



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

⑪ Veröffentlichungsnummer:

0 283 773  
A2

⑫

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

⑬ Anmeldenummer: 88103116.5

⑮ Int. Cl. 4: H01J 43/10, H01J 9/12,  
H01J 43/22

⑭ Anmeldetag: 02.03.88

⑯ Priorität: 20.03.87 DE 3709298

⑰ Anmelder: Kernforschungszentrum Karlsruhe  
GmbH  
Weberstrasse 5 Postfach 3640  
D-7500 Karlsruhe 1(DE)

⑰ Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
28.09.88 Patentblatt 88/39

⑰ Erfinder: Ehrfeld, Wolfgang, Dr.  
Reutstrasse 27  
D-7500 Karlsruhe 41(DE)  
Erfinder: Moser, Herbert, Dr.  
Max-Beckmann-Strasse 4  
D-7500 Karlsruhe 41(DE)  
Erfinder: Münchmeyer, Dietrich, Dr.  
Hagäckerstrasse 5  
D-7513 Stutensee(DE)

⑰ Benannte Vertragsstaaten:  
AT CH FR GB IT LI NL SE

⑯ Mikro-Sekundärelektronenvervielfacher und Verfahren zu seiner Herstellung.

⑰ Die Erfindung betrifft einen Sekundärelektronenvervielfacher mit diskreten Dynoden. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, gegenüber dem aufgezeigten Stand der Technik einen Mikro-Sekundärelektronenvervielfacher und Arrays davon zu schaffen die einen äußerst geringen Platzbedarf, eine hohe Zeitauflösung, eine große Empfindlichkeit und eine hohe Flexibilität bei der Formgebung aufweisen. Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Dynoden mikrostrukturiert und auf einer isolierenden Substratplatte, die mit elektrischen Leiterbahnen zum Anschluß der Dynoden versehen ist, angebracht ist.

EP 0 283 773 A2

### Mikro-Sekundärelektronenvervielfacher und Verfahren zu seiner Herstellung

Die Erfindung betrifft einen Sekundärelektronenvervielfacher nach dem Oberbegriff des Anspruches 1 sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Sekundärelektronenvervielfachers.

Ein derartiger Sekundärelektronenvervielfacher ist aus der Firmendruckschrift SC-5 von Hamamatsu (Katalog 1983) unter der Typenbezeichnung R 1635 bekannt. Er besitzt bei acht Stufen einen Durchmesser von 10 mm und eine Länge von ca. 55mm. Diese Abmessungen erlauben nicht den Einsatz in miniaturisierten Meßsystemen.

Bekannt sind auch Mikro-Kanalplatten (Nuclear Instruments and Methods 162, 587-601 (1979)). Sie erfüllen zwar die Anforderung des kleinen Raumbedarfs, weisen jedoch eine erhebliche Totzeit nach einem Signalimpuls auf, wodurch ihre Anwendbarkeit auf sehr schwache Strahlungs- und Teilchensignale beschränkt bleibt.

Weiterhin sind auch geschichtete Kanalplatten bekannt (Advances in Electronics and Electron Physics 33A, 117-123 (1972)). Sie vermeiden zwar den Nachteil einer langen Totzeit, weisen jedoch von Stufe zu Stufe erhebliche Elektronenverluste auf, wodurch sie wiederum für Anwendungen mit extrem kleinen Strahlungs- oder Teilchensignalen ungeeignet sind. Weiterhin sind geschichtete Kanalplatten bekannt (DE 24 14 658), bei denen solche Verluste durch Formung der Kanalwände mittels Ätzen verkleinert werden sollen, jedoch sind dieser Art von Formgebung enge Grenzen gesetzt. Schließlich sind aus der Hochenergiephysik Arrays von Sekundärelektronenvervielfachern bekannt (F. Binon et al, Nuclear Instruments and Methods, A248 (1986), 86 - 102). Durch ihren großen Platzbedarf sind sie für den Aufbau miniaturisierter Meßsysteme vollständig ungeeignet.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, gegenüber dem aufgezeigten Stand der Technik einen Mikro-Sekundärelektronenvervielfacher und Arrays davon zu schaffen, die einen äußerst geringen Platzbedarf, eine hohe Zeitauflösung, eine große Empfindlichkeit und eine hohe Flexibilität bei der Formgebung aufweisen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mittels der in kennzeichnenden Teil des Anspruches 1 angegebenen Merkmals und dem Verfahren nach Anspruch 11 gelöst.

Die übrigen Ansprüche 2 bis 10 sowie die Ansprüche 12 bis 17 geben vorteilhafte Weiterbildungen und Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Gegenstandes bzw. des Verfahrens an.

Die erfindungsgemäßen Mikro-Sekundärelektronenvervielfacher und Vielfachanordnungen (Arrays) davon als Sensoren in minia-

turisierten Meßsystemen für Strahlung oder Teilchen zeichnen sich in vorteilhafter Weise durch geringen Raumbedarf sowie hohe Orts- und Zeitauflösung aus.

5 Durch Einsatz von Röntgentiefenlithographie und Mikrogalvanik wird der Aufbau eines extrem kleinen Systems von diskreten Dynoden ermöglicht, deren Form so gewählt ist, daß die Elektronen von einer Dynode auf die nächste fokussiert und Elektronenverluste so minimiert werden. Die Empfindlichkeit wird dadurch vorteilhaft beeinflußt. Die Spannungsversorgung der Dynoden über diskrete Leiterbahnen gestattet es, die externe Versorgung an die Signalamplitude anzupassen, so daß der dynamische Bereich des Mikro-Sekundärelektronenvervielfachers sehr groß wird. Durch die stark reduzierte Länge des Sekundärelektronenvervielfachers ist die Elektronenlaufzeit von Kathode zu Anode verkürzt, was sich günstig auf die Anstiegszeit von Impulsen und damit auf die erzielbare Zeitauflösung auswirkt.

Die Herstellung derart feiner Strukturen auf röntgentiefenlithographisch-galvanoplastischem Wege (LIGA-Technik) bzw. durch die hier von abgeleitete Abformtechnik gemäß Merkmal b) von Patentanspruch 13 ist u.a. in dem KFK-Bericht 3995 des Kernforschungszentrums Karlsruhe (November 1985) beschrieben und dargestellt. Danach wird z.B. ein röntgenstrahlenempfindlicher Positiv-Resist 25 auf eine metallische Grundplatte aufgebracht und partiell über eine Maske mit Röntgenstrahlen so bestrahlt und entwickelt, daß eine Negativform der herzustellenden Stege entsteht, deren Höhe der Schichtdicke des Positiv-Resist entspricht; sie kann 30 bis zu 2 mm betragen, je nach der Eindringtiefe der Röntgenstrahlung. Anschließend wird die Negativform galvanisch mit einem Metall unter Verwendung der Grundplatte als Elektrode aufgefüllt, worauf das restliche Resist-Material mit einem Lösungsmittel entfernt wird. Bei der Abformtechnik 35 wird ein mit der LIGA-Technik hergestelltes Positiv der herzustellenden Steg-Struktur als wiederholt verwendbares Werkzeug mit einem Kunststoff abgeformt, worauf die so entstandene Negativform durch galvanisches Abscheiden von Metall aufgefüllt und der restliche Kunststoff entfernt wird. In 40 beiden Fällen lassen sich extrem genaue und feine Strukturen herstellen mit lateralen Abmessungen im  $\mu\text{m}$ -Bereich bei einer frei wählbaren Höhe bis zu ca. 2mm. Bei etwas geringeren Höhen lassen sich auch minimale laterale Abmessungen im Submikrometerbereich realisieren. Als Strahlenquelle für diesen Zweck ist insbesondere die Röntgenstrahlung eines Elektronen-Synchrotrons 45 oder -Speicherrings (Synchrotronstrahlung) geei- 50

gnet.

Durch das im Anspruch 13 beschriebene Verfahren ist es weiterhin möglich, eine große Anzahl von Mikro-Sekundärelektronenvervielfachern nebeneinander auf derselben Grundplatte als Mikro-Sekundärelektronenvervielfacher-Array aufzubauen. Dadurch wird eine extrem hohe Packungsdichte erreicht, die sich günstig auf das erreichbare räumliche Auflösungsvermögen auswirkt, ein Aspekt, der insbesondere für die Tomographie und für Detektoren in der Hochenergiephysik von Bedeutung ist.

Bei einem Array von Mikro-Sekundärelektronenvervielfachern kann die Position der Signal-Eingänge an vorgegebene Konturen angepaßt werden, z.B. an den Rowland-Kreis, an eine gewölbte Bildfläche oder an einen Zylin dermantel wie beim nachstehend als Ausführungsbeispiel beschriebenen Streulichtratiometer.

Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß eine der Substratplatten mit einer lichtdurchlässigen Wand, die zusätzlich noch Photokathoden trägt, versehen werden und damit der Mikro-Sekundärelektronenvervielfacher (-Array) zu einem Mikro-Photomultiplier(-Array) gemacht werden kann.

Gibt man der lichtdurchlässigen Wand einen linsenförmigen Querschnitt und bringt die Photokathoden auf einem getrennten Träger aus lichtdurchlässigem Material an, so kann man zwischen Lichtquelle und Photokathode eine optische Abbildung herstellen, die sich vorteilhaft auswirkt auf die Definition des Streuvolumens und auf das Signal-Rausch-Verhältnis.

Der Aufbau eines Mikro-Sekundärelektronenvervielfachers ist schematisch in Figur 1 dargestellt. Man erkennt die Dynoden 1, die zu ihrer Spannungsversorgung angebrachten Leiterbahnen 2 sowie die Anode 3. Diese Strukturen sind auf der Grundplatte 4 aufgebracht. Eine zweite Platte trägt, gestrichelt dargestellt, eine Glaswand 6, auf der an geeigneter Stelle die Photokathode 7 aufgebracht ist. Weitere Elektroden 8, 9 dienen der Fokussierung der auf der Photokathode ausgelösten Photoelektronen auf die erste Dynode 1. Die Platten werden durch Gläslöten miteinander verbunden und bilden, falls erforderlich, ein vakuundichtes Gehäuse für den Sekundärelektronenvervielfacher. Die Vervielfachung erfordert Elektronenenergien von der Größenordnung 100 eV. Mit einem typischen sicheren Betriebswert für die Oberflächenfeldstärke von 1 kV/mm ergibt sich ein minimaler Leiterbahnenabstand von 0,1 mm und bei 9 Dynoden mit einer Kantenlänge von je 1 mm eine Gesamtlänge von ca. 10 mm. Oberflächenaufladung und daraus folgende elektrische Überschläge werden durch die, wenn auch schwache, Leitfähigkeit der Ob-

erflächenschicht der Wände vermieden.

Figur 2a zeigt schematisch eine Vielfachanordnung von Mikro-Sekundärelektronenvervielfachern. Hier sind zahlreiche Mikro-Sekundärelektronenvervielfacher nebeneinander angeordnet und die Führung der Leiterbahnen 2 entsprechend angepaßt worden. Fig. 2b zeigt schematisch eine Vielfachanordnung mit gemeinsamen Dynoden 1.

Fig. 3a bis 3h zeigt beispielhaft die Herstellung eines Mikro-Sekundärelektronenvervielfachers oder einer Vielfachanordnung (Arrays), wobei als wichtigste Verfahrensschritte Röntgentiefenlithographie mit Synchrotronstrahlung und Galvanoformung eingesetzt werden. Eine detaillierte Beschreibung dieser Prozesse ist in E.W. Becker, W. Ehrfeld, P. Hagmann, A. Maner und D. Münchmeyer "Fabrication of Microstructures with high aspect ratio and great structural heights by synchrotron radiation lithography, galvanoforming, and plastic moulding (LIGA-process)", Microelectronic Engineering 4 (1986) 35-36 angegeben. Fig. 3a zeigt eine Grundplatte 1 aus Aluminiumoxid-Keramik. Die Dicke der Grundplatte 1 beträgt etwa 1 mm, die Fläche etwa 10 cm x 10 cm. Die Grundplatte 1 wird durch Aufschleudern mit einer dünnen Schicht 2 aus Fotolack (z.B. AZ 1350 der Fa. Kalle, Wiesbaden) beschichtet und nach Herstellerangaben vorbehandelt (Fig. 3b). In bekannter Weise wird der Fotolack über eine Maske lithographisch bestrahlt und entwickelt, so daß eine Fotolackstruktur 3 auf der Grundplatte 1 entsteht (Fig. 3c). Anschließend wird durch einen Sputterprozeß ganzflächig zunächst eine 30 nm dicke Schicht 4 aus Titan und dann eine weitere 200 nm dicke Schicht aus Nickel abgeschieden. Sodann wird der Fotolack 3 mit Aceton im Tauchbad entfernt, wobei auch die Bereiche der Metallschichten 4 und 5 entfernt werden, die sich auf der Fotolackstruktur 3 befinden. Es verbleibt eine Metallschichtstruktur 4, 5 auf der Grundplatte 1 (Fig. 3d). Wie im o.g. Artikel beschrieben, wird nun in einer Dicke von 1 mm eine Schicht 6 aus einer Polymethylmethacrylat-Gießmasse (PMMA) aufgegossen, polymerisiert und dann mittels Röntgentiefenlithographie mit Synchrotronstrahlung und anschließendes Entwickeln strukturiert (Fig. 3f). In die so gefertigte Formstruktur 7 aus PMMA wird galvanisch Nickel abgeschieden, das die Dynoden 8 des Mikro-Sekundärelektronenvervielfachers darstellt. Anschließend werden die verbliebenen PMMA-Bereiche 7 in einem Lösemittel entfernt (Fig. 3g). In gleicher Weise werden in denselben Arbeitsschritten durch Vorgabe entsprechender Strukturen auf den in den Lithographieprozessen verwendeten Masken andere Elemente des Mikro-Sekundärelektronenvervielfachers wie etwa Anoden, Abschirmungen und dergleichen parallel mit den Dynoden 8 gefertigt. Analog zu den Prozess-

Schritten in Fig. 3a bis 3d wird nun eine zur Grundplatte in Fig. 3d spiegelsymmetrische Deckplatte 9 mit Metallstrukturen 10 hergestellt. Die Metallstruktur 10 wird durch Diffusionslöten mit Silber mit den Dynoden 8 verlötet, wodurch der Mikro-Sekundärelektronenvervielfacher, bestehend aus einer Grundplatte 1, einer Deckplatte 9, diskreten Dynoden 8, Leiterbahnen 11 zur Kontaktierung der Dynoden und Leiterbahnen 12 für die vertikale Fokussierung der Elektronen, fertiggestellt wird (Fig. 3h).

Eine weitere Methode zur Herstellung der Mikrostrukturen besteht in der Abformtechnik. Dabei wird durch Röntgentiefenlithographie mit Synchrotronstrahlung eine Positiv der herzustellenden Dynodenstruktur als wiederholt verwendbares Werkzeug mit einem Kunststoff abgeformt, worauf die entstandene Negativform durch galvanisches Abscheiden von Metall aufgefüllt und der restliche Kunststoff entfernt wird. Die für die Fixierung und Kontaktierung der Dynoden erforderliche Grundplatte wird beim Abformprozess in das Werkzeug eingelegt, so daß der Kunststoff mit der Grundplatte eine feste Verbindung eingeht. Sowohl die direkte Herstellung der Mikrostrukturen durch Röntgentiefenlithographie mit Synchrotronstrahlung als auch die Abformtechnik ermöglichen extreme Strukturgenauigkeiten mit Lateralabmessungen im  $\mu\text{m}$ -Bereich bei einer frei wählbaren Höhe bis zu ca 2mm.

Als Anwendungsbeispiel wird ein Vielkanal-Streulichtradiometer (Fig. 4) herangezogen. Bekanntlich ist die Streuung von Licht an kleinen Teilchen ein wichtiges Hilfsmittel bei der Untersuchung von Größen- und Formparametern in Teilchensystemen (M. Kerker, The Scattering of Light, Academic Press, New York, 1969). Eine der Methoden, die am meisten Information liefern, ist die Messung der Winkelverteilung des gestreuten Lichts. Besonders günstig für das Signal-Rausch-Verhältnis, die benötigte Meßzeit und die Zeitauflösung ist die simultane Messung des Streulichts unter vielen, verschiedenen Winkeln. Die erfindungsgemäßen Mikro-Sekundärelektronenvervielfacher-Arrays erlauben den Aufbau wesentlich kleinerer, empfindlicherer und robusterer elektronischer Vielkanaldetektoren als es dem Stand der Technik entspricht (Deutsches Patent 23 38 481, US-Patent 39 32762, Deutsches Gebrauchsmuster G 8415886,7). Die Versorgung der Dynoden über Leiterbahnen erlaubt die Bildung von Gruppen von Vielkanal-Mikro-Sekundärelektronenvervielfachern, die an verschiedene Spannungsversorgungen angeschlossen werden können. Dadurch kann die Empfindlichkeit als Funktion des Streuwinkels der Streulicht-Winkelverteilung angepaßt werden. Dies bedeutet beispielsweise, daß im Falle von stark vorwärts streuenden

Teilchen, wo der Intensitätsunterschied zwischen vorwärts und rückwärts mehrere Großenordnungen betragen kann, der hintere Detektorbereich, etwa 90°-180°, mit der maximalen Verstärkung, der mittlere Bereich, etwa 20°-90°, mit einer mittleren Verstärkung und der vordere Bereich, 0°-20°, gerade unterhalb des Einsatzes von Sättigungseffekten gefahren werden können.

Auf einer ringförmigen Grundplatte 1 werden zwei sektorförmige Gebiete mit Vielfachanordnungen (Arrays) von Mikro-Sekundärelektronenvervielfachern 2 versehen. Die Eingänge der Mikro-Sekundärelektronenvervielfacher 2 sind dabei auf je einem Kreisbogen angeordnet und weisen zum Mittelpunkt der Grundplatte 1. Die Sektor-Gebiete werden von je einer Glaswand 3 umschlossen, die auf ihrem inneren Bogen Photokathoden trägt, die jeweils einem Mikrosekundärelektronenvervielfacher zugeordnet sind.

Die Glaswände 3 sind mit je einer Deckelplatte 4 nach oben verschlossen, so daß eine vakuumdichte Umhüllung der Vielfachanordnungen (Arrays) entsteht. Die Signalausgänge der Mikro-Sekundärelektronenvervielfacher 2 werden mit Leiterbahnen 5 zum äußeren Rand der Grundplatte 1 geführt, wo sich Kontakte 6 zum externen Anschluß befinden. Die Leiterbahnen zur Versorgung der Vielfachanordnungen (Arrays) werden durch metallgefüllte Bohrungen 7 zur Unterseite der Grundplatte 1 und von da durch Leiterbahnen 8 ebenfalls zu externen Anschlüssen 9 am Außenrand der Grundplatte 1 geführt. In den freien Sektoren der Grundplatte 1 werden ein Halbleiterlaser 10, optische Elemente 11, Blenden 12 und ein keilförmiger Lichtsumpf 13 derart angeordnet, daß ein für die Streuung von Licht an Dichtefluktuationen von Materie, die sich im Streuvolumen 14 befindet, geeigneter Strahlengang entsteht.

Die in Fig. 4 gezeigte Version macht es möglich, die Symmetrie der Streustrahlung bezüglich der Richtung des einfallenden Primärstrahles zu prüfen. Dies kann von erheblicher Bedeutung sein, z.B. für Systeme nichtsymmetrischer Teilchen, denen durch fluiddynamische oder elektromagnetische Einwirkung eine Orientierung aufgeprägt wurde.

Der flache Aufbau solcher integrierter Meßsysteme erleichtert ihren Einsatz in mehreren Ebenen längs eines Teilchenstrahls und damit die Verfolgung einer zeitlichen Evolution der Teilchenparameter. Er eignet sich darüberhinaus gut für die Anwendung eines Magnetfeldes zur Beeinflussung der Elektronenbahnen. Obwohl das herangezogene Anwendungsbeispiel sich auf die Lichtstreuung bezieht, erstreckt sich der Anwendungsbereich auch auf Streuprozesse, bei denen geladene Teilchen, wie Elektronen und Ionen, oder angeregte Neutrale

vorliegen, und darüber hinaus auch auf Strahlungs- oder Teilchenquellen, die selbst emittieren.

### Ansprüche

1. Sekundärelektronenvervielfacher mit diskreten Dynoden, dadurch gekennzeichnet, daß die Dynoden mikrostrukturiert und auf einer isolierenden Substratplatte, die mit elektrischen Leiterbahnen zum Anschluß der Dynoden versehen ist, angebracht sind.

2. Sekundärelektronenvervielfacher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Dynoden auf röntgentiefenlithographischem, auf röntgentiefenlithographisch-galvanoplastischem oder auf hiervon abgeleiteten abformtechnischem bzw. abformtechnisch-galvanoplastischem Wege auf der Substratplatte hergestellt werden.

3. Vielfachanordnung (Array) von Sekundärelektronenvervielfachern nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Dynodenanordnungen auf der Substratplatte angeordnet und mit getrennten Ein- und Ausgängen versehen sind.

4. Sekundärelektronenvervielfacher und Vielfachanordnung (Array) nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die die Dynoden tragende Substratplatte mit einer zweiten isolierenden Platte abgedeckt ist.

5. Sekundärelektronenvervielfacher und Vielfachanordnung (Array) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß eine von beiden oder beide Platten Leiterbahnen tragen, die zur vertikalen Fokussierung der Elektronen dienen.

6. Sekundärelektronenvervielfacher und Vielfachanordnung (Array) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teil der Dynoden auf der einen Substratplatte und der andere Teil auf der anderen angebracht ist.

7. Vielfachanordnung nach Anspruch 3 bis Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die gedachte Verbindungslinie der Signaleingänge eine in weiten Grenzen beliebig gekrümmte Kurve ist.

8. Sekundärelektronenvervielfacher und Vielfachanordnung (Array) nach Anspruch 4 bis Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Platten eine Wand, die an geeigneten Stellen lichtdurchlässig und mit Photokathoden versehen ist, angebracht wird, so daß eine vakuumdichte Umhüllung der Dynodenanordnung entsteht.

9. Sekundärelektronenvervielfacher und Vielfachanordnung (Array) nach Anspruch 4 bis Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die lichtdurchlässigen Stellen der Wand Linsenform haben und daß die Photokathoden auf einem getrennten

lichtdurchlässigen Träger angebracht werden, so daß zwischen Lichtquelle und Photokathode eine optische Abbildungsbeziehung besteht.

10. Vielfachanordnung (Array) nach Anspruch 3 bis Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß benachbarte Kanäle gemeinsame Dynoden haben.

11. Sekundärelektronenvervielfacher und Vielfachanordnung (Array) nach Anspruch 1 bis Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß von außen eine Magnetfeld zur Führung der Elektronen aufgebracht wird.

12. Vielfachanordnung nach Anspruch 3 bis Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß Gruppen von Dynoden an verschiedene Spannungsversorgungen angeschlossen werden.

13. Verfahren zur Herstellung von Mikro-Sekundärelektronenvervielfächern und Vielfachanordnungen (Arrays) mit diskreten Dynoden nach Anspruch 1 bis Anspruch 12, gekennzeichnet durch folgende Fertigungsschritte:

a) Aufbringen von Leiterbahnen auf ein isolierendes Substrat,

b) Erzeugen von Dynoden auf den Leiterbahnen auf röntgentiefenlithographischem, auf röntgentiefenlithographisch-galvanoplastischem oder auf hiervon abgeleitetem abformtechnischem bzw. abformtechnisch-galvanoplastischem Wege,

c) falls erforderlich, Verbinden einer Deckplatte mit den Dynoden, oder Anbringen einer lichtdurchlässigen Wand mit Photokathoden und Abschließen mit einer Deckelplatte.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß nach Schritt b) auf die Dynoden eine zusätzliche Schicht aus einem Material mit hohem Sekundärelektronen-Koeffizienten aufgebracht wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß auf die Dynoden galvanisch Zinn aufgebracht und anschließend naßchemisch oxidiert wird.

16. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die isolierenden Bereiche zwischen den Leiterbahnen durch Aufbringen einer geeigneten Oberflächenschicht schwach leitend gemacht werden.

Fig. 1

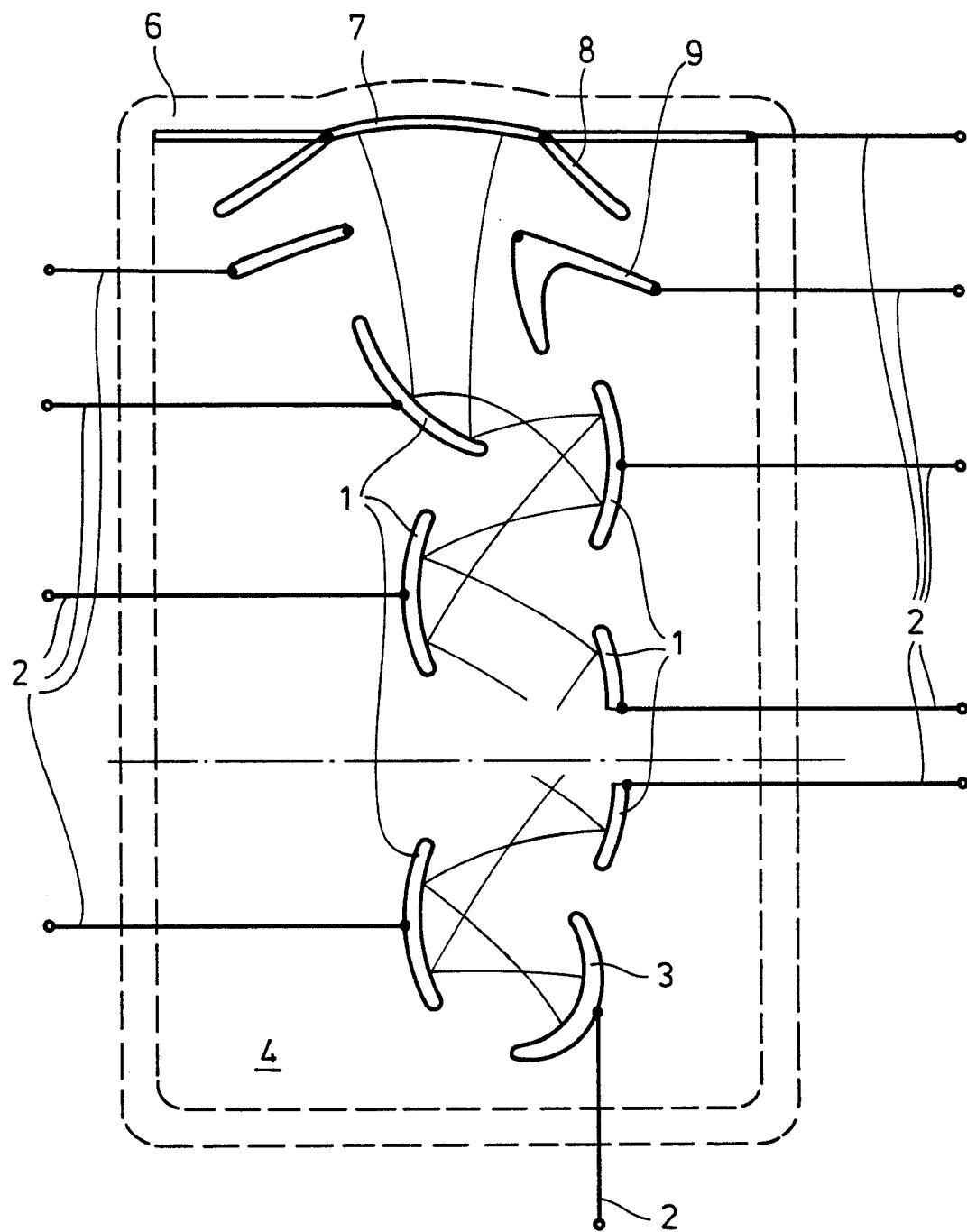


Fig. 2a

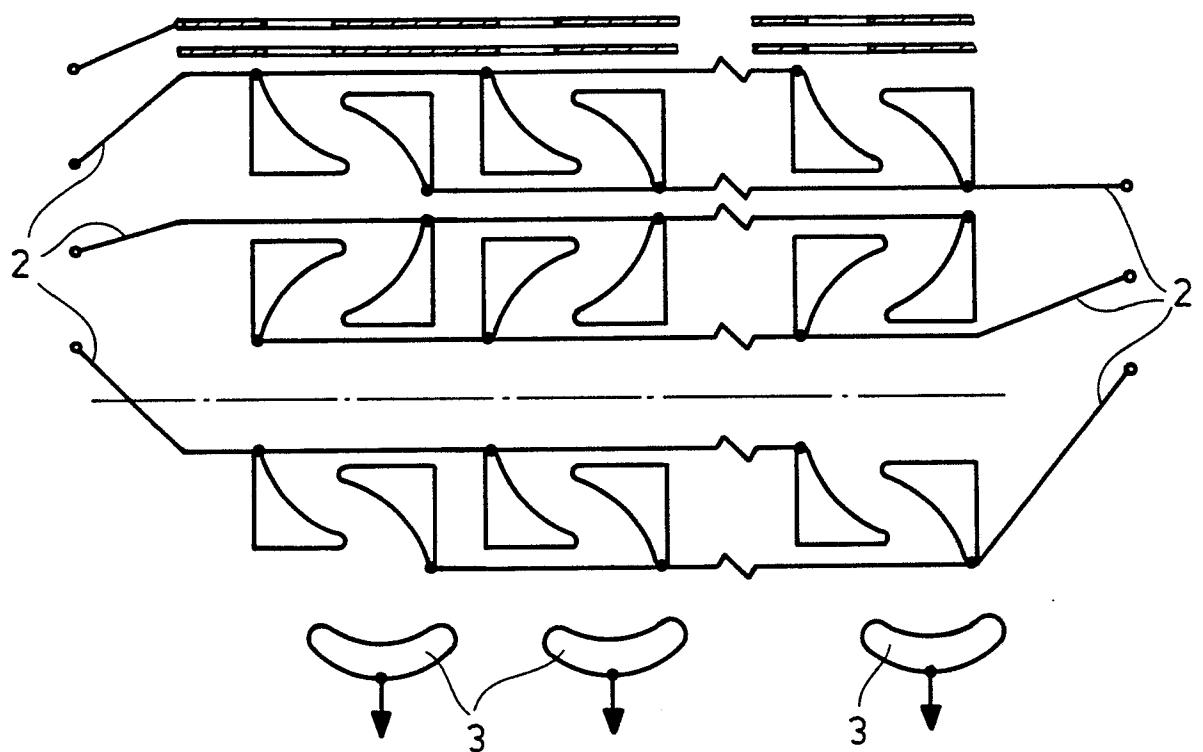


Fig. 2b

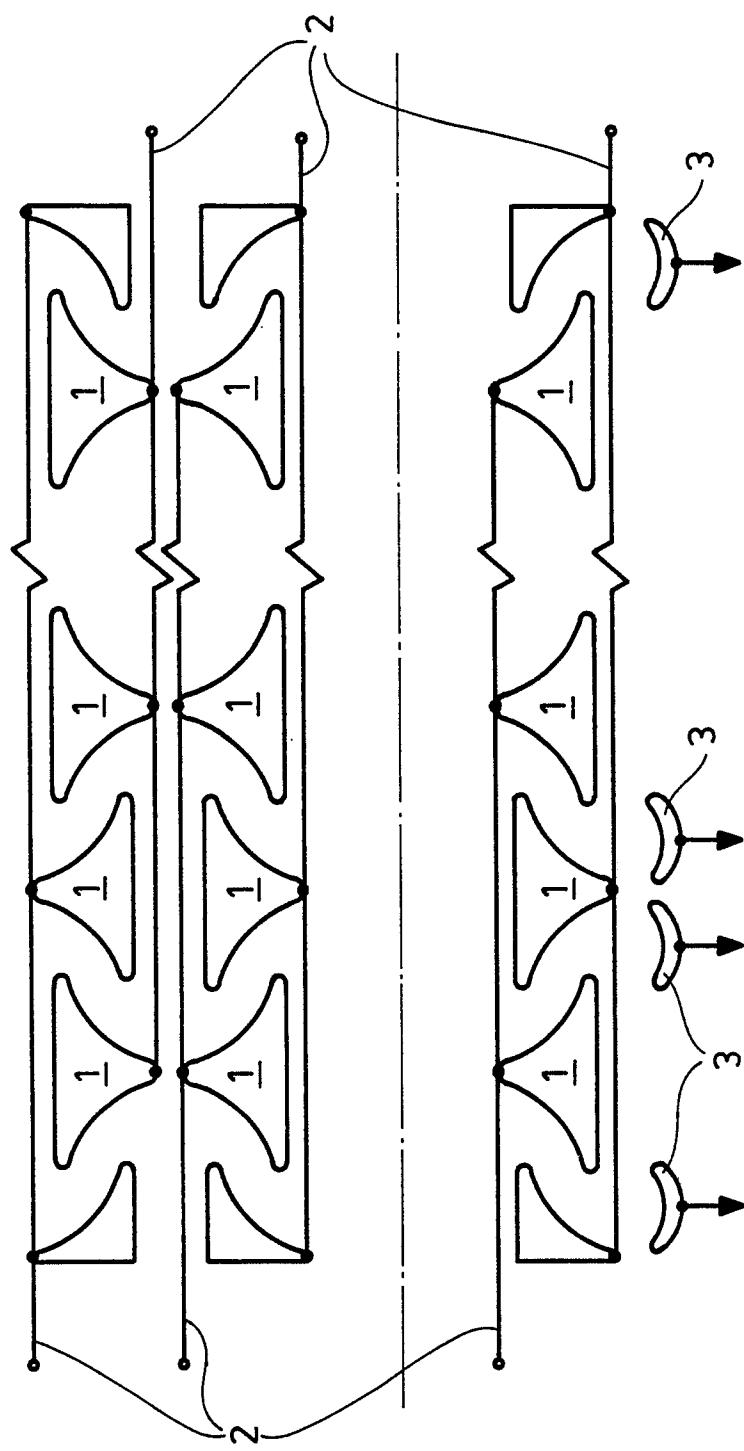


Fig. 3

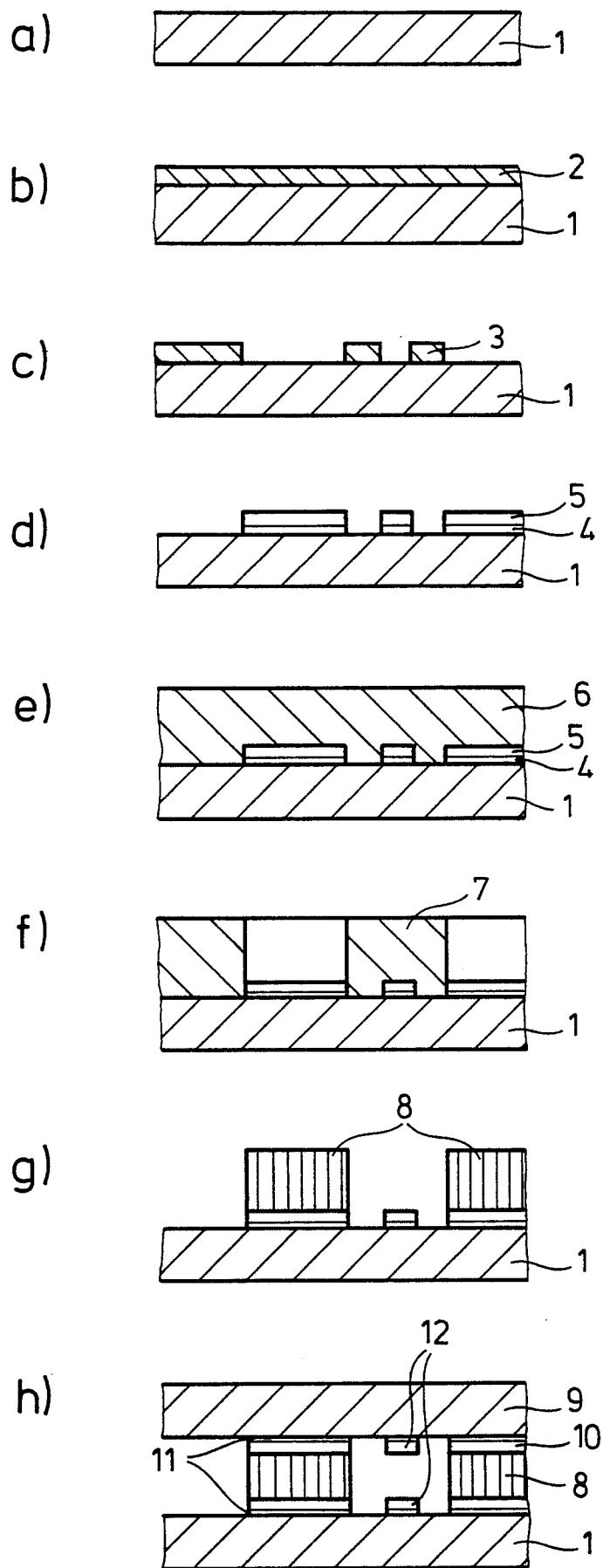


Fig. 4

