

ÜBER DIE BEDINGUNGEN FÜR EINEN ERFOLGREICHEN GEBRAUCH DER SPITZENKATHODE

SUSUMU MARUSE und KŌICHI HARA

Elektrotechnisches Institut

(Eingegangen am 31. Oktober 1957)

Einleitung

Mittels der Spitzenkathode, die erst von T. Hibi¹⁾ in einem gewöhnlichen Elektronenmikroskop benutzt und später von Y. Sakaki und G. Möllenstedt²⁾ verbessert wurde, kann man Elektronenstrahlen kleiner Apertur und großer Intensität erzeugen. Einer der Verfasser, Maruse hat schon zusammen mit Sakaki in einer anderen Zeitschrift³⁾ einige elektronenoptische Eigenschaften der Spitzenkathode veröffentlicht, aber die Technik zur Herstellung und Benutzung der Kathode ist noch nicht ausführlich beschrieben worden. Unsere Technik beruht im wesentlichen auf der Methode von Sakaki und Möllenstedt, aber vermöge mehrerer geringfügiger technischer Verbesserungen ist es uns gelungen, den erfolgreichen Gebrauch der Spitzenkathode sehr zu vereinfachen. Deshalb werden wir in der vorliegenden Arbeit die verbesserte experimentelle Technik der Spitzenkathode beschreiben.

Herstellung der Spitzenkathoden

Abb. 1 zeigt die Spitzenkathoden, die jetzt in unserem Laboratorium gewöhnlich gebraucht werden. Der in Abb. 1 *a* dargestellte Typ ist ganz der gleiche der art, die Sakaki und Möllenstedt versuchten. Eine geätzte Wolframspitze D_1 wird dort mit einer Drahtschlinge D_2 gehalten; um einen ständigen guten Kontakt der beiden dünnen Drähte infolge ihrer Federwirkung zu bewirken, muß man etwas Übung in der Montierung der Drähte in den Heizdrahthalter haben.

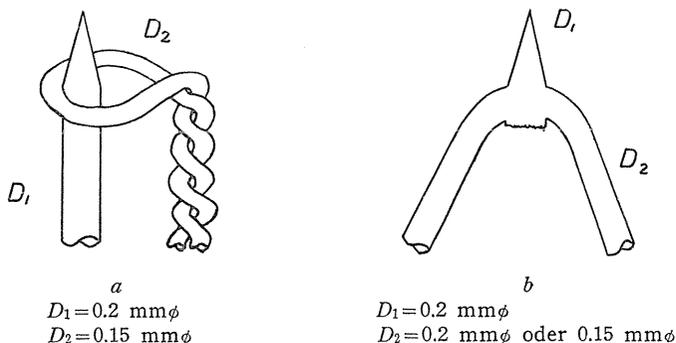


Abb. 1. Spitzenkathoden.

Bei dem anderen Typ, der in Abb. 1 *b* gezeigt wird, schweißen wir einen Wolframdraht D_1 an einen gewöhnlichen haarnadelförmigen Faden D_2 , und dann spitzten wir den Draht D_1 zu. Die Schweißung wird nach der ganz üblichen elektrischen Schweißmethode ausgeführt, und weder besondere Schweißmittel noch Apparate sind dabei nötig. Aber bei der Schweißung muß der Draht D_1 nicht überhitzt wird, weil das Spitzen-Ätzverfahren sonst keinen guten Erfolg haben kann.

Bei diesen beiden Formen der Spitzenkathode muß die Entfernung der Spitze von der Kontaktstelle möglichst kurz sein, damit die Lebensdauer der Kathode nicht durch Überheizung unnötig verkürzt wird. Aber wenn die Entfernung weniger als ungefähr 1.5 mm beträgt, können wir in der Praxis keine Änderung der Lebensdauer feststellen. Bei den beiden Formen ist es leicht, die Entfernung auf weniger als diese Größe zu beschränken, und diese zwei Arten von Spitzenkathoden sind in Bezug auf alle optischen Eigenschaften und die Lebensdauer gleichwertig; darum ist es in der Regel nur einige Geschmackssache, welche Form man gebraucht. Aber falls die Kathode in den Heizdrahthalter durch Schweißung montiert werden muß, ist die in Abb. 1 *b* dargestellte Weise sicher vorzuziehen.

Die Spitze wird nach einem elektrolytischen Ätzverfahren hergestellt, das beinahe das gleiche ist, wie das von Sakaki und Möllenstedt benutzte Verfahren. Anstatt, daß wir das untere Ende des Wolframdrahtes mit einer Feder ziehen, lassen wir das Drahtende mit einem dünnen Leitungsdraht nur in Berührung kommen, wie Abb. 2 *a* zeigt, damit der sehr dünne geätzte Teil des Wolframdrahtes nicht mechanisch abgeschnitten wird. Zum Ätzverfahren kann man entweder eine Batterie von 100 V oder einen Halbwellen-Gleichrichter mit einem passenden Widerstand im Stromkreis benutzen. Dabei muß der Ätzstrom immer auf etwa 10 mA gehalten werden, um die in Abb. 3 *a* gezeigte kegelförmige Spitze herzustellen. Wenn der Strom entweder zu schwach oder zu stark ist, bekommt man ungünstige Formen, die in Abb. 3 *b* und 3 *c* gezeigt werden. Solche Spitze haben zwar einen genügend kleinen Krümmungsdurchmesser, aber sie verbiegen sich oft nach der aufheizung. Andererseits wird die kegelförmige Kathodenspitze niemals während des Betriebes unbrauchbar, sofern keine große Entladung im Elektronenmikroskop ent-

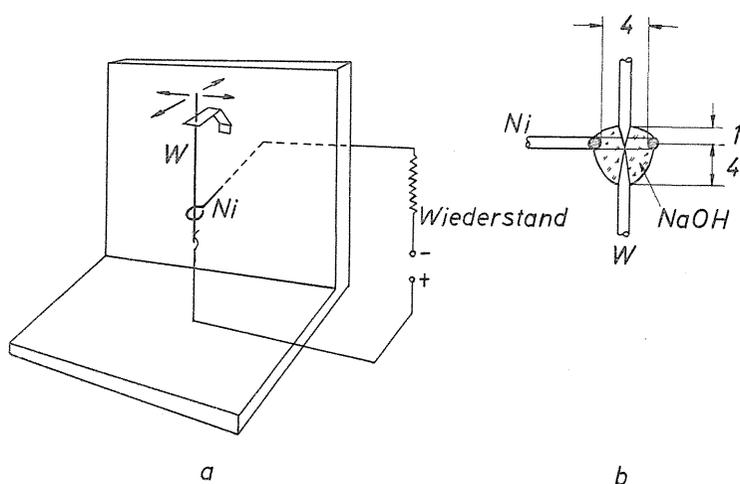


Abb. 2. Spitzen-Ätzverfahren nach Y. Sakaki und G. Möllenstedt.

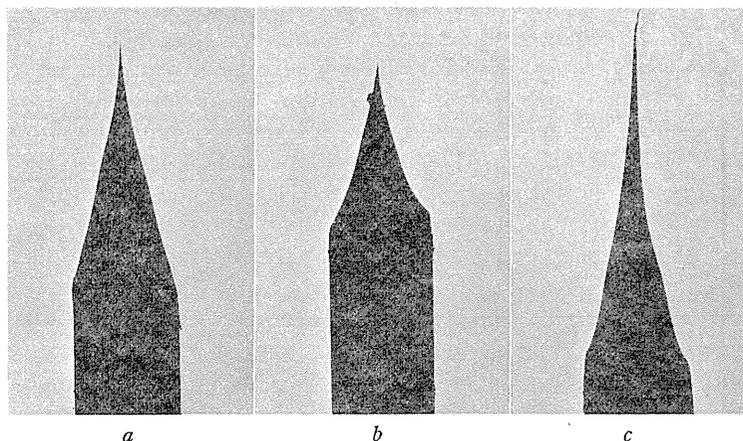


Abb. 3. a) Spitze mit 10 mA Ätzstrom, b) Spitze mit zu schwachem Ätzstrom, c) Spitze mit zu starkem Ätzstrom.

steht. Die Lebensdauer der Kathode wird also nur durch ein Abschneiden des Heizdrahtes bewirkt, wie es auch bei den üblichen Glühkathoden der Fall ist.

Zur Vermehrung der Leistungsfähigkeit beim Ätzverfahren ist die geeignete Form des NaOH-Tropfens ziemlich bedeutend. Wenn der Tropfen zu groß ist, wird die Ätzung zeitraubend lang, andererseits falls er zu klein ist, muß man sehr oft die Lösung erneut gebrauchen. Daher ist eine Tropfenform, wie in Abb. 2 b gezeigt, zu empfehlen, und man kann damit immer eine gleiche Spitzenform bekommen. Die Ätzzeit ist dabei etwa fünf Minuten für einen Draht von 0.2 mm Durchmesser, und währenddessen ist keine Wiederholung von NaOH nötig. Dabei muß der Wolframdraht natürlich zur Ni-Elektrode genau zentriert werden. Wenn man die auf diese Weise hergestellte Spitzenkathode in destilliertes Wasser eintaucht und sie dann in einem Trockenapparat liegen läßt, kann man die Kathode ohne Änderung ihrer Spitze lange aufbewahren.

Montierung der Spitzenkathoden

Die so hergestellte Spitzenkathode wird nach einer lichtmikroskopischen Prüfung in ein Elektronenmikroskop montiert. Die Kathode sichert uns ein erfolgreiches Ergebnis beim gewöhnlichen Gebrauch, wenn die Spitze einen Krümmungsdurchmesser unter etwa ein Mikron hat.

In unserem Laboratorium werden zwei Arten Wehneltzylinder gebraucht, und Abb. 4 zeigt die geometrische Anordnungen der Elektrodensysteme, die bei den bisherigen Versuchen den höchsten Richtstrahlwert gaben. Man bemerkt aber in der Praxis keine Veränderung der elektronenoptischen Eigenschaften, sofern die Änderung der Spitzenlage (l in Abb. 4) kleiner als etwa 0.1 mm ist.

Die Zentrierung der Kathodenspitze zur Bohrung des Wehnelt-Zylinders ist sehr bedeutend, um die Verteilung der emittierenden Elektronen im Strahlenquerschnitt konzentrisch zu machen. Wir zentrieren daher die Spitze mit einer Genauigkeit von 0.1 mm bei der 1 mm Wehnelt-Blende und 0.3 mm bei der 2 mm Wehnelt-Blende. Eine kleinere Abweichung kompensieren wir durch eine passende Justierung

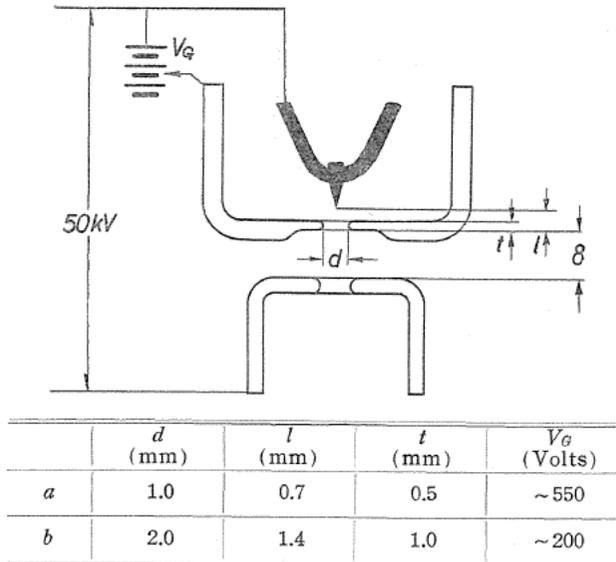


Abb. 4. Spitzenkathode mit Wehneltzylinder und Anode.

der Neigung vom Wehnelt-Zylinder (zusammen mit der Kathode) gegen die Anode. Wenn solche Justierung in einem Elektronenmikroskop nicht gestattet ist, ist die Zentrierung mit einer viel höheren Genauigkeit auszuführen.

Bestimmung der Wehnelt-Steuerspannung

Eine der wichtigsten Dinge bei der Ausübung der Spitzenkathode ist die Einstellung der Wehnelt-Steuerspannung. Abb. 5 zeigt die Strahlenquerschnitte bei verschiedenen Steuerspannungen und schrägt uns eine ausdrückliche Methode zur Regulierung der Steuerspannung vor: nämlich bei zu niedriger Steuerspannung ist der Strahlenquerschnitt immer ringförmig, aber seine Ausdehnung verkleinert sich mit dem Steigen dieser Spannung, und geht erst bei der passenden Spannung in eine kleine Kreisform über (siehe Abb. 5 e). Wenn man die Steuerspannung mehr erhöht, nimmt ihre Intensität ziemlich rasch ab. Um daher die Steuerspannung ohne Schwierigkeit einstellen zu können, braucht man nur einen kleinen Leuchtschirm zur Beobachtung des Strahlenquerschnittes.

Wenn man bei einer so bestimmten Steuerspannung die Temperatur der Kathode etwas erhöht, entsteht wieder ein ringförmiger Strahlenquerschnitt. Wir können zur Zeit die Erscheinung nicht ganz erklären, aber sie kommt sicher teilweise von der Wärmeausdehnung der Spitzenkathode her. Infolgedessen braucht eine Erhöhung der Temperatur der Kathode eine neue optimale Steuerspannung. Je höher die Temperatur wird, einen desto größeren Richtstrahlwert kann man bekommen; aber die Lebensdauer der Kathode wird natürlich um so kürzer.

Bei unseren Versuchen hielten wir den Heizstrom immer auf 6 Amp. für den Draht von 0.2 mm und auf 4 Amp. für den Draht von 0.15 mm, um eine Lebensdauer der Kathode von vier oder fünf Wochen zu erhalten. Wir können mit dieser Erhitzung z.B. im Falle *a* von Abb. 4 einen Richtstrahlwert von etwa 3×10^5 Amp/cm².

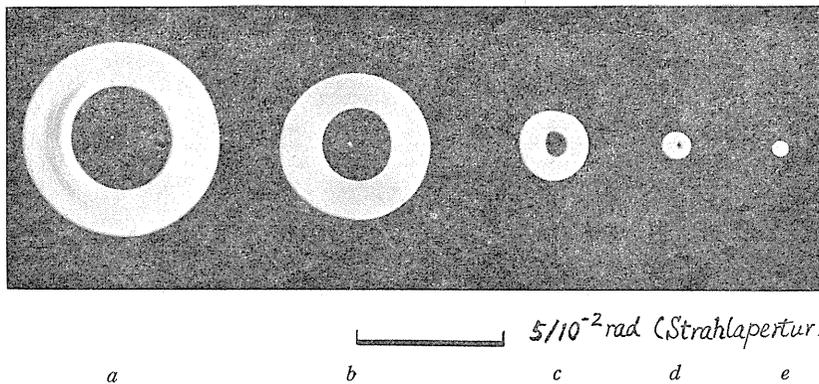


Abb. 5. Strahlendurchschnitte bei verschiedenen Wehnelt-Steuerspannungen:
a) 94 V, *b*) 130 V, *c*) 202 V, *d*) 232 V und *e*) 238 V.

sterad bekommen. Aus dem Richtstrahlwert folgt, daß man 200,000 facher vergrößerte Bilder bei einer Beleuchtungsapertur von 3×10^{-3} rad auf dem Leuchtschirm beobachten kann.

Weil der Gesamtelektronenstrom nur $10 \mu\text{A}$ im Falle *a* von Abb. 4 und $1.6 \mu\text{A}$ im Falle *b* beträgt, ist das sog. Autobias-System wegen der Notwendigkeit des zu hohen Widerstandes nicht vorzuziehen. Wir gebrauchen daher Batterien zur Steuerspannung.

Die Verfasser möchten Herrn Professor Y. Sakaki für die Anleitung herzlichst danken.

Literatur

- 1) T. Hibi: Journ. of Electronmicroscopie, 3, 15 (1955).
- 2) Y. Sakaki u. G. Möllenstedt: Optik, 13, 193 (1956).
- 3) S. Maruse u. Y. Sakaki: Optik, (im Erscheinen).