Scheiteltemperatur über längere Zeit verfolgt. Am Anfang stellt man keinen messbaren Temperaturunterschied zwischen dem Scheitelpunkt und den unmittelbar angrenzenden Schenkelbereichen fest. Erst nach mehreren Stunden beobachtet man, dass ein Schenkel deutlich heisser wird. Die Temperaturdifferenz wird dann be-

schleunigt grösser, bis er an der heissesten Stelle durchschmilzt.

Wenn man sich vergegenwärtigt, dass bei 2800 K eine Temperaturerhöhung um 10 K bereits eine Steigerung der Verdampfungsrate um ca. 12 % bewirkt, wird verständlich, dass schon geringfügige Asymmetrien in der Temperaturverteilung sich katastrophal auswirken müssen.

Eine Erklärung gibt die Untersuchung der Energiebilanz, die sich für jedes Teilstück des Drahtes aus der zugeführten Jouleschen Wärme und den Wärmeverlusten durch Abstrahlung und Wärmeleitung längs des Drahtes ergibt. Man findet, dass es bei den bisher gebräuchlichen Haarnadelkathoden aus energetischen Gründen gar nicht möglich ist, dass am Scheitelpunkt das erwartete Temperaturmaximum auftritt. Betrachtet man nämlich einen kurzen Drahtabschnitt im Bereich der Biegung, so ist die Zustrahlung der angrenzenden Drahtabschnitte zur Innenseite der Biegung geringer und seine Abstrahlung nach aussen grösser als in den angrenzenden Schenkelbereichen. Man erhält also eine Temperaturverteilung, wie sie schematisch in der Figur 1 mit der ausgezogenen Linie dargestellt ist. Hier ist die Temperatur T über dem Abstand d links und rechts vom Scheitelpunkt aufgetragen. Wegen der guten Wärmeleitfähigkeit des Wolframs ist die Temperatursenke am Scheitelpunkt pyrometrisch kaum messbar. Sie beträgt nur wenige Grad. Voraussetzung für die gleiche Höhe der Temperaturmaxima links und rechts vom Scheitelpunkt ist, dass die Wärmebilanz in den beiden Schenkeln genau symmetrisch ist. Ist dies nicht der Fall, so entsteht eine asymmetrische Temperaturverteilung, wie sie die gestrichelte Linie zeigt. Diese Asymmetrie verstärkt sich im Laufe der Zeit immer mehr, da nicht nur die Widerstandserhöhung durch Verdampfung auf der einen Seite immer mehr zunimmt, sondern auch der Abbau auf der anderen Seite durch Temperaturenniedrigung abnimmt, sofern die Temperatur am Scheitelpunkt konstant gehalten wird. Die Temperaturdifferenz wird also, wie es die strichpunktierte Linie in Figur 1 zeigt, bis zum katastrophalen Durchschmelzen eines Schenkels zunehmen.

Die Asymmetrie der Temperaturverteilung kann mehrere Ursachen haben:

1. ungleiche Länge der beiden Schenkel
2. schlechte Schweissung, d.h. schlechter Wärmeübergang eines Schenkels zur Stromzuführung,
3. schlechter elektrischer Kontakt und Wärmeübergang an einem der Kontaktstifte des Kathodensockels,

4 Inhomogenitäten im Kathodenmaterial.

5. Thomson-Effekt, der als Folge der Temperaturgradienten in den beiden Schenkeln, je nach der Stromrichtung zu einer Wärmezufuhr in einem Schenkel und einer Wärmeabfuhr im anderen führt.

Dieser Effekt ist bei den üblichen Betriebsbedingungen nicht vernachlässigbar, kann die hierdurch verursachte Temperaturdifferenz doch 20 - 30 K betragen.

Diese verschiedenen Ursachen können sich in ihrer Wirkung addieren, aber auch ganz oder teilweise kompensieren. Während die Ursachen 1 bis 3 durch sorgfältige Herstellung der Kathoden vermieden werden können und Inhomogenitäten im Kathodenmaterial selten sind, kann der Thomson-Effekt nur durch Wechselstromheizung oder durch häufiges Umpolen der Stromrichtung eliminiert werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Lebensdauer von Haarnadelkathoden zu verlängern, indem die Temperatursenke am Scheitelpunkt und damit die Tendenz zur Destabilisierung der Temperaturverteilung verringert wird, und die Verdampfungsverluste in diesem Bereich durch geeignete Massnahmen herabgesetzt werden.

Eine naheliegende Massnahme, um diese Temperatursenke zu verringern, oder gar zu vermeiden, bestünde darin, den Drahtquerschnitt an der Biegung so zu reduzieren, dass durch erhöhte lokale Joulesche Wärmeentwicklung eine Temperaturerhöhung erreicht wird. Dazu ist aber eine erhebliche Verminderung der Querschnittsfläche nötig, die sich natürlich negativ auf die Lebensdauer auswirkt, so dass nichts oder nicht viel gewonnen ist, vor allem dann nicht, wenn die Vakuumbedingungen nicht optimal sind und mit einer zusätzlichen Abtragung durch Kathodenzerstäubung zu rechnen ist.

Die Erfindungsaufgabe wird durch die thermionische Haarnadelkathode gemäss Patentanspruch 1 gelöst. Erfindungsgemäss wird eine thermionische Haarnadelkathode aus einem hochschmelzenden Metalldraht vorgeschlagen, welche dadurch gekennzeichnet ist, dass der Temperaturgradient in der Nähe des Scheitelpunktes durch erhöhte Wärmeabfuhr längs der beiden Schenkel ohne Verringerung der Querschnittsfläche des Drahtes erhöht ist.

Gemäss einer ersten Ausführungsform der Erfindung wird das Erfindungsziel dadurch erreicht, dass die Wärmeabstrahlung in einem Abstand vom Scheitelpunkt, der 10 % bis 50 % der Schenkellänge entspricht, örtlich durch Vergrösserung der Oberfläche ohne nennenswerte Verringerung der Querschnittsfläche des Drahtes vergrössert wird.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der Draht in den an den Scheitelpunkt angrenzenden Bereichen der beiden Schenkel (ohne wesentliche Veränderung der

Querschnittsfläche) des Drahtes so verformt, dass er ein halbkreisförmiges Profil erhält, und gleichzeitig sich die flachen Seiten der beiden Seiten in möglichst geringem Abstand voneinander befinden.

Durch die Erfindung wird also erreicht, dass der Temperaturgradient vom Scheitelpunkt ausgehend längs der Schenkel wesentlich steiler wird. Es ergibt sich dann eine Temperaturverteilung wie sie in Figur 2 dargestellt ist. Die ausgezogene Kurve zeigt die ursprüngliche Temperaturverteilung unter idealen Bedingungen, und die gestrichelte die Verteilung nach Vergrösserung der Oberfläche an einer Stelle der Schenkel, die etwa 2 mm vom Scheitelpunkt entfernt ist. Die Gesamtlänge der Schenkel betrug dabei 8 mm.

Auf diese Weise ist es also möglich, die Stelle, oder die Stellen höchster Temperatur näher an den Scheitelpunkt heranzurücken oder ganz in diesen Punkt zu verschieben, so dass die Lebensdauer der Kathode nunmehr allein durch die Drahtdicke und die Temperatur an dieser Stelle bestimmt wird.

Die Vergrösserung der Oberfläche um ca. 0.7 mm² an jedem Schenkel in diesem Beispiel, macht zwar eine Erhöhung der Heizstromstärke um ca. 10 % erforderlich. Sie könnte, wenn nötig, mit einer Verringerung der Drahtstärke um 7 % kompensiert werden. Die dadurch verursachte Verringerung der Lebensdauer fällt jedoch gegenüber dem Gewinn nicht ins Gewicht, denn mit dieser Massnahme kann einer Verlängerung der Lebensdauer der bisher gebräuchlichen Haarnadelkathoden bereits um ein Mehrfaches erreicht werden.

Eine noch grössere Lebensdauer kann erreicht werden, wenn die Haarnadel im Scheitelbereich so verformt wird, dass die abstrahlende und verdampfende Oberfläche, bei Beibehaltung der Querschnittsfläche verringert wird. Dies geschieht z.B. in der Weise, dass mittels einer Prägevorrückung die beiden Schenkel im Bereich der Biegung so stark angenähert werden, dass ein halbkreisförmiges Drahtprofil entsteht, wobei sich die flachen Seiten zunächst berühren. Die beiden Schenkel werden dann wieder ein wenig gespreizt, so dass der gebildete Kurzschluss wieder aufgehoben ist, der Abstand aber immer noch so klein ist, dass die Strahlungs- und Verdampfungsverluste dieser Flächen vernachlässigbar bleiben.

Auf diese Weise entsteht ebenfalls ein grösserer Temperaturgradient längs der beiden Schenkel, so dass das Temperaturmaximum näher zur Spitze gerückt wird. Dadurch dass gleichzeitig die Verdampfungsverluste um ca. 25 % verringert sind, kann eine weitere Erhöhung der Lebensdauer erreicht werden.

Mit der durch diese Massnahmen bewirkten künstlichen Vergrösserung des Temperaturgradienten werden sogar die Einflüsse einer evtl. Ungleichheit der Schenkellängen, des Thomson-Ef-

fekts und anderer Effekte weitgehend neutralisiert. Sie können das Temperaturmaximum nur noch geringfügig aus der Scheitelmittle verschieben.

An Hand von Beispielen und der Figuren 3 - 11 soll die Erfindung nun noch näher erläutert werden:

Es zeigt:

Figur 3 eine auf einem Kathodensockel 1 montierte Haarnadelkathode 2, wie sie in ähnlicher Form heute in Elektronenmikroskopen verwendet wird, im Masstab 4:1;

Figur 4 eine Haarnadelkathode dieser bisher verwendeten Form im Bereich des Scheitels am Ende ihrer Lebensdauer im Masstab 50:1;

Figur 5 eine erfindungsgemässe Haarnadelkathode in der Variante mit aufgesetzten Hilfskörpern 3 zur örtlichen Erhöhung der Abstrahlung im Masstab 20:1;

Figur 6 den Scheitelbereich dieser Kathode am Ende ihrer Lebensdauer bei 2900 K Betriebstemperatur im Masstab 50:1;

Figur 7 eine Variante einer erfindungsgemässen Haarnadelkathode mit flachgepressten Schenkelabschnitten 4 zur örtlichen Erhöhung der Abstrahlung im Masstab 20:1.

Die Figuren 8, 9 und 10 zeigen bei einer weiteren Variante den geprägten Scheitelbereich in Vorder- und Seitenansicht im Masstab 100:1, sowie einen Querschnitt durch diese Kathode im geprägten Bereich im gleichen Masstab.

Figur 11 schliesslich zeigt, wie sich die Geometrie der in Figur 8 dargestellten Kathode nach 50 Stunden Betriebszeit bei 2900 K geändert hat. Die Umrisslinien des Ausgangszustands sind zum Vergleich ebenfalls eingezeichnet.

Bei der Ausführungsform gemäss Figur 5 wird die örtliche Vergrösserung der abstrahlenden Oberfläche dadurch erreicht, dass im Abstand von etwa 2 mm vom Scheitelpunkt Wolfram-Drahtspiralen 3 von ca. 0,6 mm Länge und 0,4 mm Durchmesser aufgeschoben sind. Um einen festen Sitz zu erreichen werden sie ein wenig flachgepresst. Nach dem Aufheizen der Kathode verbinden sie sich dann mit der Drahtseele durch Diffusions-schweissung und erhalten so den erforderlichen guten Wärmekontakt.

Durch die Vergrösserung der abstrahlenden Oberfläche um ca. 0,7 mm² an dieser Stelle entsteht vom Scheitelpunkt her bei 2900 K ein Temperaturgefälle von ungefähr 230 K; es ist nun etwa doppelt so gross wie vorher.

Figur 6 zeigt dieselbe Kathode am Ende ihrer Lebensdauer nach 48 Stunden Betriebszeit bei einer Scheiteltemperatur von 2900 K. Mit dieser überhöhten Temperatur sollte die Versuchszeit abgekürzt werden. Man ersieht, dass es gelang, die Stelle 5 höchster Temperatur nahe an den Scheitelpunkt zu verschieben und dadurch die Lebensdauer um ein Vielfaches zu erhöhen. Die erreichte

Lebensdauer hätte bei der im normalen Gebrauch üblichen Kathodentemperatur von ca. 2750 K das 6 bis 7-fache, d.h. 300 - 350 Stunden statt 20 - 50 Stunden betragen, vorausgesetzt, dass die Temperatur, bzw. Emission der Kathode konstant gehalten wird.

Bei der Ausführungsform gemäss Figur 7, mit der das gleiche Ziel verfolgt wird, wird die örtliche Erhöhung der Abstrahlung durch Flachpressen des Wolframdrahts erreicht. Dabei ist darauf zu achten, dass eine Mindestdicke des flachgepressten Bereichs 4 nicht unterschritten wird, da sonst die Gefahr besteht, dass die prozentuale Querschnittsverminderung pro Stunde dort grösser wird als am Scheitel und durch übermässige örtliche Widerstandserhöhung der Temperaturgradient allmählich verschwindet. Um trotzdem eine ausreichende Oberflächenvergrösserung zu erreichen, muss der flachgepresste Bereich länger sein als die Drahtspirale im ersten Beispiel. Eine passende Dimensionierung ist z.B. eine Prägung von ca. 1,5 mm Länge mit 0,4 mm Breite. Dies gibt wieder, wie im vorherigen Beispiel eine örtliche Oberflächenvergrösserung von ca. 0,7 mm².

Die Figuren 8 - 11 betreffen eine Ausführung, bei der der Scheitelbereich der Haarnadelkathode in einer Matrize bei einer Temperatur von 300 - 400° C so verformt wurde, dass die beiden Schenkel ein halbkreisförmiges Profil 6, wie es Figur 10 zeigt, erhalten. Die Prägung erfolgt auf eine Länge von 0,3 - 0,5 mm. Die flachen Seiten berühren sich zunächst und würden einen Kurzschluss bilden wenn die Schenkel anschliessend nicht leicht gespreizt würden, so dass ein keilförmiger Spalt 7 von 0 - 30 µm Weite entsteht. Aus diesem schmalen Spalt können die einander gegenüberliegenden Flächen weder nennenswert abstrahlen, noch können erhebliche Materialmengen nach aussen verdampfen. Die Abstrahlungs- und Verdampfungsverluste dieses Kathodenabschnitts werden auf diese Weise um ungefähr 25 % herabgesetzt.

Leider kann diese Konfiguration, wenn der Temperaturgradient nicht gross genug ist, auch nachteilige Konsequenzen haben. Wenn nämlich die Temperatur der einander gegenüberliegenden Flächen verschieden ist, verdickt sich ein Schenkel auf Kosten des anderen und wenn die Temperatur am Übergang zum nicht verformten Teil des Schenkels nicht 20 - 30 K niedriger ist als am Scheitelpunkt, wird dort mehr Material verdampfen als im geprägten Bereich und die Kathode dort durchschmelzen. Ein steiler Temperaturgradient ist deshalb bei dieser Ausführungsart besonders wichtig.

Die Prägung der Schenkel bringt noch einen weiteren wichtigen Vorteil. Es entsteht dann nämlich am Scheitel der Haarnadel ein annähernd halbkugelförmiges Kathodenende 8. Die Folge ist, dass

man anstelle des bisherigen ellipsenförmigen virtuellen Bildes der Emissionsfläche ein kreisrundes erhält, das elektronenoptisch wesentlich günstiger ist. An diese Halbkugel kann, wie es in Figur 8 und 9 gestrichelt eingezeichnet ist, ein Kegel oder eine Pyramide 9 angeschliffen werden, so dass eine Spitzenkathode mit grosser Lebensdauer entsteht. Es trägt sogar zu einer Erhöhung der Lebensdauer bei, wenn die bei der Prägung entstandene relativ grosse Materialansammlung an der Spitze mit ihren grossen Abstrahlungsverlusten auf diese Weise auf das zulässige Mass verkleinert und dadurch der Temperaturgradient in der Nähe der Spitze vergrössert wird.

Figur 11 zeigt, welche Geometrie eine solche Kathode, die mit zusätzlichen Kühlspiralen, wie in Figur 5, versehen ist - jedoch ohne angeschliffene Spitze - nach 50 Stunden Betriebszeit bei 2900 K annimmt. Die Lebensdauer ist nach dieser Zeit noch nicht am Ende und sie würde noch erheblich verlängert, wenn die entstandene Asymmetrie der geprägten Schenkelbereiche durch Anschleifen einer Spitze und Erhöhung des Temperaturgradienten stärker unterdrückt würde.

Wenn die Haarnadelkathode mit genauer Symmetrie hergestellt wird, ist der wesentliche Grund für die entstehende Symmetrie-Abweichung zweifellos der Thomseffekt der ja nun grösser wird, je mehr der Temperaturgradient erhöht wird. Es kann ein weiterer Gewinn an Lebensdauer erzielt werden, wenn die Wirkung dieses Effekts stärker unterdrückt wird. Versuche des Erfinders, bei denen die Stromrichtung periodisch gewechselt wurde, haben dies bewiesen.

Eine geeignete Lösung besteht darin, dass entweder die Schenkellänge absichtlich unterschiedlich ausgeführt, oder dass die Schenkelbereiche mit erhöhter Abstrahlung in verschiedenem Abstand vom Scheitelpunkt angeordnet oder in verschiedener Oberflächengrösse ausgeführt werden. Damit die Geometrie und Stromrichtung einander zugeordnet bleiben, müssten dann die Anschlussstellen der Stromzuführungen am Kathodensockel entweder entsprechend markiert oder unverwechselbar gemacht werden.

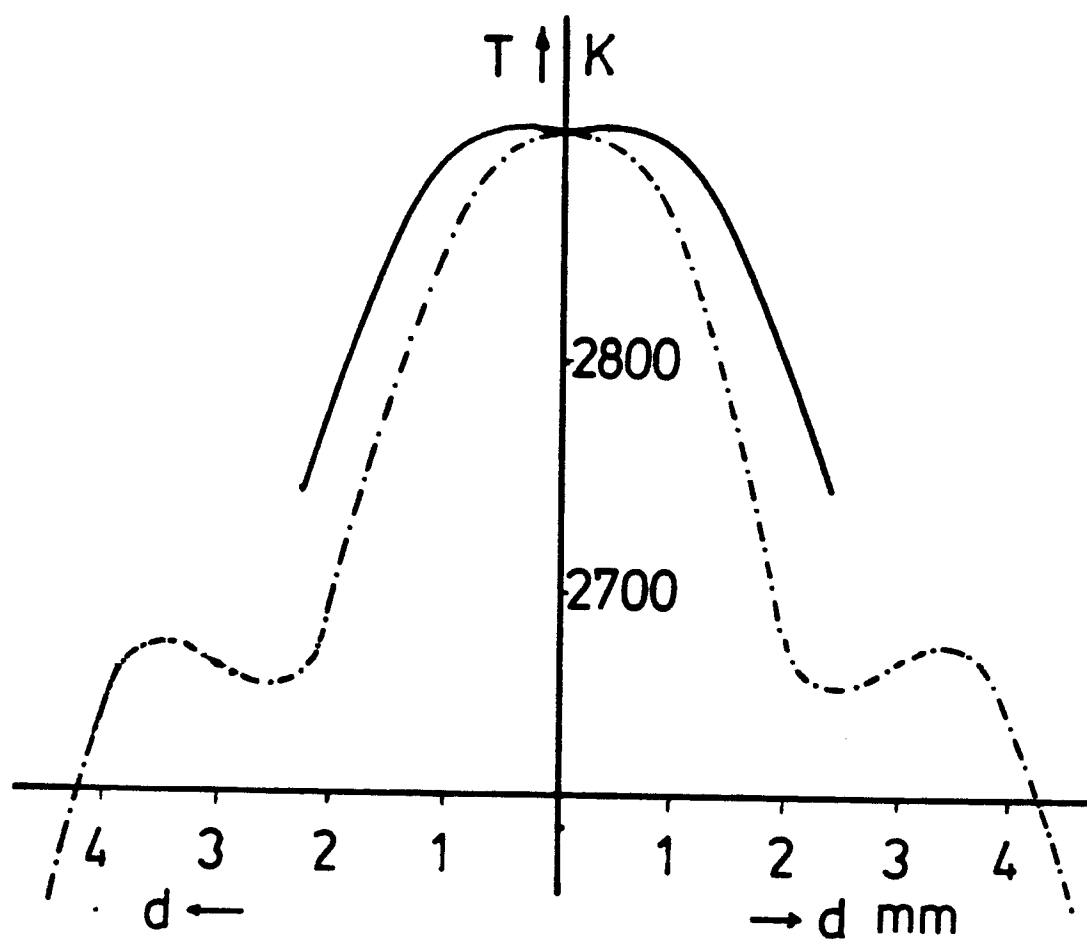
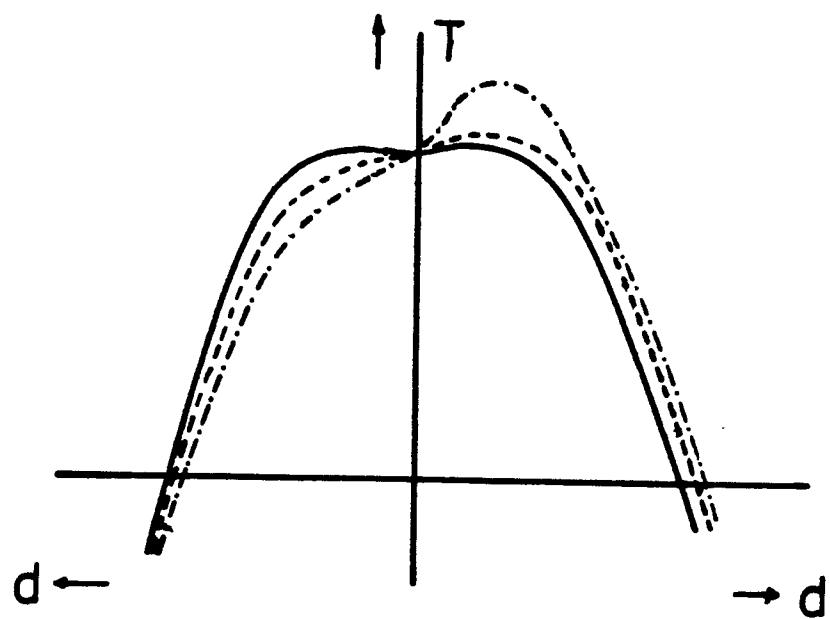
Ansprüche

1. Thermionische Haarnadelkathode mit erhöhter Lebensdauer aus einem hochschmelzenden Metalldraht,
dadurch gekennzeichnet, dass der Temperaturgradient in der Nähe des Scheitelpunktes durch erhöhte Wärmeabfuhr längs der beiden Schenkel ohne Verringerung der Querschnittsfläche des Drahtes erhöht ist.

2. Haarnadelkathode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmeabstrahlung im Abstand von 10 - 50 % der Schenkellänge vom Scheitelpunkt örtlich durch Vergrösserung der Oberfläche ohne Verringerung der Querschnittsfläche des Drahtes vergrössert ist.

3. Haarnadelkathode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Draht in den an den Scheitelpunkt angrenzenden Bereichen der beiden Schenkel des Drahtes so verformt ist, dass er ein halbkreisförmiges Profil aufweist, derart, dass sich die flachen Seiten der beiden Schenkel in möglichst geringem Abstand befinden.

4. Haarnadelkathode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Kompensation des Thomseffektes die Wärmeabfuhr von den beiden Schenkeln der Haarnadel verschieden eingestellt ist.



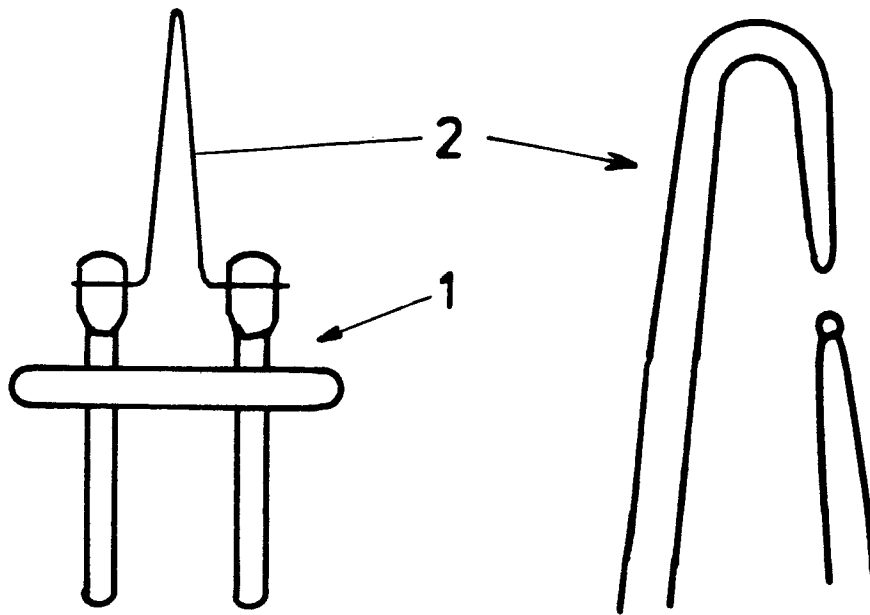


Fig. 3

Fig. 4

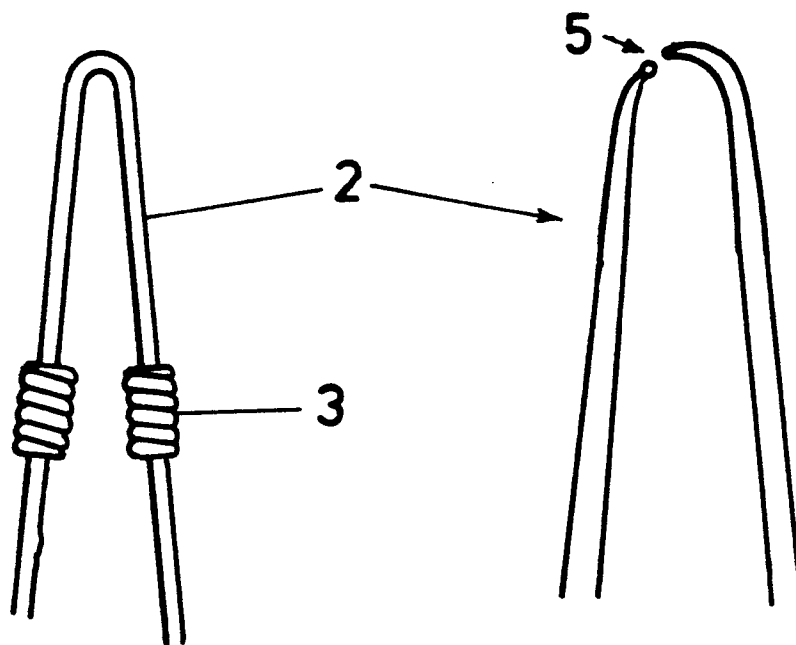


Fig. 5

Fig. 6

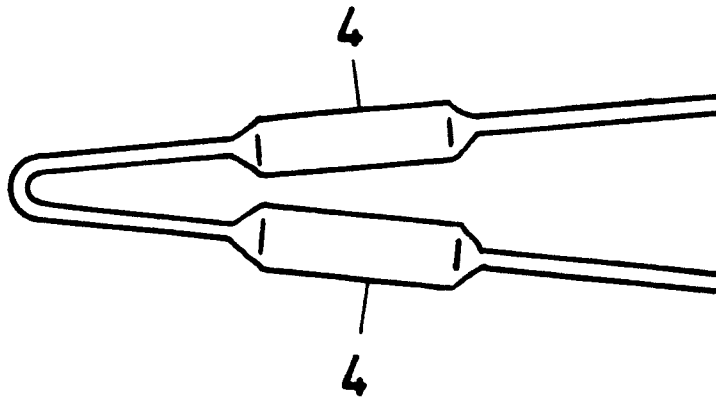


Fig.7

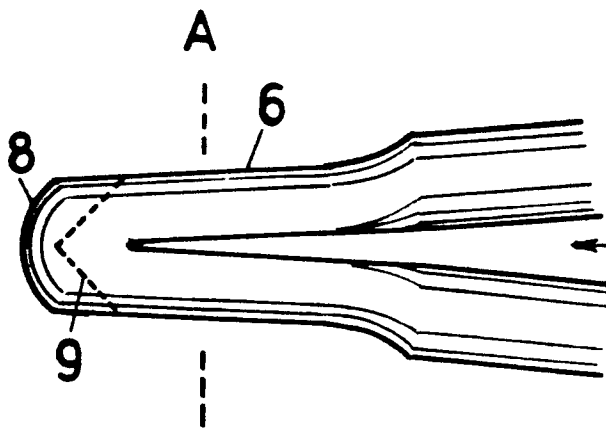


Fig.8

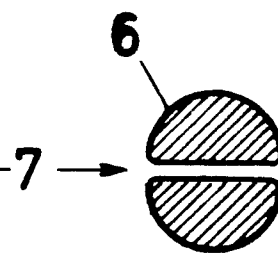


Fig.10

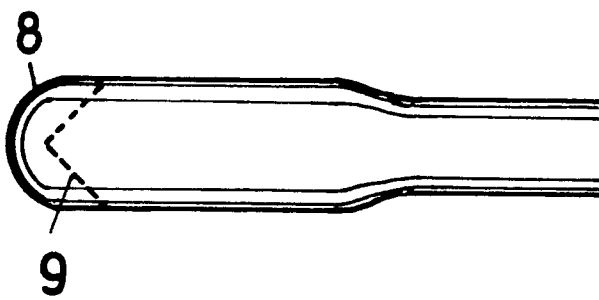


Fig.9

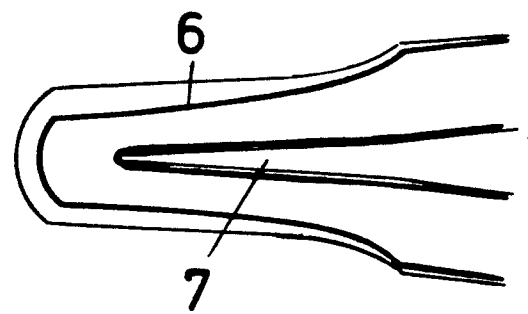


Fig.11