

Ein zylindrischer Bogen für hohe Leistungen

Von H. MAECKER

Aus dem Forschungslaboratorium der Siemens-Schuckertwerke AG., Erlangen
(Z. Naturforsch. 11 a, 457—459 [1956]; eingegangen am 27. April 1956)

Herrn Professor TREDELENBURG zum 60. Geburtstag gewidmet

Zur Messung der Eigenschaften der Materie bei sehr hohen Temperaturen ist es wünschenswert, einen exakt zylindersymmetrischen Lichtbogen mit hoher Belastbarkeit zu besitzen. Hierfür hat sich bereits das Prinzip der Wandstabilisierung mit Hilfe durchsichtiger Rohre bewährt. Um aber deren geringe Belastbarkeit zu umgehen, wird hier eine Bogenanordnung beschrieben, bei der das Rohr von durchbohrten Cu-Platten gebildet wird. Diese Platten sind isoliert gegeneinander zu einer Säule zusammengesetzt und werden innerlich durch einen Wasserstrom gekühlt. In diesem Rohr brennt der Bogen völlig ruhig und kann mit Leistungen bis zu 10 kW pro cm Bogenlänge belastet werden.

Untersuchungen am frei brennenden Lichtbogen zeigen, daß die dort ablaufenden, physikalischen Vorgänge außerordentlich verwickelt sind, weil alle Größen nicht nur vom Radius r , sondern auch von der Höhe z abhängen¹. Besonders die Strömung, die bei Niederstrombögen durch den Auftrieb, bei Hochstrombögen durch eigenmagnetische Kompression an Engstellen² erzeugt wird, ist die Ursache für die Abweichung freier Bögen von der Zylindersymmetrie. Soll nun aber ein Bogen nicht selbst Objekt einer Untersuchung sein, sondern nur als Mittel zur Messung von Eigenschaften der Materie bei hohen Temperaturen verwendet werden (elektrische Leitfähigkeit, thermische Leitfähigkeit, Übergangswahrscheinlichkeiten von Spektrallinien usw.), dann ist eine geometrisch möglichst einfache Bogenform, nämlich die der Zylindersymmetrie erstrebenswert, denn man kann dann bei *side on*-Beobachtung nach Umrechnung mit der ABELschen Integralgleichung auf die Verhältnisse bei jedem Radius rückschließen, oder bei *end on*-Beobachtung direkt die für jeden Radius homogene Schicht zur Messung ausnutzen. Es hat daher nicht an Bemühungen gefehlt, zylindersymmetrische Bögen zu verwirklichen.

Die einfachste und sicherste Methode ist natürlich die Wandstabilisierung, bei der der Bogen in einem möglichst langen und hinreichend engen Rohr brennt. Dieses Rohr muß aus durchsichtigem und vor allem isolierendem Material bestehen, das aber

gerade wegen dieser Eigenschaften immer eine schlechte Wärmeleitfähigkeit besitzt und daher nur begrenzte Belastungen von einigen hundert Watt pro cm Säulenlänge verträgt. Bei Verwendung einer äußeren Wasserkühlung läßt sich diese Grenze auf etwa 1000 W/cm hinaufschieben. Um die Belastbarkeit zylindrischer Bögen weiter zu erhöhen, sind zwei Wege beschritten worden: Man wählt entweder ein verhältnismäßig weites Rohr, bei dem die spezifische Wandbelastung kleiner ist, und wirkt dem störenden Auftrieb durch Rotation des Rohres entgegen (Wälzbogen von v. ENGEL und STEENBECK³), oder man kühlt schon im Rohrinnen durch eine Wirbelströmung des Fluidums, das tangential zum Rohrumfang eingeführt wird. Je nach Bedarf kann man hierfür ein Gas (SCHÖNHERR⁴) oder eine Flüssigkeit (GERDIEN⁵, MAECKER⁶) verwenden. Speziell bei dem mit Wasser beschickten GERDIEN-Bogen läßt sich die Leistung bis auf fast 500 kW/cm und die Achsentemperatur auf 50 000° K hinauftreiben⁷. Nun haben aber Untersuchungen von SCHENK⁸ und von BOGEN⁹ gezeigt, daß die wirbelstabilisierten Bögen, in geringerem Maße aber auch die Wälzbögen, eine gewisse Unruhe in ihrer Lage im Rohr zeigen, die ihre Eignung für genaue Messungen in Frage stellt. Man würde deswegen gern zum ruhenden, wandstabilisierten Bogen zurückkehren, wenn es nur möglich wäre, die Belastung so hoch zu treiben, daß die Achsentemperatur und damit der Ionisationsgrad

¹ H. MAECKER u. Th. PETERS, Z. Phys. **144**, 596 [1956].

² H. MAECKER, Z. Phys. **141**, 198 [1955].

³ A. v. ENGEL u. M. STEENBECK, Elektrische Gasentladungen, Springer-Verlag, Berlin 1932.

⁴ O. SCHÖNHERR, Elektrotechn. Z. **30**, 365 [1909].

⁵ H. GERDIEN u. A. LOTZ, Wiss. Veröff. Siemens-Konzern **2**, 289 [1922].

⁶ H. MAECKER, Z. Phys. **129**, 108 [1951].

⁷ F. BURHORN, H. MAECKER u. Th. PETERS, Z. Phys. **131**, 28 [1951].

⁸ H. MAECKER, Th. PETERS u. H. SCHENK, Z. Phys. **140**, 119 [1955].

⁹ H. BOGEN, Dipl.-Arbeit Univ. Kiel.

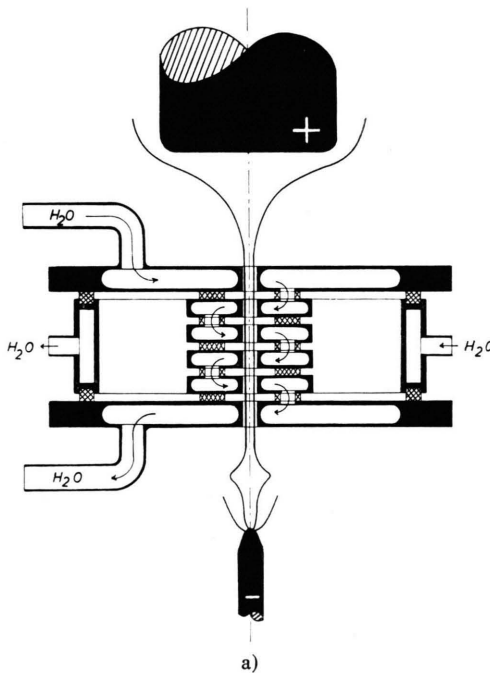


ausreicht, um typische Plasmaeigenschaften untersuchen zu können.

Für diese Zwecke müssen an das Rohr die beiden zunächst widersprechenden Forderungen gestellt werden, daß es die Wärme gut ableiten soll, weswegen man beispielsweise Kupfer wählen würde, aber doch isolieren soll, damit der Bogen nicht am Rohr ansetzt. Beide Forderungen lassen sich durch eine Anordnung befriedigen, bei der eine Anzahl von zentral durchbohrten und gekühlten Kupferplatten gegeneinander isoliert zu einer Säule zusammengesetzt werden. Die zentralen Bohrungen bilden dann das Rohr für den Bogen, das nun denkbar gut wärmeleitend ist und trotzdem wegen des kaskadenartigen Aufbaues nicht elektrisch leitend ist. Bei früheren Versuchen mit derartigen Cu-Platten^{2, 10} hat sich ergeben, daß durch eine Bohrung von 2,5 mm Durchmesser bis zu 150 A geschickt werden können, was bei einer geschätzten Feldstärke von 70 V/cm einer

für Hochstrombögen in verschiedenen Gasen¹⁰ entwickelt worden:

Zwei wassergekühlte Cu-Platten von 80 mm Durchmesser, 4,5 mm Dicke und einer zentralen Bohrung von 3 mm Durchmesser sind durch einen ebenfalls gekühlten, weiten Abstandsring von 20 mm Höhe zu einer zylindrischen Kammer vereinigt. In der Umgebung der Kammerachse ist nun eine Reihe weiterer gekühlter Cu-Platten mit der gleichen zentralen Bohrung und von gleicher Stärke, aber mit kleinerem Außendurchmesser isoliert gegeneinander eingefügt, so daß alle Platten zusammen ein Rohr von 30 mm Länge und 3 mm Durchmesser bilden. Die Wasserkühlung läuft mäanderbandartig nacheinander durch das Innere aller Platten und durch die zugehörigen Isolierdichtungen hindurch. Die Beobachtung des Bogens, der durch einen dünnen Cu-Draht in der Achse der Anordnung gezündet wird, kann durch ein Fenster im äußeren Kühlring und durch die von den Gummidichtungsplättchen gebildeten Schlitze zwischen den einzelnen Cu-Platten geschehen. Bei geringeren oder kurzzeitigen Belastungen kann man natürlich auf die Wasserkühlung verzichten und die Wärmekapazität der Platten zur Aufnahme des radialen Energiestromes ausnutzen.



b)

Abb. 1. Sechs wassergekühlte Cu-Platten von je 4,5 mm Dicke und einer zentralen Bohrung von 3 mm ϕ sind durch Isolierdichtungen getrennt, zu einem hoch belastbaren Rohr zusammengesetzt, in dem Bogen bis 10 kW pro cm Bogenlänge brennen können. Der äußere Kühlring vereinigt obere und untere Platte zu einer Kammer, die auch mit Fremdgasen beschickt werden kann. Rechts das Bild des Bogens in Luft bei 100 A.

Leistung von rund 10 kW pro cm Säulenlänge entspricht.

Eine Ausführungsform, die sich bereits bewährt hat, ist in Abb. 1 a schematisch dargestellt, sie ist aus der schon früher beschriebenen Brennkammer

Abb. 1 b zeigt das Bild eines mit 100 A brennenden Bogens in Luft. Der Bogen zeichnet sich durch seine absolute Stabilität aus, die auch dann nicht be-

¹⁰ H. MAECKER, Z. Naturforschg. **11 a**, 32 [1956].

einträchtigt wird, wenn in den Außenteilen des Bogens erhebliche Unruhe herrscht. Von den Elektroden stammende Verunreinigungen schlagen sich, soweit sie im Normalzustand fest oder flüssig sind, auf den äußeren Cu-Platten nieder. Das Hineindiffundieren von Gasen hält sich nach den bisherigen Erfahrungen in vernachlässigbaren Grenzen. Man kann die Kammer durch eine geeignete Zuführung mit Gas jeder Art beschicken, für den Moment der Aufnahme wird man die Gaszufuhr zweckmäßigerweise unterbrechen. Die Feldstärkenmessung ist bei diesem Bogen besonders einfach, weil man die beiden äußeren Platten als Sonden verwenden kann. Die Differenz der Spannungsabfälle dieser Platten gegen die Kathode, geteilt durch den Abstand der Plattenmitten, ergibt direkt die Feldstärke. Nach den

Ähnlichkeitsgesetzen für zylindrische Bögen ist ein größerer Rohrdurchmesser günstiger für die Belastbarkeit, denn da bei gleicher Achsentemperatur auch die gleiche Leistung unabhängig vom Durchmesser umgesetzt wird, ist die spezifische Flächenbelastung der Rohrwand in dem Maße kleiner, wie der Durchmesser wächst. In diesem Falle steigt die Stromstärke und sinkt die Feldstärke proportional mit dem Durchmesser. Die letzte Beziehung ist außerdem noch vorteilhaft für die Einstellung des thermischen Gleichgewichtes, dessen Abweichung bekanntlich mit dem Quadrat der Feldstärke abnimmt.

Mit Hilfe dieses Bogens werden z. Zt. Messungen des Querschnittes von Fluoratomen gegenüber Elektronenstoß durchgeführt, über die später berichtet werden soll.

Spektralanalytische Untersuchungen der Ausgangssubstanzen für halbleitende A^{III}B^V-Verbindungen

Von E. GOLLING

Aus dem Forschungslaboratorium der Siemens-Schuckertwerke AG., Erlangen
(Z. Naturforschg. 11 a, 459—463 [1956]; eingegangen am 5. April 1956)

Herrn Professor TREDELENBURG zum 60. Geburtstag gewidmet

Aus den mitgeteilten Nachweisempfindlichkeiten ist zu entnehmen, daß die während des Reinigungsprozesses auftretenden Konzentrationen der Verunreinigungen meist bis in den Bereich von 10^{-2} bis 10^{-4} % quantitativ erfaßbar sind. Qualitativ können ohne Änderung der Anregungsbedingungen noch um den Faktor 5 kleinere Konzentrationen festgestellt werden. Die Analysengenauigkeit liegt innerhalb des Fehlerfaktors 2 ± 1 .

Die Halbleiterphysik mit ihren extremen Anforderungen an die Reinheit der zur Verarbeitung kommenden Substanzen stellt an die chemischen und physikalischen Analysenverfahren häufig sehr schwer zu lösende Aufgaben¹. Zur Untersuchung stehen dabei meist nur Bruchteile von Gramm zur Verfügung, so daß die in der Spektralanalyse für Routine-Untersuchungen an Eisen, Eisenlegierungen, Messing, Aluminium usw. benutzten Verfahren praktisch ausscheiden, da es nur selten möglich ist, die dazu notwendigen Elektrodenprofile herzustellen. Außerdem ist die dabei benutzte Anregung mit dem Hochspannungsfunken oder Wechselstrombogen für viele Elemente zu wenig empfindlich.

Als brauchbare Anregungsart für diese Untersuchungen hat sich der Gleichstromkohlebogen er-

wiesen, der neben einer allgemein sehr hohen Nachweisempfindlichkeit für etwa 40 Elemente die Möglichkeit bietet, mit Substanzmengen von 10 mg und weniger auszukommen. Der Analyse stellen sich dabei zwei ihrer Natur nach sehr verschiedene Aufgaben:

1. Die qualitative und quantitative Analyse von Substanzen während des chemischen Reinigungsprozesses, wobei die Proben nicht nur in metallischer Form, sondern auch als chemische Verbindung anfallen können. Hierbei kann die Spektralanalyse wertvolle Aufschlüsse über den Reinigungsvorgang liefern, da es sich vielfach um Konzentrationen oberhalb der kritischen 10^{-4} %-Grenze handelt.

2. Die Analyse von halbleitenden Endprodukten, wobei fast durchweg nur Verunreinigungen $< 10^{-4}$ % vorkommen und nur noch in Einzelfällen eindeutige Aussagen mit spektralanalytischen Ver-

¹ F. TREDELENBURG, Angew. Chem. 66, 520 [1954].