

Photozellen mit Sekundärelektronenvervielfachern

Autor(en): **Schaetti, N.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **23 (1950)**

Heft I-II

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-112097>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Photozellen mit Sekundärelektronenvervielfachern.

von N. Schaetti.

(16. XI. 1949.)

In den letzten Jahren hat die Verwendung der Erscheinung der Sekundärelektronenemission zur Verstärkung kleinster Photoströme ausserordentlich an Bedeutung gewonnen. Ursprünglich für die Fernsehtechnik entwickelt, haben die Sekundärelektronenvervielfacher auch auf anderen Gebieten wichtige Anwendungsmöglichkeiten gefunden.

Die grossen Vorteile der Anwendung der Sekundärelektronenvervielfacher zur Verstärkung kleinster Photoströme liegen im günstigen Verhältnis von Nutz- zu Störsignal und in ihrer Frequenzunabhängigkeit über eine sehr grosse Frequenzbreite bis zu einigen Megahertz. Bei normaler Verstärkung ist das Störsignal, abgesehen vom Rauschen der Zelle selbst, durch die äusseren Schaltungselemente gegeben und damit unabhängig von der Grösse des Signales selbst. Es tritt somit bei kleinen Signalen besonders störend hervor. Bei Verstärkung durch Sekundärelektronenemission ist der Störstrom proportional der Wurzel aus dem Signalstrom, nimmt also mit sinkendem Signal ab.

Bei der Verstärkung mit Sekundärelektronenemission wird das ursprüngliche Störsignal durch eine neue Störquelle etwas verstärkt: durch die Schwankung der pro Primärelektron ausgelösten Zahl von Sekundärelektronen. In erster Näherung beträgt die Erhöhung des Störsignales $\sqrt{\frac{n}{n-1}}$, wo n der Sekundäremissionsfaktor der verwendeten Schicht bedeutet. Für eine Stufenverstärkung von $n = 4$ ist somit die Erhöhung des Störsignales 15%.

Im folgenden soll über die Erfahrungen bei der Herstellung und der Anwendung von Photozellen mit Sekundärelektronenvervielfachern berichtet werden. Dabei sollen folgende Probleme behandelt werden:

1. Die Photokathoden: Herstellung und Eigenschaften;
2. Die Schichten hoher Sekundärelektronenemission und ihre Herstellung.

1. Die Photokathoden, ihre Eigenschaften und Herstellung.

In Verbindung mit Sekundärelektronenvervielfachern werden in erster Linie die hochempfindlichen Schicht- und Legierungskathoden verwendet.

A. *Schichtkathoden*. Ihr Hauptvertreter ist die rot- und infrarotempfindliche [Ag]-Cs₂O, Ag-Cs, Kathode; sie besteht aus drei aufeinander aufgebauten Schichten: das Trägermetall Silber, eine Zwischenschicht Caesiumoxyd mit eingelagertem Silber und zuletzt eine dünne Schicht (monoatomar) Caesium mit aufgedampftem Silber.

Je nach Dicke der Trägerschicht kann diese Kathode undurchsichtig oder durchsichtig sein. Sie ist somit als Aufsichtszelle oder als Durchsichtszelle verwendbar. Die Formierungsverfahren sind für beide Fälle etwas voneinander verschieden.

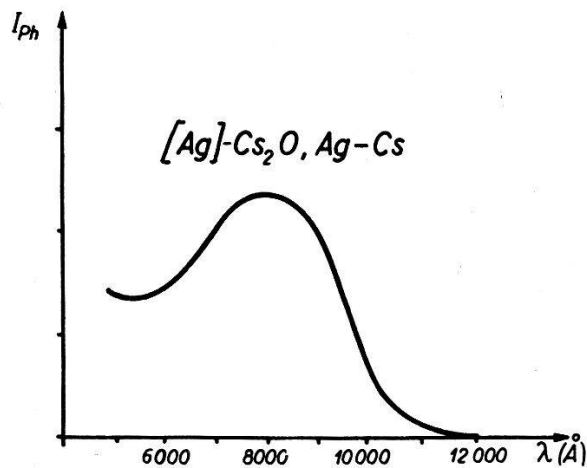


Fig. 1.

Spektrale Empfindlichkeitsverteilung für Schichtkathode [Ag]-Cs₂O, Ag-Cs.

Im Prinzip umfasst das Formierungsverfahren für Durchsichtskathoden folgende Operationen: Von einer Verdampfungsquelle aus wird Silber auf die Glaswand des Vervielfachers aufgedampft. In einer Sauerstoffatmosphäre von einigen Zehntel-Millimetern Hg wird die Silberoberfläche durch Glimmentladung oxydiert. Darauf wird aus einem seitlichen Ansatz Caesium in die Vervielfacherröhre eingetrieben, wobei die Röhre auf 70–100° C aufgeheizt ist. Das Caesium reduziert das Silberoxyd, es wird Caesiumoxyd gebildet, in welchem sich feinverteiltes Silber befindet. Auf diese Schicht wird eine monoatomare Cs-Schicht aufgebaut. Die Empfindlichkeit der Photokathode kann im allgemeinen durch nochmaliges Nachdampfen von Silber je nach Schichtdicke um einen Faktor 2–3 erhöht werden.

Fig. 1 gibt die spektrale Empfindlichkeitsverteilung einer nach unserem Formierungsverfahren erzeugten Durchsichtskathode wieder. Weitere Daten sind in der Tabelle am Schlusse dieses Abschnittes zusammengestellt.

B. *Legierungskathoden*. Diese Kathoden sind von P. GÖRLICH¹⁾ in Dresden entwickelt worden. Ihre wichtigsten Vertreter sind: Antimon-Caesium, (Antimon-Silber)-Caesium, Wismuth-Caesium, Antimon-Wismuth-Caesium und Antimon-Lithium.

Wie die Bezeichnung schon ausdrückt, wird bei diesen Photokathoden die lichtempfindliche Schicht durch die Legierung der beiden Metalle erhalten. Der Aufbau ist somit einfacher als bei den Schichtkathoden.

Die beiden erwähnten Metalle Antimon und Wismuth können ersetzt werden durch Arsen, Blei oder Thallium. Als zweite Legie-

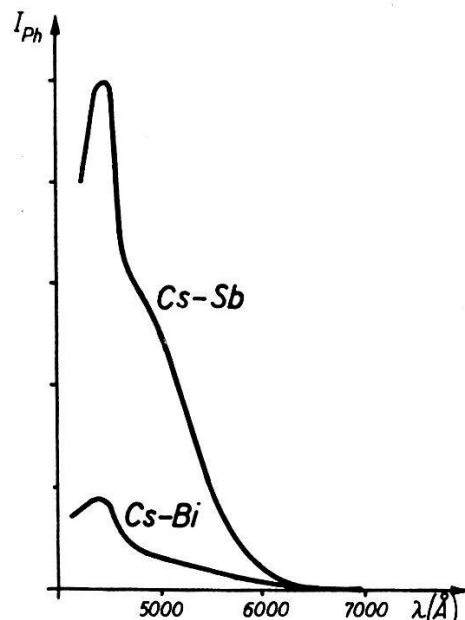


Fig. 2.

Spektrale Empfindlichkeitsverteilung für Kathoden Sb-Cs; Bi-Cs.

rungskomponente können auch die übrigen Alkalimetalle verwendet werden: Rubidium, Natrium oder Kalium. Die Ausbeuten dieser Legierungen sind jedoch sehr gering, und sie finden daher keine Anwendung.

Antimon-Caesium-Kathode. Es ist die empfindlichste der heute bekannten Photokathoden. Sie hat ihre höchste Ausbeute im violetten bis grünen Spektralbereich, aber nur sehr geringe Ausbeute für rotes Licht.

Formierungsverfahren: Es ist für alle Legierungszellen gleich und bedeutend einfacher als dasjenige für Schichtkathoden. Es wird aus

einer Verdampfungsquelle ein dünner Belag von Antimon auf die Glaswand des Vervielfachers aufgedampft. Mit einem Bunsenbrenner wird sodann aus einem seitlichen Ansatz Caesium in die Vervielfacherröhre eingetrieben und mit dem Antimonspiegel legiert. Es entsteht dabei ein in Durchsicht roter Belag. Aus der Färbung der Kathode kann bereits auf den Grad der Formierung geschlossen werden. Die Legierungsbildung wird durch ein Aufheizen der Zelle auf 200–250° C intensiviert.

Nach dieser Formierungsmethode werden Photokathoden von 40–100 $\mu\text{A}/\text{Lumen}$ Empfindlichkeit erreicht (gemessen mit W-Lampe von $T = 2360\text{ K}$). Fig. 2 gibt die Empfindlichkeitskurve in Funktion der Lichtwellenlänge wieder, Tabelle 1 die übrigen Daten dieser Photokathoden.

(Antimon-Silber)-Caesium-Kathode: Der Oberflächenwiderstand der Legierungskathoden ist sehr gross. Messungen, die im Zusammenhang mit Untersuchungen bei der Herstellung eines Bildzerlegers gemacht wurden, haben ergeben, dass dieser in der Grössenordnung von 5000 Ohm liegt²⁾. Für viele Anwendungen ist dies störend, indem bei stärkerer Belichtung ein bedeutendes Spannungsgefälle längs der Kathodenoberfläche entsteht, das die Elektronenoptik beeinträchtigt. Man ist daher gezwungen, die Sb-Cs-Kathode auf einer leitenden Unterlage herzustellen oder bei Durchsichtszellen, diese von einem gut leitenden Belag zu umgeben. Dies lässt sich vermeiden, wenn an Stelle des reinen Antimons als erste Legierungskomponente eine Legierung von Silber und Antimon aufgedampft wird. Versuche sind bei uns mit einer Legierung von 50% Silber und 50% Antimon durchgeführt worden. Der Zellenwiderstand wird dadurch auf 2% des Wertes für reines Antimon reduziert. Gleichzeitig steigt auch die Rotempfindlichkeit der Kathode.

Mehrschicht-Kathoden. Die Untersuchungen an Legierungszellen, insbesondere an Sb-Cs-Zellen haben ergeben, dass sie um so empfindlicher sind, je dünner sie hergestellt sind. Wird eine Legierungszelle mit dicker, undurchsichtiger Antimonschicht hergestellt und diese sodann mit dem Caesium legiert, so erreicht eine solche Aufsichtskathode eine Empfindlichkeit von 10–20 $\mu\text{A}/\text{Lumen}$. Diese Erscheinung ist bereits auch von GÖRLICH mitgeteilt worden, und seine Versuche zeigten, dass diese Erscheinung auf eine ungenügende Nachlieferung von Elektronen durch die dicke Legierungsschicht zurückzuführen ist.

Dicke Legierungszellen, die schichtweise aufgebaut werden, von uns Mehrschichtkathoden benannt, zeigen ein anderes Verhalten, indem sie empfindlicher sind als die normalen Legierungszellen.

Das Herstellungsverfahren ist das folgende: Es wird eine dünne Legierungszelle, z. B. Sb-Cs, hergestellt und durch thermische Behandlung auf die maximale Ausbeute gebracht. Auf diese Zelle wird wiederum eine dünne Schicht Antimon aufgedampft, mit Cs legiert und der Wärmebehandlung unterzogen. Dieses Verfahren wird 3–4mal wiederholt, und auf diese Weise gewinnt man eine undurchsichtige Legierungskathode, deren Ausbeute in der Regel bedeutend höher ist als diejenige der einfachen Durchsichtszelle. Die nach diesem Verfahren erzielte höchste Zellenempfindlichkeit beträgt $180 \mu\text{A}/\text{Lumen}$.

Das Verfahren der Mehrschichtkathoden erlaubt ebenfalls die Kombination verschiedener, Metalle wie Antimon und Wismuth.

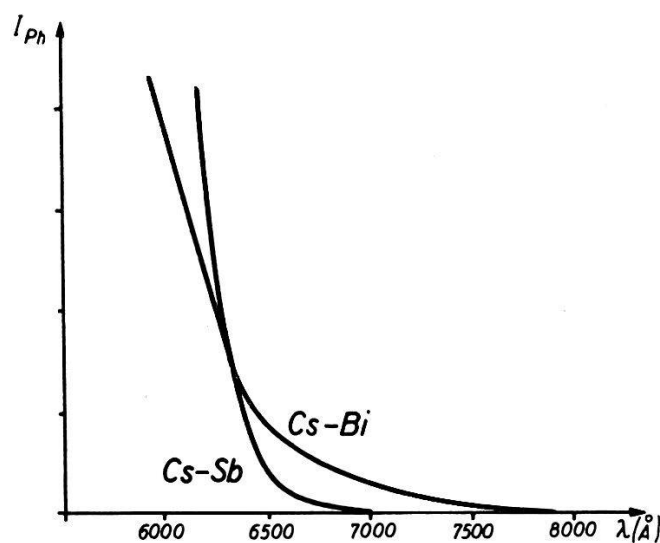


Fig. 3.

Spektrale Empfindlichkeitsverteilung für Kathoden Sb-Cs; Bi-Cs.

Wismuth-Caesium-Kathode. Wird Antimon durch Wismuth ersetzt, so erhält man eine Kathode mit etwas verschiedener spektraler Ausbeuteverteilung. Sie ist insbesondere mehr rotempfindlich. Die erreichbaren Empfindlichkeiten solcher Zellen sind kleiner als bei den Sb-Zellen; sie betragen $5\text{--}10 \mu\text{A}/\text{Lumen}$. Sie können jedoch mit Sauerstoff sensibilisiert werden, was eine Erhöhung der Ausbeute bewirkt und zugleich ein Hinausschieben der langwelligen Grenze. Diese Sensibilisation besteht in einer Glimmentladung in einer reinen Sauerstoffatmosphäre von einigen Zehntel-Millimetern Druck nach dem Aufdampfen der ersten Legierungskomponente. Auf diese Weise erhält man Zellenempfindlichkeiten von $15\text{--}25 \mu\text{A}/\text{Lumen}$. In Fig. 2 ist ebenfalls die spektrale Empfindlichkeitsverteilung einer mit O_2 sensibilisierten Bi-Cs Kathode wiedergegeben. Fig. 3 zeigt ins-

besondere den Verlauf der spektralen Empfindlichkeitskurven für Sb-Cs und Bi-Cs (mit O₂ sensibilisiert) im langwelligen Spektralbereich.

Antimon-Caesium-Wismuth-Caesium-Kathode. Die Kombination der beiden Metalle Bi und Sb führt zu Kathoden mit der grossen Ausbeute der Sb-Cs-Zelle im blauen Spektralbereich, verbunden mit einer erhöhten Rotempfindlichkeit. Für solche Zellen sind Empfindlichkeiten bis zu 100 $\mu\text{A}/\text{Lumen}$ erreicht worden.

Antimon-Lithium-Kathode. Die Ausbeuten der Legierungszellen fallen mit abnehmendem Atomgewicht des zur Herstellung verwendeten Alkalimetalles. Eine Ausnahme bildet das leichteste Alkalimetall Lithium, das dieselbe Ausbeute ergibt wie Rubidium. Der grosse Vorteil dieser Kathode aber ist eine sehr kleine thermische Emission.

Herstellungsverfahren: Es ist nicht so einfach wie bei den übrigen Alkalimetallen, wegen der hohen Schmelz- und Siedepunkte des Li. Sodann greift Li das Glas sehr stark an, so dass ein Überdestillieren von einem seitlichen Ansatz in die Röhre nicht durchgeführt werden kann. Für die Herstellung dieser Kathoden muss ein Verfahren angewandt werden, analog demjenigen von IVES und OLPIN³).

Zum Abschluss dieses Abschnittes führen wir in Tabelle 1 die Daten der verschiedenen Kathoden an. Die Ausbeuten sind mit einer Tonfilmlampe bei einer Fadentemperatur des W-Fadens von $T = 2360^\circ \text{K}$ gemessen.

Tabelle 1.

Zusammenstellung der Daten von Durchsichtphotokathoden.

Schicht	Lage des Empf.-Max. °A	Lage der langw. Grenze °A	W-Lampe $T = 2360^\circ \text{K}$	
			mittl. Empf. $\mu\text{A}/\text{Lumen}$	max. Empf. $\mu\text{A}/\text{Lumen}$
<i>Legierungskathoden:</i>				
Sb—Cs	4500	7000	40—100	120
Sb—Cs Mehrschicht	4500	7000	50—120	180
Sb—Ag—Cs			60	
Sb—Cs=Bi—Cs	4500	8000	40—80	100
Bi—Cs	4300	7500	5—10	
Bi—Cs mit O ₂ sensibilisiert	4600	8000	10—25	30
Sb—Rb	4400		20	25
Sb—Rb Mehrschicht	4400		30—40	50
<i>Schichtkathoden:</i>				
Ag—Cs ₂ O, Ag—Cs	7500—8000	11—13000	20—30	

2. Die Schichten hoher Sekundärelektronenemission und ihre Herstellung.

Für die Herstellung von Sekundärelektronenvervielfachern werden Schichten benötigt, die bei möglichst niedrigen Beschleunigungsspannungen der primären Elektronen eine möglichst hohe Sekundärelektronenausbeute aufweisen.

Solche Schichten sind die Photokathoden $[\text{Ag}]-\text{Cs}_2\text{O}$, $\text{Ag}-\text{Cs}$ und $\text{Sb}-\text{Cs}$. Die ersten Vervielfacher sind ausnahmslos mit der erstgenannten Schicht hergestellt worden.

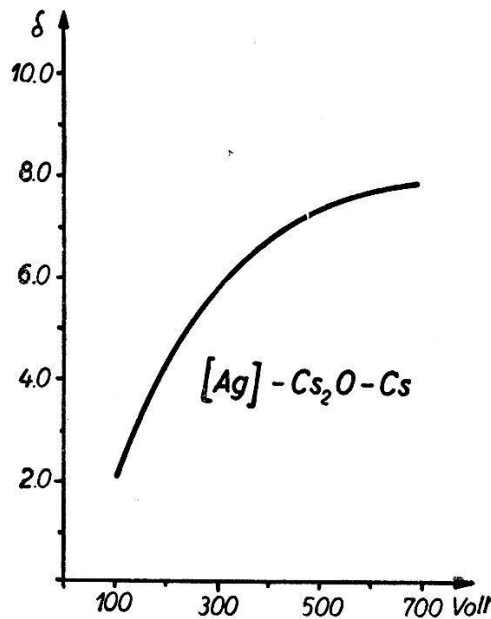


Fig. 4.

SE-Ausbeute von $[\text{Ag}]\text{Cs}_2\text{O}-\text{Cs}$.

Die erreichten Ausbeuten waren sehr gut. Fig. 4 gibt die Vervielfachung einer solchen Schichtkathode ($\delta =$ Zahl der Sekundärelektronen pro einfallendes Primärelektron) in Funktion der Beschleunigungsspannung der primären Elektronen wieder. Dabei handelt es sich um Werte, die an einer Prallplatte eines 8—10stufigen Vervielfachers gemessen worden sind.

Neben der guten Ausbeute zeigten aber diese Schichten einige Nachteile:

1. Der Formierungsprozess der Vervielfacher war schwierig, da gleichzeitig in derselben Röhre 6—12 Prallplatten und die Photokathode auf gute Ausbeute gebracht werden mussten. Dabei konnten nur Mittelwerte erreicht werden und nicht für alle Elektroden maximale Ausbeuten.

2. Die Prallplatten wiesen wie die Photokathode eine bedeutende thermische Emission auf. Für spezielle Anwendungen machte dies eine Kühlung der Röhre im Betrieb notwendig.

3. Die Prallplatten sind photoelektrisch empfindlich.

Um diese Nachteile zu umgehen, wurden andere Schichten mit hoher Sekundärelektronenemission für die Herstellung von Vervielfachern gesucht.

Silber-Magnesium-Legierung. Bei uns wurden diese Schichtkathoden durch die Silber-Magnesium-Legierung ersetzt, die erstmalig durch Zworykin⁴⁾ beschrieben worden ist. Es handelt sich um eine

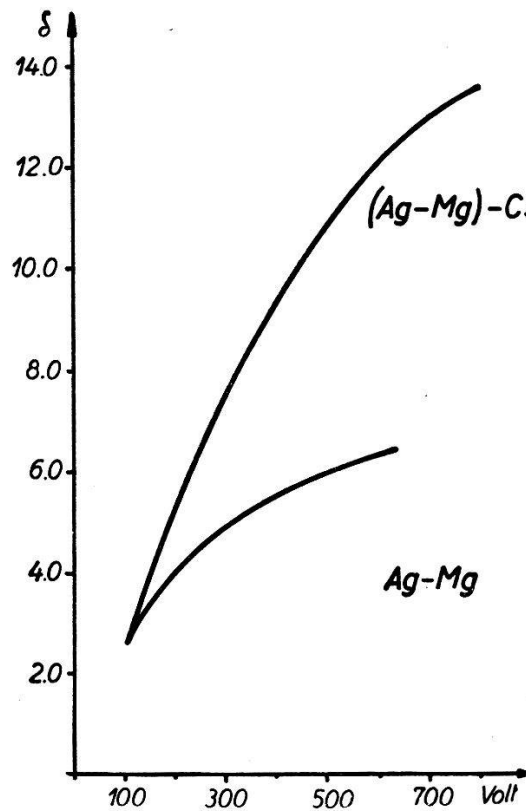


Fig. 5.

SE-Ausbeute von Ag-Mg.

Legierung von Silber mit 3–6% Magnesium. Ihre Herstellung erfolgt in Graphittiegeln an Luft. Zur Vermeidung einer Oxydation des Magnesiums wird die Legierung unter einer Salz-Schutzschicht geschmolzen. Die Legierung wird unter Zwischenglühen im Hochvakuum bei einer Temperatur von 650° C ausgewalzt.

Nach dem Zusammenbau der Röhre werden die Prallplatten in der evakuierten Röhre zunächst dem normalen Ausheizprozess unterworfen. Dies bewirkt eine erste Steigerung der Sekundärelektro-

nenausbeute. Diese kann durch eine Oxydation dieser Schichten gesteigert werden. Dazu wird der Vervielfacher 1 h. bei 400—450° C in einer Sauerstoffatmosphäre von 0,2 mm Druck geheizt. Dadurch wird das Mg oxydiert, was sich in einer goldgelben Färbung der Prallplatten äussert.

In Fig. 5 zeigt die Kurve für die Legierung Ag-Mg den Verlauf der Ausbeute an Sekundärelektronen. Sie ist für die niedrigen Beschleunigungsspannungen nur unwesentlich kleiner als diejenige der [Ag]-Cs₂O, Ag-Cs-Schichten.

Herstellungstechnisch weisen diese Schichten Vor- und Nachteile auf.

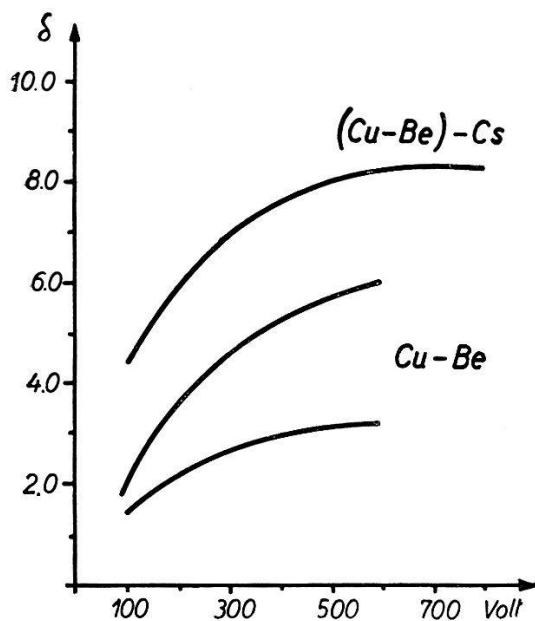


Fig. 6.

SE-Ausbeute von Cu-Be.

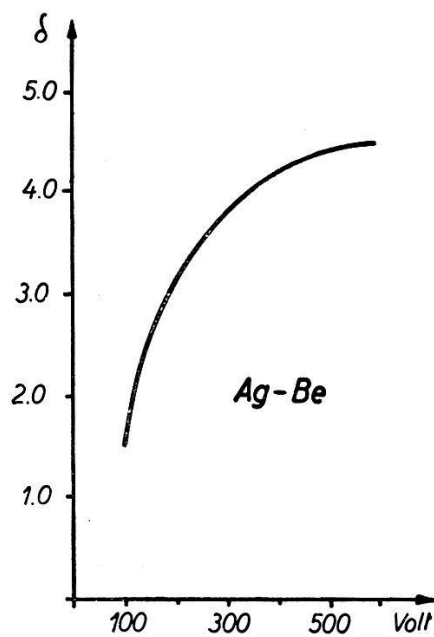


Fig. 7.

SE-Ausbeute von Ag-Be.

Vorteile:

1. Der Formierungsgang ist ausserordentlich einfach.
2. Die Prallplatten können nach der Formierung ohne Nachteil kurzzeitig an Luft gebracht werden. Sie müssen lediglich wieder ausgeheizt werden. Dies ermöglicht eine getrennte Herstellung von Vervielfacher und Zelle und damit eine optimale Formierung beider Teile. Auf diese Weise lassen sich in Vervielfachern Zellen vom Typus Sb-Cs von 60—90 $\mu\text{A}/\text{Lumen}$ Empfindlichkeit erreichen. Weiter gestattet dies den Einbau von Gettermetallen, die beim Oxydationsprozess zerstört würden.

Nachteile:

1. Bei der Herstellung der Legierungen treten oft aus nicht abgeklärten Gründen Ausschuss-Chargen auf. Die Vervielfachung dieser Schichten beträgt bei einer Primärspannung von 200 Volt nur 1,5—2,5, an Stelle der brauchbaren Werte von 3,5—5,0. Die Untersuchung dieser Erscheinung ist noch nicht abgeschlossen.
2. Die Lagerfähigkeit des Materials an Luft ist nur beschränkt, offenbar infolge der leichten Korrosion des Silbers.
3. Die Röhren müssen aus diesem Grund nach ihrem Zusammenbau sofort eingeschmolzen und evakuiert werden, was für Serienherstellung nachteilig ist.

Im Betrieb weisen diese Legierungen folgende grosse Vorteile auf:

1. Sehr kleine thermische Emission.
2. Sehr kleine lichtelektrische Empfindlichkeit.

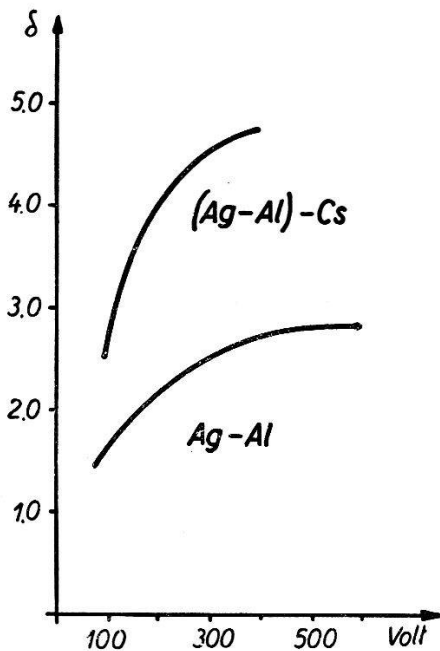


Fig. 8.

SE-Ausbeute von (Ag-Sb)-Cs.

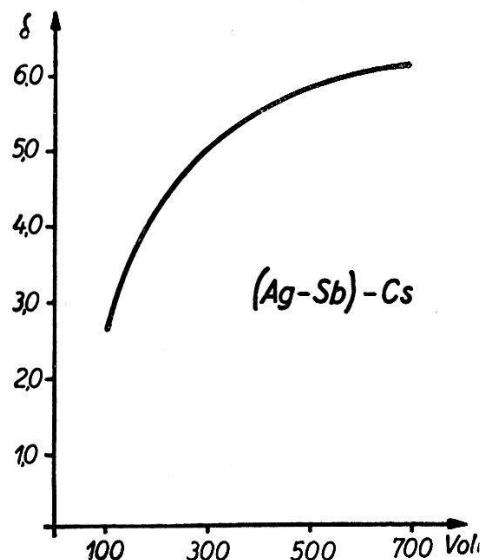


Fig. 9.

SE-Ausbeute von (Ag-Al)-Cs, Ag-Al.

Interessant ist der Einfluss des für die Photokathode verwendeten Caesiums auf die Ag-Mg-Legierung. Durch Anlagerung dieses Metalles wird die Ausbeute wesentlich erhöht (vgl. Fig. 5, Legierung (Ag-Mg)-Cs). Bemerkenswert ist das hohe Maximum von 13,5. Häufig sind aber solche Schichten im Betrieb nicht konstant. Infolge des Abdampfens von Cs nimmt ihre Ausbeute auf den normalen Wert ab. Immerhin haben sich auch schon nach diesem Verfahren hergestellte Vervielfacher als konstant erwiesen. Den gleichen Einfluss einer Ausbeutesteigerung hat auch das Caesiumoxyd.

Kupfer-Beryllium-Legierung. Die untersuchte Legierung besteht aus Cu mit 2% Be. Proben dieser Legierung wurden einer der Ag-Mg-Legierung analogen Formierung unterzogen. Die Oxydation der Prallplatten in der Sauerstoffatmosphäre geschah aber bei einer Ofentemperatur von 510° C. In Fig. 6 gibt die mittlere Kurve die Ausbeute einer auf diese Weise formierten Cu-Be-Legierung wieder. Die Kurve zeigt, dass diese Legierung ebenfalls eine gute Ausbeute aufweist. Der Einfluss des Caesiums äussert sich in derselben Weise wie bei der Ag-Mg-Legierung. (Kurve für (Cu-Be)-Cs in Fig. 6.) Wichtig ist die grosse Erhöhung der Ausbeute bei kleinen Beschleunigungsspannungen.

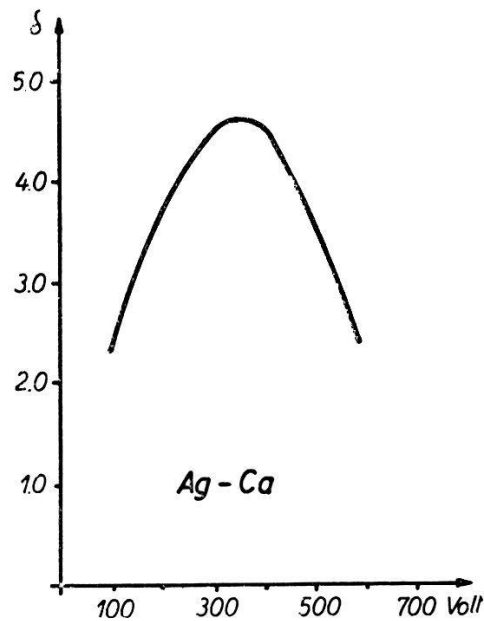


Fig. 10.

SE-Ausbeute von Ag-Ca.

So steigt diese bei $V = 100$ Volt von $\delta = 1,8$ auf $\delta = 4,0$.

Wird die Legierung nach dem Verfahren von ALLEN⁵⁾ behandelt und im Hochvakuum mit Hochfrequenz bei 700–800° C gegläht, so ist die Ausbeute wesentlich geringer, wie die untere Kurve in Fig. 6 zeigt.

Die Versuche haben erwiesen, dass die Kupfer-Beryllium-Legierung stabiler ist als die Ag-Mg-Legierung. Sie kann mehrmals an Luft gebracht werden und wieder evakuiert, ohne an Ausbeute zu verlieren. Nach längerem Verbleiben an Luft ist allerdings neben dem Ausheizen auch eine wiederholte Oxydation notwendig.

Silber-Beryllium-Legierung. Ähnliche Eigenschaften wie die beiden besprochenen Legierungen weist auch eine Legierung von Silber mit 2% Beryllium auf. Die Ausbeute ist aus Fig. 7 ersichtlich.

Neben diesen drei praktisch verwendeten Legierungen sind ebenfalls untersucht worden: Ag-Al, (Ag-Al)-Cs, (Ag-Sb)-Cs und Ag-Ca. Es handelt sich dabei durchwegs um Silberlegierungen mit 2% Fremdmetail-Gehalt. Die Ausbeuten sind in den Fig. 8–10 dargestellt. Sie sind jedoch nie für den Bau von Sekundärelektronenvervielfachern verwendet worden.

Fig. 11 zeigt als Beispiel einen 18stufigen Vervielfacher, wie wir ihn als Scintillationszähler entwickelt haben. Die Photokathode vom Typus Sb-Cs weist eine ausnutzbare Fläche von 12 cm^2 auf. Ihre Empfindlichkeit liegt zwischen 40 und $60 \mu\text{A}/\text{Lumen}$. Für die Prallplatten ist die Ag-Mg-Legierung verwendet worden. Die totale

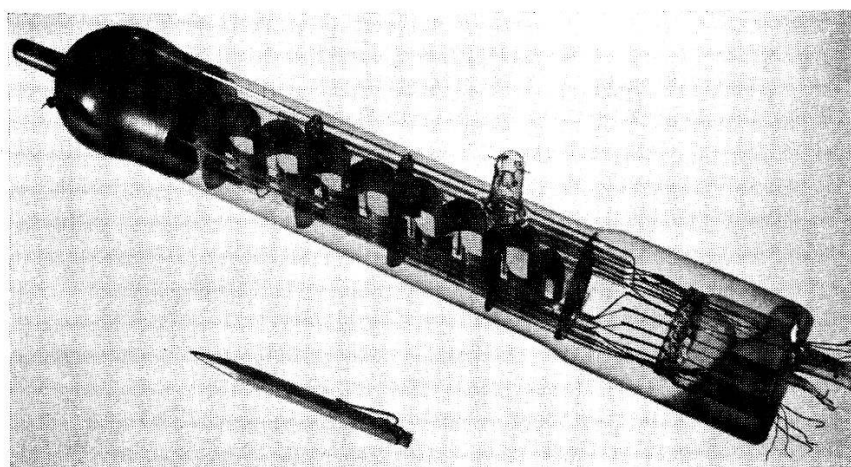


Fig. 11.

18-stufiger Vervielfacher mit Sb-Cs-Photokathode.

Verstärkung der Röhre bei 200 Volt Stufenspannung beträgt 10^{10} – 10^{12} . Die Zuführungen zur letzten Prallplatte und Anode erfolgen durch einen seitlichen Ansatz. Diese gesonderte Ausführung der beiden letzten Elektroden sowie die Wahl der hohen Stufenzahl erfolgte im Zusammenhang mit den Versuchen der nachstehenden Arbeit⁶⁾.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass das Vakuum dieser Röhren außerordentlich gut sein muss, infolgedessen sind sie mit einem Getter Spiegel versehen (Druck ca. 10^{-7} mm).

Bei der Verwendung als Scintillationszähler bei Zimmertemperatur sind zwei Röhren in Koinzidenzschaltung zu verwenden zur Ausschaltung bzw. Reduktion des Nulleffektes, welcher auf die thermische Emission der Photokathode zurückzuführen ist. Es ist

vorgesehen, denselben Röhrentyp mit einer Sb-Li-Kathode zu versehen, die infolge ihrer bedeutend kleineren thermischen Emission für diese Anwendung am geeignetsten erscheint.

Institut für technische Physik der E.T.H.

Literaturhinweise.

¹⁾ P. GÖRLICH, Zeitschr. f. Physik **101**, 335 (1936); Zeitschr. f. techn. Physik **18**, S. 460 (1937).

²⁾ N. SCHAETTI, Helv. Phys. Acta **22**, S. 225 (1949); Bull. S.E.V. **40**, S. 569 (1949).

³⁾ IVES and OLPIN, Phys. Rev. **34**, 117 (1929).

⁴⁾ V. K. ZWORYKIN, J. E. RUEDY and E. W. PIKE, J. APPLIED, Phys. **12**, 696 (1941).

⁵⁾ J. ALLEN, Rev. sc. Instr. **18**, 739 (1947).

⁶⁾ K. P. MEYER, E. BALDINGER und P. HUBER, Helv. Phys. Acta **23**, 121 (1950).