



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 26 080 T2** 2004.08.26

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 829 898 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 26 080.1**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 307 215.0**

(96) Europäischer Anmeldetag: **17.09.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **18.03.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **12.11.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **26.08.2004**

(51) Int Cl.7: **H01J 1/34**

H01J 40/16

(30) Unionspriorität:

24497696 17.09.1996 JP

(73) Patentinhaber:

**Hamamatsu Photonics K.K., Hamamatsu,
Shizuoka, JP**

(74) Vertreter:

Strehl, Schübel-Hopf & Partner, 80538 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT, NL

(72) Erfinder:

**Niigaki, Minoru, Hamamatsu-shi, Shizuoka-ken
435, JP; Hirohata, Toru, Hamamatsu-shi,
Shizuoka-ken 435, JP; Kan, Hirofumi,
Hamamatsu-shi, Shizuoka-ken 435, JP; Yamada,
Masami, Hamamatsu-shi, Shizuoka-ken 435, JP**

(54) Bezeichnung: **Photokathode und solche Kathode enthaltende Elektronenröhre**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Elektronenröhre, die bei der Erfassung oder Messung von Licht einer vorbestimmten Wellenlänge anwendbar ist.

Einschlägige, Hintergrund bildende Technik

[0002] Als Material für eine Photokathode, innerhalb einer Elektronenröhre, die auf Ultraviolettstrahlung mit einer Wellenlänge nicht über 200 nm empfindlich ist, ist z. B. Cäsiumiodid (CsI), das ein Halbleiter ist, gut bekannt. Diese Photokathode verfügt, im Maximum, über einen Quantenwirkungsgrad von ungefähr 25% für photoelektrische Wandlung im Vakuumultraviolett-Bereich. Da der Pegel (Quantenwirkungsgrad für photoelektrische Wandlung) dieser Photokathode für Licht drastisch fällt, das bei einer Wellenlänge nicht unter 200 nm erfasst werden muss, ist sie als sogenannte für Sonnenlicht blinde Photokathode bekannt, die gegen Sonnenlicht unempfindlich ist.

[0003] Demgemäß wird eine derartige für Sonnenlicht blinde Photokathode häufig in einer Elektronenröhre (mit einer Photokathode versehene Photoröhre) wie einem Photovervielfacher verwendet, und sie wird zum Erfassen oder Messen von schwachem Licht im Ultraviolettbereich verwendet.

[0004] Durch Untersuchen von Elektronenröhren mit der herkömmlichen Photokathode, wie sie oben genannt ist, haben die Erfinder die folgenden Probleme herausgefunden.

[0005] Um nämlich Licht im Ultraviolettbereich mit hoher Genauigkeit zu erfassen oder zu messen, ist eine Photokathode mit höherem Quantenwirkungsgrad für photoelektrische Wandlung (nachfolgend einfach als Quantenwirkungsgrad oder UE bezeichnet) erforderlich. Jedoch ist bei der herkömmlichen CsI-Photokathode, wie es in der **Fig. 1** dargestellt ist, die Elektronenaffinität (E_a), d. h., der Wert, wie er dann erhalten wird, wenn die Energie am Boden des Leitungsbands (CB) von der Energie des Vakuumniveaus (VL) abgezogen wird, positiv. Dies bedeutet, dass von Photoelektronen (e^-), die zu erfassendes Licht ($h\nu$) empfangen und die dadurch vom Valenzband (VB) aus angeregt werden, ein Teil nicht in das Vakuum (ein Gefäß im Vakuumzustand) entweichen kann. Demgemäß war es von Natur aus unmöglich, dass die herkömmliche Photokathode einen höheren Quantenwirkungsgrad erzielen konnte.

[0006] Andererseits wurde über eine Photokathode mit einem Dünnsfilm aus einkristallinem Diamant anstelle von CsI berichtet. Gemäß dem Bereich von Himpel et al. (Physical Review, B, 20, 2 (1979), 624) wird dann, wenn mit Bor (B) dotierter natürlicher, einkristalliner Diamant mit dem Flächenindex (**111**) eine

auf atomarer Ebene saubere Oberfläche erzielt, d. h., wenn seine Oberfläche die Konfiguration (**111**) – 1×1 erzielt, eine Photokathode mit negativer Elektronenaffinität (NEA) erhalten. Im Fall eines einkristallinen Diamant-Dünnsfilms beträgt, wie es aus dem in der **Fig. 3** dargestellten Quantenwirkungsgrad erkennbar ist, der Quantenwirkungsgradspegel maximal ungefähr 20% innerhalb des Bereichs, in dem die Photonenenergie 5,5 bis 9 eV beträgt, wohingegen er im Bereich von 13 bis 35 eV relativ hoch ist, nämlich 40% bis 70%.

[0007] Auch synthetisierten Eimori et al. durch Mikrowellenplasma-CVD einen einkristallinen Diamantfilm auf einem Substrat aus einkristallinem Diamant mit dem Flächenindex (**100**), der bei hohem Druck synthetisiert wurde, wobei seine Oberfläche dann mit Wasserstoff abgeschlossen wurde (Diamond and Related Material, 4 (1995), 806; und Jpn. J. Appl. Phys., 33 (1994), 6312). In diesem Fall wird die Elektronenaffinität des einkristallinen Diamantfilms nicht nur dann negativ, wenn er in der (**111**)-Fläche ausgerichtet ist, sondern auch dann, wenn er in der (**100**)-Fläche ausgerichtet ist. Bei den Berichten von Eimori et al. wurde zum Messen der Photoelektronenemission Synchrotronstrahlung als Lichtquelle verwendet, und es wurde über keinen Absolutwert des Quantenwirkungsgrads berichtet.

[0008] Bei den Photokathoden wie den oben genannten wird einkristalliner Diamant, der das zu erfassende Licht nicht durchlässt, als Hauptkörper oder Trägersubstrat für die Photokathode verwendet. Eine derartige Photokathode aus einkristallinem Diamant kann nicht auf einfache Weise bei einer Photokathode vom Transmissionstyp angewandt werden, bei der sich die Oberfläche, auf die das zu erfassende Licht fällt, von der Oberfläche zum Emittieren von Photoelektronen verschieden ist.

[0009] Auch sind, vom Gesichtspunkt der industriellen Anwendung her, sowohl natürlicher einkristalliner Diamant als auch unter hohem Druck synthetisierte einkristalline Diamantsubstrate sehr teuer und zur Massenherstellung nicht geeignet. Daher existiert keine einfache Technik zum Synthetisieren eines einkristallinen Diamantfilms in der Dampfphase auf einem derartigen teuren einkristallinen Substrat. Aus diesem Grund ist es schwierig, in der Praxis eine Photokathode aus einkristallinem Diamant herzustellen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0010] Daher ist es eine Aufgabe der Erfindung, eine Elektronenröhre mit einer Photokathode zu schaffen, die sowohl bei Reflexions- als auch bei Transmissionstypen anwendbar ist und die für einen Quantenwirkungsgrad sorgen kann, der höher als der bei einem Dünnsfilm aus einkristallinem Diamant ist.

[0011] Gemäß der Erfindung ist eine Photokathode mit Folgendem geschaffen: einem für auftreffendes

Licht vorgegebener Wellenlänge transparenten Eingangsschirm, einer Photokathode zum Emittieren eines durch das einfallende Licht vorgegebener Wellenlänge von einem Valenzband auf ein Leitungsband angeregten Photoelektrons, wobei die Photokathode eine Schicht aus polykristallinem Diamantmaterial aufweist, einem die Photokathode aufnehmenden und den Eingangsschirm tragenden Gefäß, und einer in dem Gefäß angeordneten Anode zum direkten oder indirekten, Auffangen von seitens der Photokathode emittierten Photoelektronen, wobei das polykristalline Diamantmaterial mit Wasserstoff abgeschlossen ist, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Gefäß Wasserstoff bei einem Partialdruck in einem vorgegebenen Bereich von $133,3 \times 10^{-6}$ bis $133,3 \times 10^{-3}$ N/m² (1×10^{-6} bis 1×10^{-3} Torr) enthalten ist.

[0012] In überraschender Weise hat es sich herausgestellt, dass derartige Photokathoden aus einkristallinem Diamant mit stärker verbessertem Gebrauchsgrad in einer Elektronenröhre verwendet werden können, die Wasserstoff innerhalb eines vorbestimmten Druckbereichs enthält, wobei Verwendung mit Photokathoden sowohl vom reflektierenden als auch vom transmittierenden Typ möglich ist.

[0013] Aufgrund der verbesserten negativen Elektronenaffinität, der Immunität gegen chemische Angriffe und der sehr hohen Wärmeleitfähigkeit bilden Schichten aus polykristallinem Diamant, deren Oberfläche mit Wasserstoff abgeschlossen ist, ein hervorragendes Material für Feldemitter, um so die Instabilität der zuvor erörterten Photokathoden zu verringern.

[0014] Der Prüfer dieser Anmeldung hat im Recherchebericht neun Dokumente und im ersten Prüfungsbericht zwei weitere Dokumente genannt, jedoch offenbar keines derselben die Erfindung. Keines offenbart eine Elektronenröhre, bei der das Diamantmaterial der Kathode polykristallin ist und mit Wasserstoff abgeschlossen ist und bei der ferner die Kathode in Wasserstoff auf einem Partialdruck innerhalb eines vorbestimmten Bereichs arbeitet.

[0015] Bei einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Elektronenröhre ist die Photokathode an der Eingangsschirmplatte vorhanden und wird durch diese gehalten.

[0016] Vorzugsweise besteht diese Eingangsschirmplatte aus Magnesiumfluorid (MgF₂), das zumindest für Ultraviolettlicht mit einer Wellenlänge nicht länger als 200 nm durchlässig ist.

[0017] Zweckdienlicherweise ist die Photokathode auf einer Fläche eines Lichtabschirmelements vorhanden, das der Eingangsschirmplatte gegenübersteht, und sie wird durch dieses Lichtabschirmelement gehalten, das das einfallende Licht ausblendet.

[0018] Bei einer alternativen Ausführungsform kann die Elektronenröhre über einen Elektronenvervielfacherabschnitt verfügen, der im Gefäß untergebracht ist und Sekundärelektronen zur Anode führt, wobei diese Sekundärelektronen dadurch erhalten werden, dass der Elektronenvervielfacherabschnitt, auf Kas-

kadenweise, die von der Photokathode emittierten Photoelektronen vervielfacht.

[0019] Die Anode der Elektronenröhre kann ein Fluoreszenzfilm sein, der Licht emittiert, wenn er die von der Photokathode auf das einfallende Licht hin emittierten Photoelektronen empfängt, um ein zweidimensionales Elektronenbild zu erzeugen, das dem zweidimensionalen optischen Bild des einfallenden Lichts entspricht.

[0020] Alternativ kann die Anode ein Festkörper-Bilderzeuger sein, der die Photoelektronen empfängt, wie sie von der Photokathode auf das einfallende Licht hin ausgegeben werden und der ein dem zweidimensionalen optischen Bild des einfallenden Lichts entsprechendes elektrisches Signal ausgibt.

[0021] Zweckdienlicherweise verfügt die Photokathode ferner über eine zweite Schicht, die auf mindestens einer Fläche der erstgenannten Schicht vorhanden ist und die aus einem Alkalimetall oder einer Verbindung eines solchen besteht.

[0022] Vorzugsweise ist die erste Schicht in der Photokathode p-leitend.

[0023] Eine derartige Elektronenröhre beinhaltet eine Photokathode vom Transmissionstyp, die auf einem Substrat ausgebildet ist, das für das zu erfassende Licht transparent ist, und die von einer Fläche, die einer Eintrittsfläche gegenübersteht, auf die das zu erfassende Licht fällt, ein Photoelektron emittiert; oder eine Photokathode vom Reflexionstyp, die auf einem Substrat angeordnet ist, das das zu erfassende Licht ausblendet, und die von einer Fläche, auf die das zu erfassende Licht fällt, ein Photoelektron emittiert. Die Elektronenröhre vom Transmissionstyp wird so platziert, dass ihre Eintrittsfläche senkrecht auf der Einfallsrichtung des zu erfassenden Lichts steht, wohingegen die Photokathode vom Reflexionstyp so platziert wird, dass sie in Bezug auf die Einfallsrichtung des zu erfassenden Lichts geneigt ist.

[0024] Insbesondere kann eine Photokathode, deren Oberfläche mit Wasserstoff abgeschlossen ist, selbst dann einen ausreichenden Quantenwirkungsgrad aufrecht erhalten, wenn sie Luft ausgesetzt ist, so dass sie chemisch stabil ist.

[0025] Die Photokathode kann ferner über eine zweite Schicht aus einem Alkalimetall oder einer Verbindung eines solchen bestehen, die auf der ersten Schicht (Schicht aus polykristallinem Diamant) vorhanden ist. Die zweite Schicht verbessert den Quantenwirkungsgrad der Photokathode weiter. Insbesondere dann, wenn sie auf einer ersten Schicht ausgebildet ist, deren Oberfläche mit Wasserstoff oder Sauerstoff abgeschlossen ist, ist der Quantenwirkungsgrad der Photokathode merklich verbessert.

[0026] Wenn der Leitungstyp des polykristallinen Diamantfilms, als erster Schicht der Photokathode, vom p-Typ ist, zeigt der p-Film einen niedrigeren Widerstandswert und emittiert auf leichtere Weise Photoelektronen (erzielt einen höheren Quantenwirkungsgrad).

[0027] Die auf die oben genannte Weise konfigurier-

te Photokathode ist bei verschiedenen Arten von Elektronenröhren, wie als Photovervielfacher, anwendbar.

[0028] Wie oben angegeben, kann die Elektronenröhre-Photokathode als Photokathode vom Reflexionstyp anwendbar sein, die auf einer Fläche eines Lichtabschirmelements angeordnet ist, das der Eingangsschirmplatte zugewandt ist, wobei sie durch das Lichtabschirmelement gehalten wird, das ein Element sein kann, das einfallendes Licht ausblendet (Material, das, zumindest, Ultraviolettlicht mit einer Wellenlänge nicht über 200 nm ausblendet). Als Material für das Lichtabschirmelement kann Silicium (Si), ein metallisches Material oder dergleichen verwendet werden.

[0029] Bei der erfindungsgemäßen Elektronenröhre kann die Anode ein Fluoreszenzfilm sein, der Licht emittiert, wenn er das Photoelektron empfängt, wie es von der Photokathode auf einfallendes Licht hin emittiert wird, um ein zweidimensionales Elektronenbild zu erzeugen, das einem zweidimensionalen optischen Bild des einfallenden Lichts entspricht. Bei einer derartigen Konfiguration kann das zweidimensionale optische Bild des zu erfassenden Lichts direkt betrachtet werden. Ferner kann die Anode ein Festkörper-Bilderzeuger sein, der das Photoelektron empfängt, wie es von der Photokathode auf einfallendes Licht hin emittiert wird, und der ein elektrisches Signal ausgibt, das einem zweidimensionalen optischen Bild des einfallenden Lichts entspricht.

[0030] Hierbei ist bei der auf die oben genannten Weise konfigurierten Elektronenröhre Wasserstoff mit einem Partialdruck im Bereich von $133,3 \times 10^{-6}$ bis $133,3 \times 10^{-3}$ N/m² (1×10^{-6} bis 1×10^{-3} Torr) im Gefäß eingeschlossen. Wenn Wasserstoff mit diesem Druckbereich im Gefäß eingeschlossen ist, wird die Oberfläche der Photokathode chemisch stabil, wodurch die Elektronenröhre stabiler arbeiten kann. D. h., dass die Möglichkeit der Erzeugung einer Entladung innerhalb der Elektronenröhre zunimmt, wenn der Wasserstoff-Partialdruck höher als $133,3 \times 10^{-3}$ N/m² (1×10^{-3} Torr) ist. Demgegenüber benötigt es unter $133,3 \times 10^{-6}$ N/m² (1×10^{-6} Torr) viel Zeit, dass der Wasserstoff von der Oberfläche des Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant desorbiert wird, um erneut absorbiert zu werden, was die Möglichkeit erhöht, dass andere Restmoleküle innerhalb der Elektronenröhre an der Oberfläche des Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant adsorbiert werden können, wodurch der sich aus dem eingeschlossenen Wasserstoff ergebende Effekt verloren geht.

[0031] Die Erfindung wird aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung und den beigefügten Zeichnungen, die nur beispielhaft angegeben sind und nicht als die Erfindung beschränkend anzusehen sind, vollständiger zu verstehen sein.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0032] **Fig. 1** ist ein Energiebanddiagramm zum Er-

läutern eines Prozesses, bei dem von einer CsI-Photokathode Photoelektronen emittiert werden;

[0033] **Fig. 2** ist ein Energiebanddiagramm zum Erläutern eines Prozesses, bei dem Photoelektronen von einer NEA-Photokathode emittiert werden;

[0034] **Fig. 3** ist ein Kurvenbild, das die spektrale Empfindlichkeitscharakteristik für die (111)-Fläche von natürlichem Diamant zeigt, der mit einem p-Fremdstoff dotiert ist;

[0035] **Fig. 4** ist ein Energiebanddiagramm zum Erläutern eines Prozesses, bei dem von einem Feldemitter ein Elektron emittiert wird;

[0036] **Fig. 5** ist eine Ansicht zum Erläutern eines Verhaltens, innerhalb einer Schicht aus einkristallinem Diamant, von in dieser Schicht erzeugten Photoelektronen;

[0037] **Fig. 6** ist eine Ansicht zum Erläutern eines Verhaltens, innerhalb einer Schicht aus polykristallinem Diamant, von in dieser Schicht erzeugten Photoelektronen;

[0038] **Fig. 7** ist eine Schnittansicht, die schematisch die Konfiguration einer Elektronenröhre zeigt, die mit einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Transmissionstyp versehen ist;

[0039] **Fig. 8** ist eine Schnittansicht der in der **Fig. 7** dargestellten erfindungsgemäßen Photokathode vom Transmissionstyp und ihres entsprechenden Energiebanddiagramms;

[0040] **Fig. 9** ist ein (erstes) Kurvenbild, das eine spektrale Empfindlichkeitscharakteristik einer Elektronenröhre zeigt, die mit einem ersten Beispiel (H/Diamant) einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Transmissionstyp versehen ist, wobei dessen Abszisse und die Ordinate die Photonenenergie (eV) bzw. den gemessenen Quantenwirkungsgrad QE (%) zeigen;

[0041] **Fig. 10** ist ein (zweites) Kurvenbild, das eine spektrale Empfindlichkeitscharakteristik der Elektronenröhre zeigt, die mit dem ersten Beispiel (H/Diamant) einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Transmissionstyp versehen ist, dessen Abszisse und Ordinate die Photonenenergie (eV) bzw. den Quantenwirkungsgrad QE (%) der Photokathode zeigen, mit einer Korrektur auf Grundlage des Transmissionsvermögens ihrer Eingangsschirmplatte hinsichtlich des zu erfassenden Lichts;

[0042] **Fig. 11** ist eine Schnittansicht, die eine Konfiguration einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Reflexionstyp zeigt;

[0043] **Fig. 12** ist eine Schnittansicht, die eine Konfiguration einer Elektronenröhre zeigt, die mit der in der **Fig. 11** dargestellten erfindungsgemäßen Photokathode vom Reflexionstyp versehen ist;

[0044] **Fig. 13** ist ein (erstes) Kurvenbild, das eine spektrale Empfindlichkeitscharakteristik einer Elektronenröhre zeigt, die mit ersten Beispielen (CsO, KO, RbO/H/p-Diamant) einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Reflexionstyp versehen ist, dessen Abszisse und Ordinate die Photonenenergie (eV) bzw. den Quantenwirkungsgrad QE (%) der Photokathode

zeigen, mit einer Korrektur auf Grundlage des Transmissionsvermögens ihrer Eingangsschirmplatte hinsichtlich des zu erfassenden Lichts, wobei jeweilige Fälle aufgetragen sind, bei denen aktive Schichten aus CsO, KO und RbO bestehen;

[0045] **Fig. 14** ist eine Schnittansicht, die eine Konfiguration einer Elektronenröhre zeigt, die mit einem zweiten Beispiel einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Transmissionstyp versehen ist;

[0046] **Fig. 15** ist ein Kurvenbild, das eine spektrale Empfindlichkeitscharakteristik einer Elektronenröhre zeigt, die mit einem zweiten Beispiel (Cs/H/Diamant) einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Transmissionstyp versehen ist, wobei dessen Abszisse und die Ordinate die Photonenenergie (eV) bzw. den gemessenen Quantenwirkungsgrad QE, (%) zeigen;

[0047] **Fig. 16** ist ein Kurvenbild, das eine spektrale Empfindlichkeitscharakteristik einer Elektronenröhre zeigt, die mit einem dritten Beispiel (Cs/O/Diamant) einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Transmissionstyp versehen ist, wobei dessen Abszisse und die Ordinate die Photonenenergie (eV) bzw. den gemessenen Quantenwirkungsgrad QE (%) zeigen;

[0048] **Fig. 17** ist ein Kurvenbild, das eine spektrale Empfindlichkeitscharakteristik einer Elektronenröhre zeigt, die mit zweiten Beispielen (CsO/H/Diamant) einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Reflexionstyp versehen ist, dessen Abszisse und Ordinate die Photonenenergie (eV) bzw. den Quantenwirkungsgrad QE (%) der Photokathode zeigen, mit einer Korrektur auf Grundlage des Transmissionsvermögens ihrer Eingangsschirmplatte in Bezug auf das zu erfassende Licht, wobei jeweilige Fälle von Schichten aus polykristallinem Diamant aufgezeichnet sind, die mit einem p-Fremdstoff dotiert bzw. nicht dotiert sind;

[0049] **Fig. 18** ist ein Kurvenbild, in dem der gemessene Quantenwirkungsgrad QE (%) und der Quantenwirkungsgrad QE (%) der Photokathode selbst mit einer Korrektur auf Grundlage des Transmissionsvermögens ihrer Eingangsschirmplatte in Bezug auf das zu erfassende Licht betreffend die in der **Fig. 17** dargestellte, mit einem p-Fremdstoff dotierte Schicht aus polykristallinem Diamant aufgetragen sind;

[0050] **Fig. 19** ist ein Energiebanddiagramm zum Erläutern eines Prozesses, bei dem ein Photoelektron von einer mit einem p-Fremdstoff dotierten Schicht aus polykristallinem Diamant emittiert wird;

[0051] **Fig. 20** ist ein Energiebanddiagramm zum Erläutern eines Prozesses, bei dem ein Photoelektron von einer nicht mit einem p-Fremdstoff dotierten Schicht aus polykristallinem Diamant emittiert wird;

[0052] **Fig. 21** ist ein Kurvenbild, das eine spektrale Empfindlichkeitscharakteristik einer Elektronenröhre zeigt, die mit einem Teil der zweiten Beispiele (CsO/H/p-Diamant) einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Reflexionstyp versehen ist, um deren Stabilität zu beobachten, dessen Abszisse und Ordinate die Photonenenergie (eV) bzw. den gemessenen Quantenwirkungsgrad QE (%) zeigen, wobei je-

weilige Fälle vor und nach einem Luftleck aufgezeichnet sind;

[0053] **Fig. 22** ist ein (erstes) Kurvenbild, das eine spektrale Empfindlichkeitscharakteristik einer Elektronenröhre zeigt, die mit einem dritten Beispiel (CsO/O/p-Diamant) einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Reflexionstyp versehen ist, dessen Abszisse und Ordinate die Photonenenergie (eV) bzw. den gemessenen Quantenwirkungsgrad QE (%) zeigen, wobei jeweilige Fälle vor und nach einem Luftleck aufgezeichnet sind;

[0054] **Fig. 23** ist ein (zweites) Kurvenbild, das eine spektrale Empfindlichkeitscharakteristik der Elektronenröhre zeigt, die mit dem dritten Beispiel (CsO/O/p-Diamant) einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Reflexionstyp versehen ist, dessen Abszisse und Ordinate die Photonenenergie (eV) bzw. den Quantenwirkungsgrad QE (%) der Photokathode selbst anzeigen, mit einer Korrektur auf Grundlage des Transmissionsvermögens ihrer Eingangsschirmplatte in Bezug auf das zu erfassende Licht, wobei jeweilige Fälle nach dem Tempern aufgetragen sind;

[0055] **Fig. 24** ist eine Schnittansicht, die einen die erfindungsgemäße Photokathode vom Transmissionstyp verwendenden Photovervielfacher (Elektronenröhre) mit Längseinfall zeigt;

[0056] **Fig. 25** ist eine Schnittansicht, die einen die erfindungsgemäße Photokathode vom Transmissionstyp verwendenden Photovervielfacher (Elektronenröhre) mit Quereinfall zeigt;

[0057] **Fig. 26** ist eine Schnittansicht, die eine Konfiguration einer Bildverstärkerröhre (Elektronenröhre) unter Verwendung eines Fluoreszenzfilms zeigt; und

[0058] **Fig. 27** ist eine Schnittansicht, die eine Konfiguration einer Bilderzeugungsröhre (Elektronenröhre) unter Verwendung eines Festkörper-Bilderzeugers zeigt.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0059] Nachfolgend werden Ausführungsformen der Erfindung erläutert. In den beigefügten Zeichnungen sind identische Teile mit identischen Markierungen gekennzeichnet, wobei keine überlappenden Erläuterungen wiederholt werden.

[0060] Die erfindungsgemäße Photokathode verfügt über einen Dünnsfilm aus polykristallinem Diamant (Schicht aus polykristallinem Diamant). Hierbei ist die erfindungsgemäße Photokathode eine Elektrode zum Emittieren eines Photoelektrons, das durch einfallendes Licht (zu erfassendes Licht) mit einer vorbestimmten Wellenlänge vom Valenzband in das Leitungsband angeregt wird, und sie kann bei verschiedenen Arten von Elektronenröhren, wie einem Photovervielfacher, zum Erfassen von Licht mit einer vorbestimmten Wellenlänge, einer Bildverstärkerröhre und dergleichen verwendet werden.

[0061] Auch umfasst diese Photokathode eine sol-

che vom Transmissionstyp, die auf einem für das zu erfassende Licht transparenten Substrat ausgebildet ist und ein Photoelektron von einer Fläche emittiert, die der Eintrittsfläche, auf die das zu erfassende Licht fällt, abgewandt ist; und eine Photokathode vom Reflexionstyp, die auf einem das zu erfassende Licht ausblendenden Substrat angeordnet ist und ein Photoelektron von einer Fläche emittiert, auf die das zu erfassende Licht fällt.

[0062] Da die Hauptschicht aus polykristallinem Diamant besteht, kann diese Photokathode einen Quantenwirkungsgrad erzielen, der höher als der beim Stand der Technik ist (Dünnschicht aus einkristallinem Diamant). D. h., dass bei einer herkömmlichen Photokathode Photoelektronen, die durch das zu erfassende einfallende Licht angeregt werden, in allen Richtungen diffundieren. Dann werden, während sie wiederholt innerhalb der Photokathode gestreut werden, nur diejenigen Photoelektronen, die schließlich die Oberfläche der Photokathode erreicht haben, in das Vakuum emittiert (in das Innere eines Vakuumgefäßes, in dem die Photokathode platziert ist).

[0063] Im Fall einer Photokathode aus einkristallinem Diamant, wie sie in der **Fig. 5** dargestellt ist, ist die Bahnlänge von Photoelektronen von der Erregungsposition bis in die Position der emittierenden Oberfläche im Allgemeinen lang. Dies beruht auf der Tatsache, dass von den angeregten Photoelektronen diejenigen, die horizontal in Bezug auf die Fläche oder auf die dazu entgegengesetzte Seite diffundieren, eine ziemlich lange Bahnlänge zu dieser Fläche aufweisen, wodurch die Anzahl der von der Oberfläche der Photokathode emittierten Photoelektronen abnimmt und der Quantenwirkungsgrad sinkt.

[0064] Im Fall einer Photokathode aus polykristallinem Diamant existieren demgegenüber, wie es in der **Fig. 6** dargestellt ist, Grenzen individueller Kristallkörner, die zu Emissionsflächen für angeregte Photoelektronen in den jeweiligen Diffusionsrichtungen der Photoelektronen werden, wobei die Bahnlänge von der Anregungsposition bis zur Kristallgrenze (Oberfläche, von der die Photoelektronen emittiert werden) kürzer als im Fall von einkristallinem Diamant wird. Demgemäß wird die Anzahl emittierter Photoelektronen größer als im Fall einer Photokathode aus einkristallinem Diamant, wodurch ein höherer Quantenwirkungsgrad erzielt wird.

[0065] Nachfolgend wird ein erstes Beispiel einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Transmissionstyp erläutert. Die **Fig. 7** ist eine Schnittansicht, die eine Konfiguration einer Elektronenröhre **10** zeigt, bei der das erste Beispiel einer erfindungsgemäßen Photokathode (Dünnschicht aus polykristallinem Diamant, dessen Oberfläche mit Wasserstoff abgeschlossen ist: H/Diamant) angewandt ist.

[0066] Diese Elektronenröhre **10** erfasst zu erfassendes Licht, bei dem es sich um ultraviolettes Licht mit einer Wellenlänge nicht über 200 nm handelt. In dieser Elektronenröhre **10** wird eine Eingangsschirmplatte **31**, die mit einer Photokathode **30** vom Trans-

missionstyp versehen ist, an einem Ende eines Gehäuses fest gehalten und das andere Ende des Gehäuses ist hermetisch durch Glas abgedichtet, um so ein Vakuumgefäß **20** zu bilden. Innerhalb des Vakuumgefäßes **20** ist eine Anode **40**, an die eine positive Spannung, in Bezug auf die Photokathode **30** vom Transmissionstyp angelegt wird, so angeordnet, dass sie der Photokathode **30** vom Transmissionstyp zugewandt ist. Von der Unterseite der Anode **40** aus erstrecken sich Leiterstifte **50a** und **50b**, die mit ihr jeweils an einem Ende elektrisch verbunden sind.

[0067] Bei diesem Beispiel kann, da das zu erfassende Licht Ultraviolettlicht mit einer Wellenlänge nicht über 200 nm ist, kein Borsilikatglas verwendet werden, wie es herkömmlicherweise weite Anwendung findet. Dies beruht auf der Tatsache, dass Borsilikatglas für Licht mit einer Wellenlänge von ungefähr 300 nm oder kürzer undurchsichtig ist. Demgemäß kann für die Eingangsschirmplatte **31** Magnesiumfluorid (MgF_2) oder Lithiumfluorid (LiF) verwendet werden, um derartiges Licht zu erfassen. Jedoch zerfließt LiF , und es kann hinsichtlich der chemischen Stabilität (Wahrscheinlichkeit einer Beeinträchtigung der Eigenschaften) problematisch sein, so dass derzeit MgF_2 bevorzugt ist.

[0068] Abweichend vom herkömmlichen Dünnschicht aus einkristallinem Diamant besteht die Photokathode **30** vom Transmissionstyp aus einem Dünnschicht aus polykristallinem Diamant mit einer Dicke von ungefähr 0,5 μm . Auch ist, abweichend von der herkömmlichen CsI-Photokathode, der Dünnschicht vom aus polykristallinem Diamant, d. h. die Photokathode **30** vom Transmissionstyp, eine NEA-Photokathode, deren Elektrodenaffinität, d. h. der Wert, wie er erhalten wird, wenn die Energie am Boden des Leitungsbandes (CB) von der Energie auf dem Vakuumniveau (VL) abgezogen wird, negativ ist. Vorzugsweise ist der Dünnschicht aus polykristallinem Diamant mit einem Fremdstoff wie Bor (B) dotiert, um p-Leitung zu erzielen. Dies beruht auf der Tatsache, dass dann, wenn der Leitungstyp des Dünnschichts aus polykristallinem Diamant vom p-Typ ist, Photoelektronen leicht zu ihren Emissionsflächen laufen, da das Leitungsband des Dünnschichts aus polykristallinem Diamant gekrümmt ist. Bevorzugter wird nicht gebundener Kohlenstoff an der Oberfläche des Dünnschichts aus polykristallinem Diamant (Photoelektronen-Emissionsfläche) mit Wasserstoff **32** abgeschlossen, was die Arbeitsfunktion des Dünnschichts aus polykristallinem Diamant senkt.

[0069] Wenn zu erfassendes Licht ($h\nu$) auf die Eingangsschirmplatte **31** in der Elektronenröhre **10** fällt, die mit einer derartigen Photokathode **30** vom Transmissionstyp (H/Diamant), wie sie in den **Fig. 7** und **8** dargestellt ist, versehen ist, wird eine Lichtkomponente mit einer Wellenlänge nicht über einer vorbestimmten Wellenlänge (Lichtkomponente im Absorptionsband der Eingangsschirmplatte **31**) durch die Eingangsschirmplatte **31** absorbiert. Ferner wird, wenn das zu erfassende Licht durch die Eingangs-

schirmplatte **31** läuft und die Photokathode **30** vom Transmissionstyp erreicht und durch diese absorbiert wird, ein Elektron-Loch-Paar erzeugt, und dann wird ein Photoelektron (e^-) erzeugt. Aufgrund einer Streuung oder eines internen elektrischen Felds, wie es innerhalb des Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant erzeugt wird, erreicht das so erzeugte Photoelektron die Oberfläche des Diamant-Dünnsfilms mit negativer Elektronenaffinität. Demgemäß wird das Photoelektron vom Dünnsfilm aus polykristallinem Diamant leicht emittiert. Auch wird dann, wenn die Oberfläche des Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant mit Wasserstoff **32** abgeschlossen ist, dessen Arbeitsfunktion im Vergleich zu der ohne Wasserstoffabschluss gesenkt, wodurch das Photoelektron leichter in das Vakuum emittiert wird (aus der Photokathode **30** heraus, jedoch innerhalb des Vakuumgefäßes **20**). So emittierte Photoelektronen werden an der Anode **40** gesammelt, an die eine positive Spannung in Bezug auf die Photokathode **30** vom Transmissionstyp angelegt wird, und sie werden durch die Leiterstifte **50a** und **50b** als elektrisches Signal aus dem Vakuumgefäß **20** herausgeführt.

[0070] Die Erfinder haben die spektrale Empfindlichkeitscharakteristik der Elektronenröhre **10** gemessen, die mit einer derartigen Photokathode **30** vom Transmissionstyp versehen war. Die **Fig. 9** ist ein Kurvenbild, das die spektrale Empfindlichkeitscharakteristik einer Elektronenröhre zeigt, die mit dem ersten Beispiel (Diamant-Dünnsfilm, dessen Oberfläche mit Wasserstoff abgeschlossen ist; nachfolgend als H/Diamant bezeichnet) einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Transmissionstyp (erste Ausführungsform) versehen war. In diesem Kurvenbild zeigen die Abszisse und die Ordinate die Photonenenergie (eV) bzw. den tatsächlich gemessenen quantenwirkungsgrad QE (%).

[0071] Wie es in diesem Kurvenbild dargestellt ist, wird bei einem Dünnsfilm aus polykristallinem Diamant, dessen Oberfläche mit Wasserstoff abgeschlossen ist (H/Diamant) ein relativ hoher Wert des Quantenwirkungsgrads QE, d. h. 12% oder höher, mit guter Reproduzierbarkeit erzielt. Die **Fig. 10** ist ein Kurvenbild, dessen Ordinate den Quantenwirkungsgrad QE (%) des Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant mit einer Korrektur auf Grundlage des Transmissionsvermögens der Eingangsschirmplatte **31** für zu erfassendes Licht für das in der **Fig. 9** dargestellte Kurvenbild betreffend das erste Beispiel eines Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant (H/Diamant) zeigt. Wie es aus der **Fig. 10** erkennbar ist, beträgt der Quantenwirkungsgrad QE der H/Diamant-Photokathode (mit Wasserstoff abgeschlossener Dünnsfilm aus polykristallinem Diamant) selbst ungefähr 24%. Auch haben die Erfinder herausgefunden, dass der Quantenwirkungsgrad eines Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant vom p-Typ (H/p-Diamant) ungefähr doppelt so groß wie der eines Dünnsfilms aus undotiertem polykristallinem Diamant ist. Hierbei ist selbst dann, wenn die Photokathode **30** vom Transmissi-

onstyp auf eine sogenannte Photokathode vom Reflexionstyp abgeändert wird, bei der das zu erfassende Licht auf dieselbe Fläche fällt, von der Photoelektronen emittiert werden, die spektrale Empfindlichkeitscharakteristik derselben im Wesentlichen dieselbe wie die einer Photokathode vom Transmissionstyp. Auch ist der Quantenwirkungsgrad dann, wenn die Oberfläche des Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant nicht mit Wasserstoff abgeschlossen ist, niedriger als der eines mit Wasserstoff abgeschlossenen Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant.

[0072] Ein derartig relativ hoher Quantenwirkungsgrad, wie er bei der Photokathode **30** vom Transmissionstyp aus einem Dünnsfilm aus polykristallinem Diamant erhalten wird, ist vermutlich der Tatsache zuzuschreiben, dass, da der Dünnsfilm aus polykristallinem Diamant aus Teilchen mit jeweils einem Durchmesser in der Größenordnung von einigen μm besteht, die Oberfläche desselben große Unregelmäßigkeiten aufweist. D. h., dass zu erfassendes Licht optisch durch die oben genannten Unregelmäßigkeiten gebrochen und gestreut wird, wodurch seine optische Weglänge zunimmt. Demgemäß nimmt die maßgebliche Lichtabsorptionseffizienz zu, wodurch eine größere Anzahl von Photoelektronen erzeugt wird. Auch wird, da der Dünnsfilm aus Körnern besteht, die Bahnlänge der von derartigen Körnern emittierten Photoelektronen kürzer. Demgemäß ist es ersichtlich, dass der Eintrittswirkungsgrad, gemäß dem die Photoelektronen die Emissionsfläche erreichen, erhöht ist. Demgemäß können die Photoelektronen, die die Oberfläche des Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant erreicht haben, dessen Elektronenaffinität im Wesentlichen null oder negativ ist, praktisch in das Vakuum (in das Innere des Vakuumgefäßes **20**) entweichen. Daher kann die Photokathode vom Transmissionstyp, bei der sowohl die Absorptionseffizienz für das zu erfassende Licht als auch die Oberflächenankunft-Effizienz für Photoelektronen dominierend sind, einen hohen Quantenwirkungsgrad zeigen.

[0073] Hier sei darauf hingewiesen, dass die erfindungsgemäße Photokathode wesentlich von einem Feldemitter verschieden ist.

[0074] Ein Bauteil, das allgemein als Feldemitter bekannt ist, ist ein solches, das ein Elektron auf dem Fermi-niveau durch einen Tunneleffekt in das Vakuum emittiert (in einen Vakuumraum, in dem der Feldemitter angeordnet ist), wie es in der **Fig. 4** dargestellt ist, wenn an eine Oberfläche eines Metalls oder eines Halbleiters ein starkes elektrisches Feld ($> 10^6 \text{ V/cm}$) angelegt wird. D. h., dass, wie es aus der **Fig. 4** erkennbar ist, das emittierte Elektron ein solches auf dem Fermi-niveau und kein sogenanntes Photoelektron ist, bei dem es sich um ein Elektron handelt, das vom Valenzband in das Leitungsband emittiert wird. Hierbei ist die **Fig. 4** ein Energiebanddiagramm zum Erläutern eines Prozesses, bei dem ein Elektron von einem Feldemitter emittiert wird.

[0075] Demgegenüber ist, wie es beispielhaft in der

Fig. 8 oder den **Fig. 1** und **2** dargestellt ist, die erfindungsgemäße Photokathode eine Elektrode, die ein Photoelektron in das Vakuum emittiert, das durch einfallendes Licht vom Valenzband in das Leitungsband angeregt wird. Dies ist wesentlich von einem Feldemitter verschieden, der durch einen Tunneleffekt ein Fermi-niveau-Elektron in das Vakuum emittiert. Auch ist bei einer Photokathode nicht immer ein starkes elektrisches Feld an der Oberfläche erforderlich. Bei einer Photokathode können durch ein Feld emittierte Elektronen, wie sie durch ein starkes elektrisches Feld erzeugt werden, einen Dunkelstrom bilden, und eher ihr Funktionsvermögen beeinträchtigen.

[0076] Demgemäß gehören ein Feldemitter mit einer Diamanthalbleiterschicht und eine erfindungsgemäße Photokathode zu voneinander völlig verschiedenen technischen Gebieten, und es besteht keine Beziehung zwischen ihnen.

[0077] Nachfolgend werden die Herstellung einer derartigen Photokathode **30** vom Transmissionstyp und die Herstellung der mit ihr versehenen Elektronenröhre **10** erläutert. Als Erstes wird, mittels Glas, die Anode **40** innerhalb eines Gehäuses platziert, das als Hauptkörper des Vakuumgefäßes **20** dient. Hierbei ist eine Öffnung **21** zum Evakuieren von Luft aus der Vakuumkammer **20** vorhanden. Anschließend wird, um die Photokathode **30** vom Transmissionstyp herzustellen, z. B. eine Mikrowellen-Plasma-CVD(chemische Dampfabcheidung)-Technik unter Verwendung einer durch Mikrowellen angeregten Plasmaentladungskammer (nicht dargestellt) dazu verwendet, einen Dünnfilm aus polykristallinem Diamant auf der Eingangsschirmplatte **31** herzustellen. D. h., dass die Eingangsschirmplatte **31** innerhalb der Plasmaentladungskammer platziert wird und ein Materialgas aus einem Gemisch von z. B. CO und H₂ in diese eingeleitet wird. Danach werden Mikrowellen zum Entladen und Zersetzen des Materialgases in der Plasmaentladungskammer verwendet, wodurch auf der Eingangsschirmplatte **31** ein Dünnfilm aus polykristallinem Diamant abgeschieden wird. Um den Dünnfilm aus polykristallinem Diamant in eine p-Halbleiterschicht zu wandeln, wird während des Abscheidungsprozesses ein vorbestimmter Anteil von Diboran (B₂H₆) eingeleitet. Insbesondere ist es, für günstiges Dotieren, bevorzugt, dass das Verhältnis des zugeführten Kohlenstoffs zum Bor beim Abscheiden 1.000 : 1 bis 10.000 : 1 beträgt.

[0078] Obwohl es nicht immer erforderlich ist, dass der Halbleiter aus polykristallinem Diamant mit Bor dotiert wird, um in einen p-Halbleiter gewandelt zu werden, ist es bevorzugt, dies zu tun, um einen höheren Quantenwirkungsgrad zu erzielen. Auch wird zwar bei dieser Ausführungsform zum Herstellen des Dünnfilms aus polykristallinem Diamant Mikrowellen-Plasma-CVD verwendet, jedoch soll das Herstellungsverfahren nicht hierauf beschränkt sein. Z. B. könnte hierfür eine Heißwendel-CVD-Technik oder dergleichen verwendet werden.

[0079] Anschließend verbleibt der so erhaltene

Dünnfilm aus polykristallinem Diamant, d. h. die Photokathode **30** vom Transmissionstyp, für mehrere Minuten in einer Wasserstoffplasma-Atmosphäre, wodurch seine Oberfläche mit Wasserstoff abgeschlossen wird.

[0080] Nachdem die Photokathode **30** vom Transmissionstyp aus dem so hergestellten, mit Wasserstoff abgeschlossenen Dünnfilm aus polykristallinem Diamant (H/Diamant) an die Luft entnommen wurden wird die Eingangsschirmplatte **31** an einem Ende des Gehäuses angebracht. Ferner wird die Photokathode **30** vom Transmissionstyp im Zustand, in dem das Innere des Vakuumgefäßes **20** durch die Öffnung **31** bis auf ein Ultrahochvakuum von einem Druck von ungefähr $133,3 \times 10^{-8} \text{ N/m}^2$ (1×10^{-8} Torr) oder bevorzugter $133,3 \times 10^{-10} \text{ N/m}^2$ (1×10^{-10} Torr) oder weniger, wobei es sich um keine beanspruchte Ausführungsform handelt, für mehrere Stunden einem Entgasen bei ungefähr 200°C unterzogen wird. Da die Oberfläche der NEA-Photokathode vom Transmissionstyp mit diesen Eigenschaften die Tendenz zeigt, durch Restgas oder dergleichen stark beeinflusst zu werden, ist es erforderlich, dass die Oberfläche auf atomarer Ebene rein ist, um die Photokathode **30** zu erhalten. Danach wird das Vakuumgefäß **20** abgeklemmt (d. h. das durch die Öffnung **21** am Inneren einer Abpumpeinheit angebrachte Vakuumgefäß **20** wird von der Abpumpeinheit getrennt, ohne dass der Vakuumzustand innerhalb des Vakuumgefäßes **20** unterbrochen wird), um die Öffnung **21** abzudichten, wodurch die gewünschte Elektronenröhre **10** erhalten wird.

[0081] Für den Wasserstoffabschlussprozess betreffend die Oberfläche des Dünnfilms aus polykristallinem Diamant besteht keine Beschränkung auf, den oben genannten. Z. B. wird, gemäß der beanspruchten Erfindung, nachdem die mit dem Dünnfilm aus polykristallinem Diamant versehene Eingangsschirmplatte **31** am Vakuumgefäß **20** befestigt wurde, das Innere des Vakuumgefäßes **20** auf ein Vakuum von ungefähr $133,3 \times 10^{-8} \text{ N/m}^2$ (1×10^{-8} Torr) evakuiert und ein Entgasen wird bei ungefähr 200°C für mehrere Stunden ausgeführt. Danach wird, wie beansprucht, Wasserstoff von ungefähr $133,3 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2$ (1×10^{-3} Torr) in das Vakuumgefäß **20** eingeleitet, und die Photokathode **30** vom Transmissionstyp wird durch die im Vakuumgefäß vorhandene Wolframwendel auf ungefähr 300°C erwärmt, wodurch die Oberfläche mit Wasserstoff abgeschlossen wird. Wasserstoff, der innerhalb des die Elektronenröhre **10** bildenden Vakuumgefäßes **20** eingeschlossen ist, stabilisiert die Oberfläche des Dünnfilms aus polykristallinem Diamant auf chemische Weise. Danach wird das Vakuumgefäß **20** abgeklemmt, wodurch eine Elektronenröhre **10** erhalten wird, die ziemlich stabil arbeitet. Die so erhaltene Elektronenröhre **10** kann, wie die obige, hohe Empfindlichkeit, d. h. einen Quantenwirkungsgrad von 12% oder höher (Quantenwirkungsgrad der Photokathode selbst, mit einer Korrektur auf Grundlage des Transmissionsvermö-

gens der Eingangsschirmplatte **31**, das 24% oder höher ist) bei guter Reproduzierbarkeit erzielen.

[0082] Hierbei ist es, wie beansprucht, wesentlich, dass der Wasserstoff mit einem Partialdruck von mindestens unter $133,3 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2$ (1×10^{-3} Torr) jedoch über $133,3 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$ (1×10^{-6} Torr) eingeschlossen wird. Dies aufgrund der Tatsache, dass eine stärkere Möglichkeit für das Auftreten einer Entladung in der Elektronenröhre **10** vorliegt, wenn der Partialdruck des Wasserstoffs höher als $133,3 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2$ (1×10^{-3} Torr) ist. Unterhalb von $133,3 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$ (1×10^{-6} Torr) benötigt es andererseits viel Zeit, dass der Wasserstoff erneut absorbiert wird, nachdem er von der Oberfläche des Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant desorbiert wurde. Demgemäß besteht die Wahrscheinlichkeit, dass an der Oberfläche des Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant andere Restmoleküle im Vakuumgefäß **20** absorbiert werden, wodurch der sich aus eingeschlossenem Wasserstoff ergebende Effekt verloren geht.

[0083] Für die Photokathode **30** vom Transmissionsstyp gemäß der beanspruchten Erfindung soll keine Beschränkung auf das oben genannte Beispiel bestehen. Bei der oben genannten Photokathode **30** (H/Diamant) ist die Oberfläche des Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant mit Wasserstoff abgeschlossen, um ihre Arbeitsfunktion zu senken. Bei der Photokathode **30** kann, um die Arbeitsfunktion der Oberfläche weiter abzusenken, eine aktive Schicht aus einem Alkalimetall wie Cs oder einer Verbindung davon auf der Oberfläche des mit Wasserstoff abgeschlossenen Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant angebracht werden (wodurch sich z. B. Cs/H/Diamant ergibt). Obwohl das Alkalimetall in dieser aktiven Schicht beispielhaft als Cs angegeben ist, können, ohne dass dadurch eine Beschränkung bestünde, andere Alkalimetalle wie K, Rb, Na und dergleichen verwendet werden. Es können auch ähnliche Wirkungen und Effekte erzielt werden, wenn die aktive Schicht aus einer Verbindung wie einem Oxid oder einem Fluorid aus einem Alkalimetall besteht. Ferner kann eine aktive Schicht, in der mehrere der oben genannten Alkalimetalle oder ihre Oxide oder Fluoride kombiniert sind, bei der Photokathode **30** vom Transmissionsstyp angewandt werden.

[0084] Nachfolgend werden, betreffend eine erfindungsgemäße Photokathode vom Reflexionstyp, zunächst ein Verfahren zum Synthetisieren ihres Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant und ein Verfahren zum Herstellen der Photokathode vom Reflexionstyp erläutert.

[0085] Als Erstes wird, wie es in der **Fig. 11** dargestellt ist, ein kommerziell verfügbares, billiges Si(100)-Substrat **600** mit einer Dicke von ungefähr 0,5 mm bereitgestellt, und darauf wird durch Niederdruck-Mikrowellen-Plasma-CVD ein mit Bor (B) dotierter Dünnsfilm **610** aus polykristallinem Diamant (p-Diamant) mit einer Dicke von ungefähr 5 μm synthetisiert. Genauer gesagt, wird als Materialgas CH_4 verwendet, während als Dotierstoffgas B_2H_6 verwen-

det wird. Diese Gase werden in Mischung mit H_2 -Gas zugeführt. Die Synthesetemperatur beträgt 850°C , der Reaktionsdruck beträgt 6665 N/m^2 (50 Torr), die Mikrowellen-Ausgangsleistung beträgt 1,5 W und die Filmbildungsrate beträgt 0,5 $\mu\text{m/h}$. Nachdem der Film vollständig hergestellt ist, werden nur das Materialgas CH_4 und das Dotierstoffgas B_2H_6 gestoppt, und H_2 -Gas wird weiterhin für ungefähr 5 Minuten zugeführt, wodurch der Dünnsfilm **610** aus polykristallinem Diamant vom p-Typ mit einer mit Wasserstoff abgeschlossenen Oberfläche (H/p-Diamant) erhalten wird.

[0086] Anschließend wird die so synthetisierte Probe dem Niederdruck-Mikrowellen-CVD-System entnommen und in die in der **Fig. 12** dargestellte Elektronenröhre (Photoröhre) **11** eingebaut. Diese Elektronenröhre **11** besteht aus dem Si(100)-Substrat **600**; dem auf dem Substrat **600** synthetisierten Dünnsfilm **610** aus polykristallinem Diamant, um einen Teil einer Photokathode **650** vom Reflexionstyp zu bilden; einer auf der Oberfläche des Dünnsfilms **610** aus polykristallinem Diamant hergestellten aktiven Schicht **620**; einer Ringelektrode **112** zum Sammeln emittierter Photoelektronen; einem Eintrittsfenster **113** aus MgF_2 , das ein für Ultraviolettstrahlen transparentes Material ist, das als Fenster für einfallendes Licht (zu erfassendes Licht) wirkt; einem Vakuumgefäß **110** aus einem Glaskolben; Leiterstiften **114a** und **114b**, die in einen Teil des Vakuumgefäßes **110** eingebettet sind, um elektrisch mit der Photokathode **650** bzw. der Anode **112** verbunden zu werden; einer Cs-Manschette **111** und einem Leiterstift **114c**, der elektrisch mit dieser verbunden ist. Diese Elektronenröhre **11** wird über die Öffnung **21** an einer Abpumpeinheit angebracht, und nachdem das Innere auf ein Vakuum von ungefähr $133,3 \times 10^{-8} \text{ N/m}^2$ (1×10^{-8} Torr) evakuiert wird, wird sie zum Entgasen einem Tempervorgang bei ungefähr 200°C unterzogen.

[0087] Um die Arbeitsfunktion der Oberfläche des mit Wasserstoff abgeschlossenen Dünnsfilms **610** aus polykristallinem Diamant vom p-Typ (H/p-Diamant) zu senken, werden Cs und O_2 abwechselnd zugeführt, wobei auf dem Diamant-Dünnsfilm **610** vom p-Typ (H/p-Diamant) eine aktive CsO-Schicht **620** in der Größenordnung einer einzelnen Atomschicht ausgebildet wird. So wird die Photokathode **650** (CsO/H/p-Diamant) erhalten. Hierbei kann die aktive CsO-Schicht **620** einfach durch einen Prozess hergestellt werden, bei dem die kommerziell verfügbare Cs-Manschette **110** durch elektrische Leitung erwärmt wird, um Cs zu liefern, während dafür gesorgt wird, dass O_2 hoher Reinheit durch ein Leckventil in das Vakuumgefäß **110** einleckt. Hierbei kann, wenn der Photoelektronen-Emissionsstrom von der Anode **112** überwacht wird, während die aktive CsO-Schicht **620** mit Ultraviolettlicht bestrahlt wird, die optimale Dicke der aktiven CsO-Schicht **620** mit guter Reproduzierbarkeit kontrolliert werden. Danach wird die Öffnung **21** der Elektronenröhre **11** (bei der es sich um keine beanspruchte Ausführungsform handelt)

verschlossen.

[0088] Die **Fig. 13** zeigt die spektrale Empfindlichkeitscharakteristik der so erhaltenen Elektronenröhre **11** im Ultraviolettbereich. Das einfallende Licht erreicht die Photokathode **650** vom Reflexionstyp durch das in einem Teil des Vakuumgefäßes **110** angeordnete MgF_2 -Fenster **113** (Eingangsschirmplatte) hindurch und es wird durch den Dünnsfilm **610** aus polykristallinem Diamant der Photokathode **650** vom Reflexionstyp absorbiert, wodurch Photoelektronen angeregt werden. So angeregte Photoelektronen erreichen aufgrund einer Diffusion die Oberfläche des Dünnsfilms **610** aus polykristallinem Diamant. Hierbei können die Photoelektronen leicht in das Vakuum entweichen, da die Oberfläche des Dünnsfilms **610** aus polykristallinem Diamant aufgrund der Wirkung der aktiven Schicht **620** eine niedrige Arbeitsfunktion zeigt. Tatsächlich haben die Erfinder herausgefunden, dass, wie es in der **Fig. 13** dargestellt ist, ziemlich hohe Quantenwirkungsgrade erzielt werden können, d. h. maximal 90% im Fall einer Photokathode, deren aktive Schicht **620** aus CsO besteht (CsO/H/p-Diamant), maximal 80% im Fall einer Photokathode, deren aktive Schicht **620** aus RbO besteht (RbO/H/p-Diamant) und maximal 70% im Fall einer Photokathode, deren aktive Schicht **620** aus KO besteht (KO/H/p-Diamant). Hierbei ist der an der Ordinate der **Fig. 13** gezeigte Quantenwirkungsgrad der Quantenwirkungsgrad QE (%) des Dünnsfilms **610** aus polykristallinem Diamant mit einer Korrektur auf Grundlage des Transmissionsvermögens der MgF_2 -Eingangsschirmplatte **113** im Ultraviolettbereich. Diese Quantenwirkungsgradwerte sind viel höher als der Quantenwirkungsgrad von 20% hinsichtlich ähnlicher einfallender Photonenenergie (eV) beim natürlichen einkristallinen Diamant, worüber in der oben genannten Literaturstelle von Himpfel berichtet wurde, wodurch sich die Effektivität der Erfindung deutlich zeigt. Es wird angenommen, dass dies der Tatsache zuzuschreiben ist, da die Photokathode gemäß der beanspruchten Erfindung aus einem Dünnsfilm aus polykristallinem Diamant mit großer Oberfläche besteht, die Wahrscheinlichkeit, mit der die durch das einfallende Licht angeregten Photoelektronen ihre Emissionsfläche erreichen, größer als bei einem Dünnsfilm aus einkristallinem Diamant mit ebener Oberfläche ist. Ferner wird, was jedoch auch aus der Tatsache herrühren kann, dass das einfallende Licht optisch an den einzelnen Kristallkorngrenzen gestreut wird, wodurch der Absorptionskoeffizient zunimmt, davon ausgegangen, dass dies der weiteren Absenkung der Arbeitsfunktion zuzuschreiben ist, zu der es durch die aktive Schicht aus einem Alkalimetall oder dessen Oxid kommt.

[0089] Demgemäß kann, da die Photokathode **650** gemäß der beanspruchten Erfindung aus polykristallinem Diamant oder einem hauptsächlich aus polykristallinem Diamant bestehenden Material besteht, und da sie ferner über die aktive Schicht **620** aus einem Alkalimetall oder dessen Oxid zum Absenken ih-

rer Arbeitsfunktion besteht, eine Photokathode sein, die einfacher als eine herkömmliche Photokathode unter Verwendung von einkristallinem Diamant billiger ein höheres Funktionsvermögen zeigt.

[0090] Bei der oben genannten Photokathode **650** vom Reflexionstyp ist der mit B dotierte Dünnsfilm **610** aus polykristallinem Diamant vom p-Typ verwendet. Obwohl bei der Photokathode **650** vorzugsweise ein Dünnsfilm aus polykristallinem Diamant vom p-Typ verwendet wird, um den Quantenwirkungsgrad zu erhöhen, muss nicht immer eine Beschränkung auf den p-Typ bestehen. Wie es später erläutert wird, beträgt jedoch, entsprechend den Ergebnissen von durch die Erfinder ausgeführten Versuchen, der Quantenwirkungsgrad eines Dünnsfilms aus undotiertem polykristallinem Diamant ungefähr 1/2 derjenige eines mit B dotierten Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant vom p-Typ.

[0091] Bei der Photokathode **650** vom Reflexionstyp ist die Oberfläche des Dünnsfilms **610** aus polykristallinem Diamant mit Wasserstoff abgeschlossen.

[0092] Obwohl der Dünnsfilm **610** aus polykristallinem Diamant auf Si-Substrat **600** in der Photokathode **650** durch Mikrowellen-Plasma-CVD synthetisiert wird, kann das Substrat aus beliebigen anderen Halbleitern, Metallen und dergleichen bestehen, ohne dass eine Beschränkung auf Si bestünde. Um eine Photokathode mit einer gewünschten Charakteristik mit guter Reproduzierbarkeit zu erhalten, ist es jedoch bevorzugt, ein Si-Substrat zu verwenden, das über einen chemisch stabilen Kristallkörper verfügt, während es billig ist. Obwohl die gesamte Photokathode gemäß der vorliegenden beanspruchten Erfindung vorzugsweise aus polykristallinem Diamant bestehen sollte, kann ein bestimmter Grad von Effekten selbst dann erzielt werden, wenn sie teilweise Komponenten enthält, die nicht polykristallin sind, z. B. Komponenten aus graphitoder diamantartigem Kohlenstoff. Demgemäß soll für eine erfindungsgemäße Photokathode keine Beschränkung nur auf eine solche bestehen, die vollständig aus einem Dünnsfilm aus polykristallinem Diamant besteht.

[0093] Die vorstehend genannten modifizierten Beispiele sind auch bei der erfindungsgemäßen Photokathode vom Transmissionsstyp mit der Ausnahme des Substrats anwendbar (d. h., die MgF_2 -Eingangsschirmplatte dient im Fall der Photokathode vom Transmissionsstyp als Substrat).

[0094] Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf die **Fig. 14**, betreffend die erfindungsgemäße Photokathode **30** vom Transmissionsstyp, die Herstellung einer damit versehenen Elektronenröhre **12** erläutert. Um die Photokathode vom Transmissionsstyp in die in der **Fig. 14** dargestellte Elektronenröhre **12** einzubauen, ist es, abweichend vom in der **Fig. 7** dargestellten Beispiel, erforderlich, dass die Cs-Manschette **111** innerhalb des das Vakuumgefäß **20** bildenden Gehäuses platziert wird. Dann wird, durch Widerstandsheizern der Cs-Manschette **111**, während der Diamantfilm **30** aus polykristallinem Diamant durch

Ultraviolettlicht von einer Hochdruck-Quecksilberlampe bestrahlt wird und der Photoelektronen-Emissionsstrom von der Anode **40** überwacht wird, eine aktive Schicht **300** aus Cs auf dem mit einer mit Wasserstoff abgeschlossenen Fläche versehenen Dünnfilm **30** aus polykristallinem Diamant (H/ Diamant) hergestellt. Wenn der Photoelektronen-Emissionsstrom maximal ist, wird das Widerstandsheizen beendet. Danach wird das Vakuumgefäß **20** von der Abpumpeinheit abgeklemmt, wodurch die Elektronenröhre **12** erhalten wird.

[0095] Die **Fig. 15** ist ein Kurvenbild, das eine spektrale Empfindlichkeitscharakteristik der so erhaltenen Elektronenröhre **12** zeigt, die mit einem zweiten Beispiel (Cs/H/Diamant) der erfindungsgemäßen Photokathode vom Transmissionstyp versehen ist. Wie es aus diesem Kurvenbild erkennbar ist, haben die Erfinder herausgefunden, dass der tatsächlich gemessene Quantenwirkungsgrad QE der Elektronenröhre **12** 45% oder höher ist (wobei der auf Grundlage des Absorptionskoeffizienten der Eingangsschirmplatte **31** korrigierte Quantenwirkungsgrad 90% oder mehr beträgt), und dass sie über gute Reproduzierbarkeit verfügt.

[0096] Die **Fig. 16** ist ein Kurvenbild, das eine spektrale Empfindlichkeitscharakteristik der Elektronenröhre **12** zeigt, die ein drittes Beispiel (Cs/O/Diamant) der Photokathode vom Transmissionstyp enthält, wobei es sich um kein Beispiel der Erfindung handelt, d. h. einer Photokathode mit einem Dünnfilm aus polykristallinem Diamant mit einer mit Sauerstoff abgeschlossenen Oberfläche und einer auf dem Diamant-Dünnfilm angebrachten aktiven Cs-Schicht. Hierbei zeigt die Ordinate den tatsächlich gemessenen Quantenwirkungsgrad QE (unkorrigiert).

[0097] Wie es aus diesem Kurvenbild erkennbar ist, haben die Erfinder herausgefunden, dass der Quantenwirkungsgrad QE dieser Photokathode 30% oder mehr beträgt (wobei der auf Grundlage des Absorptionskoeffizienten der Eingangsschirmplatte **31** korrigierte Quantenwirkungsgrad 60% oder mehr beträgt) und dass sie hervorragende Reproduzierbarkeit zeigt.

[0098] Obwohl beim dritten Beispiel Cs als Material für die aktive Schicht verwendet ist, kann, ohne Beschränkung hierauf, jedes beliebige andere Alkalimetall als Cs oder Verbindungen wie Oxide oder Fluoride von Alkalimetallen ebenfalls verwendet werden. Ferner kann bei der Photokathode vom Transmissionstyp eine aktive Schicht angewandt werden, bei der mehrere der oben genannten Alkalimetalle oder der Oxide oder Fluoride derselben kombiniert sind.

[0099] Nachfolgend werden Ergebnisse von Versuchen erläutert, wie sie von den Erfindern betreffend Effekte ausgeführt wurden, wie sie erhalten werden, wenn der Leitungstyp des Dünnfilms aus polykristallinem Diamant auf den p-Typ eingestellt ist. Jede bei den folgenden Versuchen erstellte Probe ist eine auf einem Si-Substrat hergestellte Photokathode vom Reflexionstyp.

[0100] Als Erstes wurden ein Si-Substrat, dessen Oberfläche mit einem mit B dotierten Dünnfilm aus polykristallinem Diamant vom p-Typ versehen wurde, und ein Si-Substrat, dessen Oberfläche mit einem undotierten Dünnfilm aus polykristallinem Diamant versehen wurde, hergestellt. Dann wurde jedes der so hergestellten Si-Substrate in eine Elektronenröhre mit einer MgF₂-Eingangsschirmplatte eingebaut, die der in der **Fig. 12** dargestellten Elektronenröhre ähnlich war, und es erfolgte ein Tempern bei 200°C. Anschließend wurde bei einer Temperatur von 350°C und einem H₂-Partialdruck von $666,5 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2$ (5×10^{-3} Torr) die Oberfläche des Dünnfilms aus polykristallinem Diamant durch die Heißwendeltechnik mit Wasserstoff abgeschlossen. Danach wurde, bei Raumtemperatur, unter Verwendung einer Niederdruck-Hg-Lampe als Lichtquelle, die Oberfläche des im Vakuumgefäß platzierten Dünnfilms aus polykristallinem Diamant mit Cs und O aktiviert (es wurde eine aktive CsO-Schicht auf dem Dünnfilm aus polykristallinem Diamant hergestellt), wodurch Proben zweiter Beispiele (CsO/H/p-Diamant und CsO/H/Diamant) für Photokathoden vom Reflexionstyp erhalten wurden. Hierbei war das Aktivierungsverfahren genau dasselbe wie im Fall von GaAs, d. h. eine Yo-Yo-Technik, bei der Cs und O₂ abwechselnd in das Vakuumgefäß geleitet werden. Nachdem diese Elektronenröhren von der Abpumpeinheit abgeklemmt waren, wurde die spektrale Empfindlichkeit jeder Elektronenröhre gemessen.

[0101] Die **Fig. 17** ist ein Kurvenbild, das die jeweilige spektrale Empfindlichkeitscharakteristik einer die Probe (CsO/H/p-Diamant) mit dem mit B dotierten Dünnfilm aus polykristallinem Diamant vom p-Typ enthaltenden Elektronenröhre und der die Probe (CsO/H/Diamant) mit dem undotierten Dünnfilm aus polykristallinem Diamant vom p-Typ enthaltenden Elektronenröhre zeigt. Hierbei zeigt, in der **Fig. 17**, die Abszisse die Photonenenergie (eV), während die Ordinate den tatsächlich gemessenen Quantenwirkungsgrad QE (%) jeder Probe zeigt. Die **Fig. 18** ist ein Kurvenbild betreffend die Probe mit dem Dünnfilm aus polykristallinem Diamant vom p-Typ, wobei sowohl der tatsächlich gemessene Quantenwirkungsgrad QE (Photonen/Elektronen) als auch der auf Grundlage des Transmissionsvermögens der MgF₂-Eingangsschirmplatte korrigierte Quantenwirkungsgrad QE (Photonen/Elektronen) aufgetragen sind. Wie es aus der **Fig. 17** erkennbar ist, wurden, als maximale Empfindlichkeit, sehr hohe Werte der Quantenwirkungsgrad QE erzielt, nämlich 49% bei der mit B dotierten Probe und 30% bei der undotierten Probe. Der Unterschied der Quantenwirkungsgrade QE zwischen ihnen, der später detailliert erläutert wird, ist nicht durch den Unterschied ihrer Oberflächenzustände verursacht, sondern durch den Unterschied der Bandbiegerichtungen im Diamant. Hierbei ist der Quantenwirkungsgrad QE von 49%, selbst als Wert vor der Korrektur, ungefähr doppelt so hoch wie die Empfindlichkeit der oben genannten CsI-Pho-

tokathode.

[0102] Als Nächstes zeigt, wenn der tatsächliche Quantenwirkungsgrad der mit B dotierten Probe abgeschätzt wird (wobei die **Fig. 18** ein Kurvenbild ist, das die spektrale Empfindlichkeitscharakteristik zeigt, die auf Grundlage des Transmissionsvermögens der als Eintrittsfenster dienenden MgF_2 -Eingangsschirmplatte korrigiert ist) das Transmissionsvermögen der MgF_2 -Eingangsschirmplatte insbesondere auf der Seite kurzer Wellenlängen drastisch verringert ist, die in der Nähe des Wellenlängenbereichs von 110 bis 135 nm korrigierte Quantenwirkungsgrad QE als maximale Empfindlichkeit eine sehr hohe Empfindlichkeit von 80% bis 96% (siehe die **Fig. 18**). Diese Empfindlichkeit ist viel höher als der vom Himpsel et al. mitgeteilte Wert von 20 % innerhalb dieses Wellenlängenbereichs für die **(111)**-Fläche von einkristallinem Diamant. Demgemäß wird davon ausgegangen, dass hier eine ideale NEA-Photokathode realisiert ist.

[0103] Wenn die Elektronenaffinität der Oberfläche des Dünnschichtfilms aus polykristallinem Diamant abgeschätzt wird, beträgt die Schwellenenergie ungefähr 2,5 eV, und wenn angenommen wird, dass der Eg-Wert von Diamant 5,5 eV beträgt, wird eine negative Elektronenaffinität (NEA) von mindestens 0,3 eV erzielt. Obwohl für einen herkömmlichen Diamant-Dünnschichtfilm, der einfach mit Wasserstoff abgeschlossen ist, eine geringfügig positive Elektronenaffinität abgeschätzt wurde, ist davon auszugehen, dass lokal NEA erzielt wurde. Es wird angenommen, dass bei diesem Beispiel, aufgrund der weiteren Aktivierung durch CsO (da die aktive CsO-Schicht auf der Oberfläche des Dünnschichtfilms aus polykristallinem Diamant angeordnet ist) im Wesentlichen die gesamte Oberfläche des Dünnschichtfilms aus polykristallinem Diamant NEA erzielt hat, wodurch sich eine Probe (Photokathode) mit hohem Quantenwirkungsgrad QE ergibt. Auch wird davon ausgegangen, da das Oberflächenniveau des Dünnschichtfilms aus polykristallinem Diamant wegen des Wasserstoffabschlusses sehr niedrig wurde, dass hinsichtlich des Vakuumniveaus keine Lücke existiert, wie sie bei einer CsO-GaAs-Photokathode zu erwarten ist, wodurch eine ideale NEA-Oberfläche ausgebildet wird.

[0104] Die **Fig. 19** und **20** zeigen erwartete Energiebanddiagramme von Oberflächen von Dünnschichtfilmen aus polykristallinem Diamant. Der Unterschied zwischen dem mit B dotierten Dünnschichtfilm aus polykristallinem Diamant vom p-Typ und dem undotierten Dünnschichtfilm aus polykristallinem Diamant ist ein Unterschied für die Wahrscheinlichkeit, dass Photoelektron die Oberfläche erreichen, was von der Tatsache herrührt, dass ihre Bandbiegerichtungen innerhalb des Dünnschichtfilms aus polykristallinem Diamant differieren. Demgemäß wird davon ausgegangen, dass ein undotierter Dünnschichtfilm aus polykristallinem Diamant unabhängig vom Oberflächenzustand immer einen Quantenwirkungsgrad aufweist, der ungefähr 1/2 desjenigen eines mit B dotierten Dünnschichtfilms aus polykristallinem

Diamant ist.

[0105] Als Ergebnis der oben genannten Messung der spektralen Empfindlichkeit ergab es sich, dass hohe Werte des Quantenwirkungsgrads QE erzielt werden können, nämlich 49% (ohne Korrektur) für die mit B dotierte Probe und 30% (ohne Korrektur) für die undotierte Probe. Ferner wurde herausgefunden, dass dann, wenn eine Korrektur auf Grundlage des Transmissionsvermögens der MgF_2 -Eingangsschirmplatte erfolgt, die mit B dotierte Probe eine sehr hohe Empfindlichkeit zeigt, nämlich einen Quantenwirkungsgrad von 80% bis 95%, wodurch eine ideale NEA-Photokathode realisiert ist.

[0106] Vorstehend sind Versuche erläutert, die von den Erfindern ausgeführt wurden, um die chemische Stabilität der erfindungsgemäßen Photokathode zu beobachten. Auch ist jede bei den folgenden Beispielen hergestellte Probe eine auf einem Si-Substrat hergestellte Photokathode vom Reflexionstyp.

[0107] Die so hergestellte Probe war eine CsO/H/p-Diamant-Photokathode auf dem oben genannten Si-Substrat, und die Elektronenröhre, die diese Probe enthielt, wurde einem Luftleck unterworfen. Dann wurde die Elektronenröhre erneut an der Abpumpeinheit angebracht, um ein Tempern bei 200°C für 4 Stunden auszuführen, und sie wurde, ohne jegliche Verarbeitung, von der Abpumpeinheit abgeklemmt. Anschließend wurde die spektrale Empfindlichkeit der so erhaltenen Elektronenröhre erneut gemessen.

[0108] Die **Fig. 21** ist ein Kurvenbild, das zum Vergleich den tatsächlich gemessenen Quantenwirkungsgrad QE (%) der CsO/H/p-Diamant-Photokathode vor und nach dem Luftleck zeigt. Wie es aus diesem Kurvenbild erkennbar ist, zeigte die CsO/H/p-Diamant-Photokathode nach dem Luftleck und dem Tempern (drittes Beispiel einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Reflexionstyp) einen ziemlich hohen Quantenwirkungsgrad QE, nämlich maximal 30%, selbst nach dem Tempern bei 200°C nach dem Luftleck. Dies entspricht einer Empfindlichkeit von ungefähr 60% derjenigen vor dem Luftleck. Diese Tatsache zeigt an, dass z. B. dann, wenn die Aktivierung mit CsO (d. h. die Herstellung der aktiven CsO-Schicht auf dem Dünnschichtfilm aus polykristallinem Diamant) kollektiv mittels einer enormen Abpumpeinheit erfolgt und dann die sich ergebende Photokathode erneut der Luft ausgesetzt wird, um mit einer Elektronenröhre wie einem Photovervielfacher verbunden zu werden, eine Elektronenröhre mit einem Quantenwirkungsgrad von 30%, betreffend die Elektronenröhre, durch einfaches Tempern bei 200°C erhalten werden kann. Demgemäß zeigt sich eine Möglichkeit einer innovativen Massenherstellung, die das herkömmliche Herstellungsverfahren für Photokathoden vollständig ändern kann. Selbstverständlich besteht keine Beschränkung auf eine Photokathode. Z. B. kann eine Dynode als Sekundärelektronenfläche genau mit demselben Verfahren hergestellt werden. D. h., dass sich die erfindungsgemäße Photokathode voll-

ständig von einer NEA-Photokathode, wie einer solchen aus GaAs, unterscheidet, und dass sie das Allgemeinverständnis betreffend herkömmliche Photokathoden, die gegen Wasser und Luft sehr empfindlich sind, völlig ändert.

[0109] Auch betragen die abgeschätzten Schwellenenergien bei beiden Proben ungefähr 5,2 eV, und sie differieren nicht stark voneinander, wodurch sich negative Elektronenaffinität (NEA) zeigt. Dies zeigt an, dass die Oberfläche jeder Photokathode von Einflüssen durch das Tempern freigehalten wird und dass der Unterschied zwischen ihnen (Proben vor und nach dem Tempern) den Photoelektronen zuzuschreiben ist, die durch Wassermoleküle, organische Substanzen oder dergleichen, die darauf absorbiert sind, zuzuschreiben ist. D. h., dass diese Tatsache anzeigt, dass dann, wenn die Temperungstemperatur so optimiert wird, dass diese absorbierten Substanzen entfernt werden, die Empfindlichkeit weiter erhöht werden kann, so dass die Möglichkeit besteht, dass ein charakteristischer hoher Quantenwirkungsgrad QE erzielt wird.

[0110] Die so erhaltene CsO/H/P-Diamant-Photokathode kann selbst dann, wenn sie, nachdem sie einmal der Luft ausgesetzt wurde, bei 200°C für 4 Stunden getempert wird, ungefähr 60% ihrer Empfindlichkeit vor dem Tempern aufrecht erhalten, wodurch sich ein hoher Quantenwirkungsgrad QE von maximal 30% zeigt (entsprechend 60% des auf Grundlage des Transmissionsvermögens der MgF₂-Eingangsschirmplatte korrigierten Quantenwirkungsgrads). Demgemäß ist die durch CsO aktivierte Photokathode aus polykristallinem Diamant chemisch in beträchtlichem Ausmaß stabil, was es ausreichend ermöglicht, eine völlig neue Massenherstellungstechnik für Photokathoden oder für die Sekundärelektronenfläche einer Dynode zu schaffen.

[0111] Ferner führten die Erfinder Versuche zum Beobachten der chemischen Stabilität einer mit Sauerstoff abgeschlossenen Probe aus (Photokathode mit einem Dünnsfilm aus polykristallinem Diamant).

[0112] Die hergestellte Probe war ein Dünnsfilm aus polykristallinem Diamant, der auf die oben genannte Weise auf einem Si-Substrat angebracht war, und dessen Oberfläche mit Wasserstoff abgeschlossen war. Während O₂ mit einem Partialdruck von $666,5 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2$ ($5 \times 10^{-3} \text{ Torr}$) durch eine Ag-Leitung eingeleitet wurde, wurde die Probe auf 350°C erwärmt, wodurch ihre Oberfläche mit Sauerstoff abgeschlossen wurde. Dann wurden Cs und O abwechselnd eingeleitet, um für eine Oberflächenaktivierung zu sorgen (Bildung einer aktiven CsO-Schicht). Danach wurde die so erhaltene Elektronenröhre von der Abpumpeinheit abgeklemmt und einer Messung der spektralen Empfindlichkeit unterzogen. Andererseits wurde diese Elektronenröhre einem Luftleck unterworfen, erneut an der Abpumpeinheit angebracht, bei 200°C für 4 Stunden getempert ohne jegliche anschließende Verarbeitung von der Abpumpeinheit abgeklemmt und dann einer Messung der spektralen Empfindlich-

keit unterzogen.

[0113] Die Fig. 22 ist ein Kurvenbild, das zum Vergleich spektrale Empfindlichkeitscharakteristiken der Elektronenröhre zeigt, die ein viertes Beispiel, das keine beanspruchte Ausführungsform ist, (Photokathode aus CsO/O/p-Diamant) der Photokathode vom Reflexionstyp, die nicht der Erfindung entspricht, vor und nach einem Luftleck zeigt. In diesem Kurvenbild zeigt die Ordinate den tatsächlich gemessenen Quantenwirkungsgrad QE (%). Die Fig. 23 ist ein Kurvenbild, bei dem der in der Fig. 22 dargestellte gemessene Quantenwirkungsgrad QE als Wert (Quantenwirkungsgrad QE) aufgetragen ist, der auf Grundlage des Transmissionsvermögens der MgF₂-Eingangsschirmplatte korrigiert wurde.

[0114] Wie es aus diesen Kurvenbildern erkennbar ist, wurde auch im Fall des mit O abgeschlossenen Dünnsfilms aus polykristallinem Diamant eine ziemlich hohe Empfindlichkeit von maximal 26% erzielt, wenn mit Cs aktiviert wurde (es wurde die aktive CsO-Schicht hergestellt). Obwohl dies niedriger als der Quantenwirkungsgrad von 49,5% ist, wie er bei einem Abschluss mit Wasserstoff erhalten wird, beträgt er näherungsweise 40% bei Korrektur mit dem Transmissionsvermögen der MgF₂-Eingangsschirmplatte, und dies kann als ziemlich hoher Wert (Quantenwirkungsgrad QE) angesehen werden.

[0115] Außerdem wies die oben genannte Photokathode aus CsO/O/p-Diamant selbst nach einem Tempern bei 200°C nach dem Luftleck einen Quantenwirkungsgrad QE auf, der im Wesentlichen mit dem vor dem Luftleck identisch war. Dies ist höher als der Wiederherstellwert von ungefähr 60%, wie er bei der mit Wasserstoff abgeschlossenen Probe erzielt wird. Im Ergebnis wird sowohl bei der mit Wasserstoff abgeschlossenen Photokathode als auch der mit Sauerstoff abgeschlossenen Photokathode beim Tempern bei 200°C nach einem Herausnehmen an Luft ein im Wesentlichen identischer Quantenwirkungsgrad von 25% bis 35% (entsprechend einem korrigierten Quantenwirkungsgrad von ungefähr 60%, wie es aus der Fig. 23 erkennbar ist) erzielt.

[0116] Um die Stabilität weiter detailliert zu untersuchen, ist es erforderlich, die Bearbeitungsbedingungen sorgfältig zu untersuchen, z. B. die Driftcharakteristik der Photokathode in Bezug auf die Luftaussetzeit als Parameter auszuwerten. Auf jeden Fall ergab es sich, dass die Photokathode aus polykristallinem Diamant gemäß der beanspruchten Erfindung hinsichtlich ihrer Eigenschaften beträchtlich verschieden von herkömmlichen Alkali-Photokathoden und NEA-Photokathoden, wie solchen aus GaAs, ist, und dass sie chemisch stabil ist. Herkömmlicherweise sind Bauteile mit externem photoelektrischem Effekt, wie Photokathoden, von Natur aus dadurch nachteilig, dass die Wahrscheinlichkeit besteht, da sie hinsichtlich ihres Oberflächenzustands ziemlich empfindlich sind, dass sich ihre Eigenschaften unter dem Einfluss einer Spurenmenge von Gasen oder Ionen ändern. Demgegenüber werden Diamantmaterialien,

abhängig von den Bedingungen als ziemlich unempfindlich hinsichtlich ihres Oberflächenzustands angesehen. Demgemäß besteht die Möglichkeit, dass die Erfindung bei der chemischen Stabilität von Bauteilen mit externem photoelektrischem Effekt einen Durchbruch erzielt, wobei es sich herkömmlicherweise um einen Nachteil derselben im Vergleich mit Bauteilen mit internem photoelektrischem Effekt handelt.

[0117] Wie vorstehend erläutert, ergab es sich, dass eine Photokathode aus Cs/O/p-Diamant selbst beim Tempern bei 200°C für 4 Stunden, nachdem sie einmal der Luft ausgesetzt wurde, eine Empfindlichkeit zeigen kann, die nahezu 100 % derjenigen vor dem Tempern entspricht. Dies zeigt, dass eine Photokathode aus Cs/O/p-Diamant ziemlich stabil ist, was die Möglichkeit nahelegt, dass hinsichtlich der chemischen Stabilität von Bauteilen mit externem photoelektrischem Effekt, wobei es sich herkömmlicherweise um einen Nachteil derselben handelt, ein Durchbruch erzielt wird.

[0118] Obwohl die vorstehend angegebenen Versuche für eine Photokathode vom Reflexionstyp ausgeführt wurden, kann eine ähnliche Empfindlichkeit auch bei einer Photokathode vom Transmissionstyp erzielt werden.

[0119] Nachfolgend wird ein sogenannter Photovervielfacher mit Linienfokussierung (Photovervielfacher mit Längseinfall), der mit einer Photokathode vom Transmissionstyp gemäß der beanspruchten Erfindung versehen ist, erläutert. Die Fig. 24 ist eine Schnittansicht, die eine Konfiguration einer Elektronenröhre zeigt, die mit einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Transmissionstyp versehen ist. Beim in dieser Zeichnung dargestellten Photovervielfacher **13** wird die Eingangsschirmplatte **31**, deren Innenseite mit der Photokathode **30** vom Transmissionstyp (mit Wasserstoff abgeschlossener Dünnfilm aus polykristallinem Diamant) versehen ist, durch einen Endabschnitt des Gehäuses gehalten, das den Hauptkörper des Vakuumgefäßes **20** bildet, wobei dafür gesorgt ist, dass zu erfassendes Licht (hv) entlang der durch einen dargestellten Pfeil angezeigten Richtung darauf fällt. Der andere Endabschnitt des Gehäuses ist durch Glas hermetisch abgedichtet. Innerhalb des Vakuumgefäßes **20** ist Wasserstoff mit dem oben genannten vorbestimmten Druck eingeschlossen.

[0120] Am anderen Endabschnitt innerhalb des Vakuumgefäßes **20** ist die Anode **40** angeordnet. Ein Paar Fokussierelektroden **50** zum Konvergieren von Photoelektronen ist so angeordnet, dass es näher an der Photokathode **30** vom Transmissionstyp als an der Anode **40** liegt. Nahe der Anode **40** ist ein Elektronenvervielfacherabschnitt **60** mit mehreren Stufen von Dynoden **60a** bis **60h** zum aufeinanderfolgenden Vervielfachen von Photoelektronen, wie sie von der Photokathode **30** vom Transmissionstyp emittiert werden, angeordnet. An die Photokathode **30** vom Transmissionstyp, die Fokussierelektrode **50**, den

Elektronenvervielfacherabschnitt **60** und die Anode **40** werden, was jedoch nicht dargestellt ist, über eine Nebenschlusschaltung und elektrische Zuleitungen Nebenschlussspannungen, die positiv in Bezug auf die Photokathode **30** vom Transmissionstyp sind, angelegt, die so verteilt sind, dass sie Schritt für Schritt zur Anode **40** hin zunehmen. Z. B. werden, während eine positive Spannung in der Größenordnung einiger 100 V in Bezug auf die Photokathode **30** vom Transmissionstyp an die Dynode **60a** der ersten Stufe angelegt wird, positive Spannungen an die jeweiligen Dynoden **60a** bis **60h** im Elektronenvervielfacherabschnitt **60** so angelegt, dass sie mit Inkrementen von ungefähr 100 V zur Anode **40** hin zunehmen. [0121] Wenn zu erfassendes Licht, das ultraviolettes Licht mit einer Wellenlänge von 200 nm oder kürzer ist, auf den so aufgebauten Photovervielfacher **13** fällt, werden von der Photokathode **30** vom Transmissionstyp Photoelektronen (e^-) mit größerer Anzahl als im Fall einer herkömmlichen Photokathode vom Transmissionstyp emittiert. So emittierte Photoelektronen werden durch die Fokussierelektroden **50** konvergiert und es wird dafür gesorgt, dass sie auf die Dynode **60a** der ersten Stufe fallen, während sie beschleunigt werden. Die Note **60a** der ersten Stufe emittiert Sekundärelektronen mit einer Anzahl, die das Mehrfache derjenigen der einfallenden Photoelektronen ist. Wie auch die Dynode **60a** der ersten Stufe emittiert die Dynode **60b** der zweiten Stufe Sekundärelektronen. Der Elektronenvervielfacherabschnitt **60** wiederholt den Vervielfachervorgang für Sekundärelektronen ungefähr zehnmal, wodurch die von der Photokathode **30** vom Transmissionstyp emittierten Photoelektronen schließlich zu einer Sekundärelektronengruppe mit einer Vervielfachung in der Größenordnung des 1×10^6 -fachen werden. Die von der Dynode **60h** der abschließenden Stufe emittierte Sekundärelektronengruppe wird an der Anode **40** gesammelt, um als Ausgangssignalstrom entnommen zu werden.

[0122] Im Allgemeinen werden, wenn ein Photovervielfacher mit einem Elektronenvervielfacherabschnitt als Elektronenvervielfachereinrichtung versehen ist, keine ausreichenden Effekte erzielt, wenn eine Kombination mit einer Photokathode vom Transmissionstyp mit niedrigem Quantenwirkungsgrad QE erfolgt. D. h., dass bei einem derartigen Photovervielfacher nur eine kleine Anzahl von Photoelektronen auf schwaches Licht hin von der Photokathode vom Transmissionstyp hin emittiert werden kann, wodurch ein Photoelektronensignal, das anfangs einen Zählfehltreffer erzeugt hat, im Elektronenvervielfacherabschnitt nicht vervielfacht werden kann, wodurch die Richtungseffizienz abnimmt.

[0123] Beim Photovervielfacher **13**, der mit der erfindungsgemäßen Photokathode vom Transmissionstyp versehen ist, wird selbst dann, wenn die Photokathode **30** vom Transmissionstyp dasselbe schwache Licht empfängt, eine größere Anzahl von Photoelektronen emittiert. Demgemäß wird im Photo-

nenzählmodus selbst dann, wenn ein Fehltreffer eines Photoelektronensignals auftritt, der Einfluss des nicht gezählten Photoelektronensignals durch hervorragende Vervielfacherfunktionen von Dynoden im Wesentlichen aufgehoben.

[0124] Obwohl bei der oben genannten Photokathode ein Photovervielfacher unter Verwendung von Dynoden als Elektronenvervielfachereinrichtung dargestellt ist, besteht für die Elektronenvervielfachereinrichtung keine Beschränkung hierauf. Z. B. können ähnliche Effekte auch in einer Mikrokanalplatte (nachfolgend als MCP bezeichnet) erzielt werden, die aus einer Anzahl von Glaslöchern mit jeweils einem Durchmesser von ungefähr $10\ \mu\text{m}$ besteht, die miteinander gebündelt sind, so dass ein zweidimensionales Array von Elektronen zu Sekundärelektronen multipliziert werden kann, bei einer Diode vom Elektronenimplantationstyp und dergleichen. Auch kann, ohne dass eine Beschränkung auf den oben genannten Linienfokussiertyp (Längseinfalltyp) eine Beschränkung bestünde, der Photokathode z. B. ein solcher vom Typ mit kreisförmig Käfig (Quereinfallstyp) unter Verwendung einer Photokathode vom Reflexionstyp sein.

[0125] Beispielsweise ist die **Fig. 25** eine Schnittansicht, die eine Konfiguration eines Photovervielfachers mit Quereinfall zeigt, der mit einer erfindungsgemäßen Photokathode vom Reflexionstyp versehen ist. Dieser Photovervielfacher **14** vom Quereinfallstyp verfügt über eine Grundkonfiguration, die derjenigen des in der **Fig. 14** dargestellten Photovervielfachers **13** vom Längseinfallstyp ähnlich ist. Beim Photovervielfacher **14** vom Quereinfallstyp ist jedoch die Photokathode **650** desselben vom Reflexionstyp so angeordnet, dass sie in Bezug auf die Einfallsrichtung des zu erfassenden Lichts geneigt ist, wodurch Photoelektronen von der Oberfläche emittiert werden, auf die das zu erfassende Licht fällt. So emittierte Photoelektronen werden durch die jeweiligen Stufen von Dynoden **60a** bis **60i** vervielfacht, die aufeinanderfolgend entlang der Seitenwand des Vakuumgefäßes **20** angeordnet sind, und die sich ergebende Sekundärelektronengruppe wird durch die Anode **40** gesammelt.

[0126] Für die Elektronenröhre, bei der die Photokathode (sowohl vom Transmissions- als auch vom Reflexionstyp) angebracht ist, soll keine Beschränkung auf Vorrichtungen bestehen, die einfach schwaches Licht erfassen. Z. B. ist die in der **Fig. 26** dargestellte Elektronenröhre eine sogenannte Bildverstärkerröhre, die auch ein schwaches, zweidimensionales optisches Bild erfassen kann.

[0127] Bei dieser Bildverstärkerröhre **15** wird, abweichend von den oben genannten Photovervielfachern **13** und **14**, die Photokathode **30** vom Transmissionsstyp, mittels In-Metall, durch den oberen Endabschnitt des Gehäuses gehalten, das den Hauptkörper des Vakuumgefäßes **20** bildet. Anstelle der Dynoden ist im mittleren Abschnitt des Gehäuses des Vakuumgefäßes **20** eine MCP **61** platziert. Es ist da-

für gesorgt, dass an die MCP **61** eine positive Spannung von mehreren 100 V in Bezug auf die Photokathode **30** vom Transmissionsstyp angelegt wird. Die elektrischen Leitungen **50a** und **50b** erstrecken sich ausgehend von der Oberseite (nachfolgend als "Eingangssseite" bezeichnet) bzw. der Unterseite (nachfolgend als "Ausgangsseite" bezeichnet) der MCP **61** aus, um durch die Seitenwände des Gehäuses zu dringen. Zwischen die Eingangs- und die Ausgangsseite der MCP **61** wird mittels der elektrischen Leitungen **50a** und **50b** eine Spannung zur Vervielfachung angelegt. Durch den unteren Endabschnitt des Gehäuses des Vakuumgefäßes **20** wird eine Faserplatte **41** gehalten, auf deren Innenseite ein Leuchtstoff **42** (Fluoreszenzfilm) platziert ist, an den eine positive Spannung von mehreren kV in Bezug auf die MCP **61** angelegt werden kann.

[0128] Um eine derartige Bildverstärkerröhre **15** herzustellen, werden die Photokathode **30** vom Transmissionsstyp, das Gehäuse des mit der MCP **61** versehenen Vakuumgefäßes **20** und die den Leuchtstoff **42** tragende Faserplatte **41** innerhalb einer Ultrahochvakuumkammer (nicht dargestellt) platziert, und diese wird auf ein Vakuum in der Größenordnung von $133,3 \times 10^{-10}\ \text{N/m}^2$ (1×10^{-10} Torr) evakuiert. Dann wird Wasserstoff mit einem Druck von ungefähr $133,3 \times 10^{-3}\ \text{N/m}^2$ (1×10^{-3} Torr), wie beansprucht, in die Kammer eingeleitet, und die Photokathode **30** vom Transmissionsstyp wird auf ungefähr 300°C erwärmt. Im Ergebnis wird ihre Oberfläche mit Wasserstoff abgeschlossen. Hierbei kann Wasserstoff aus der Kammer ausgepumpt werden, und dann kann auf der so hergestellten, mit Wasserstoff abgeschlossenen Photokathode **30** vom Transmissionsstyp (Dünnschicht aus polykristallinem Diamant) eine aktive Cs-Schicht hergestellt werden. Anschließend wird, nachdem die Faserplatte **41** an einem Ende des Gehäuses **20** befestigt wurde, Wasserstoff mit einem Druck von ungefähr $133,3 \times 10^{-5}\ \text{N/m}^2$ (1×10^{-5} Torr) in das Vakuumgefäß **20** eingeleitet. Dann wird, nachdem die Photokathode **30** vom Transmissionsstyp mittels In-Metall am anderen Ende des Gehäuses gehalten wurde, dieselbe durch Druck verformt, um daran befestigt zu werden, wodurch die hermetisch abgedichtete Bildverstärkerröhre **15** erhalten wird.

[0129] Wenn ein zweidimensionales optisches Bild, als zu erfassendes Licht, auf die in der **Fig. 26** dargestellte Bildverstärkerröhre **15** fällt, wird von der Photokathode **30** vom Transmissionsstyp ein dem einfallenden Licht entsprechendes Photoelektron (e^-) in den Innenraum (Vakuum) des Vakuumgefäßes **20** emittiert. Danach wird das so emittierte Photoelektron beschleunigt, und es wird dafür gesorgt, dass es auf die Eingangsseite der MCP **61** fällt, wodurch es durch die MCP **61** in der Größenordnung des 1×10^8 -fachen in Form von Sekundärelektronen multipliziert wird. Das durch eine derartige Sekundärelektronen-Vervielfachung erzielte zweidimensionale Elektronenbild wird von der Position an der Ausgangsseite, die der Einfallsposition an der Eingangsseite ent-

spricht, emittiert. Wenn die dieses zweidimensionale Elektronenbild bildenden einzelnen Sekundärelektronen beschleunigt werden und dafür gesorgt wird, dass sie auf den Leuchtstoff **42** fallen, wird ein zweidimensionales Bild, das das zweidimensionalen Elektronenbild verstärkt, emittiert und verstärkt angezeigt. Das so angezeigte zweidimensionale Bild wird durch die den Leuchtstoff **42** tragende Faserplatte **41** nach außen entnommen, um betrachtet zu werden.

[0130] Da die erfindungsgemäße Photokathode verwendet wird, ist diese Ausführungsform nicht nur zum Erfassen von schwachem Licht effektiv, sondern auch zum Erfassen der Position von schwachem Licht sehr effektiv.

[0131] Obwohl bei der in der **Fig. 15** dargestellten Bildverstärkerröhre **15** eine MCP **61** als Vervielfacheleinrichtung verwendet ist, kann, ohne dass eine Beschränkung hierauf bestünde, z. B. eine Diode vom Elektronenimplantationstyp verwendet werden. Auch kann, um ein zweidimensionales optisches Bild zu erfassen, eine Bilderzeugungsröhre mit einem CCD (Festkörper-Bilderzeuger) oder dergleichen anstelle der den Leuchtstoff **42** verwendeten Bildverstärkerröhre verwendet werden.

[0132] Die **Fig. 27** ist eine Schnittansicht, die eine Bilderzeugungsröhre **16** mit einem CCD (Festkörper-Bilderzeuger) **700** anstelle des Leuchtstoffs **42** zeigt. Bei dieser Bilderzeugungsröhre **16** werden elektrische Signale vom CCD **700** durch einen Leiterstift **701** entnommen. Wenn das CCD **700** auf diese Weise verwendet wird, werden Photoelektronen, die ein zweidimensionales Elektronenbild erzeugen, das dem zweidimensionalen optischen Bild entspricht; das durch das zu erfassende und auf die Photokathode fallende Licht erzeugt wird, durch die jeweiligen Pixel des CCD **700** empfangen, wodurch dem zweidimensionalen optischen Bild entsprechende elektrische Signale zeitseriell über den Leiterstift **701** ausgegeben werden.

[0133] Die Photokathode gemäß der beanspruchten Erfindung ist nicht nur beim oben genannten Photovervielfacher, der Bildverstärkerröhre und der Bilderzeugungsröhre anwendbar, sondern auch bei anderen Lichterfassungsvorrichtungen wie einer Streakröhre.

[0134] Gemäß der beanspruchten Erfindung kann, wie vorstehend erläutert, da eine Photokathode vom Transmissionstyp oder vom Reflexionstyp aus polykristallinem Diamant oder einem Material, das hauptsächlich aus polykristallinem Diamant besteht, wie beansprucht, gebildet ist, eine Photokathode auf billige Weise realisiert werden, die einen höheren Quantenwirkungsgrad als herkömmliche Photokathoden zeigt. Auch kann bei der erfindungsgemäßen Photokathode, da die Arbeitsfunktion an der Oberfläche des Diamant-Dünnschicht, der durch Abschluss mit Wasserstoff geeignet bearbeitet ist, und ferner durch eine aktive Schicht aus einem Alkalimetall oder einer Verbindung hiervon, die darauf ausgebildet ist, weiter gesenkt ist, ein noch höherer Quantenwirkungsgrad

erzielt werden.

[0135] Außerdem können, wenn derartige Photokathoden vom Transmissions- und vom Reflexionstyp bei Elektronenröhren wie Photovervielfacher, Bildverstärkerröhren, Bilderzeugerröhren und dergleichen angewandt werden, Vorrichtungen realisiert werden, die zum Messen von schwachem Licht ziemlich effektiv sind.

[0136] Die so beschriebene Erfindung wurde nur beispielhaft beschrieben, und es ist ersichtlich, dass viele Variationen vorgenommen werden können, ohne vom Schutzzumfang der beanspruchten Erfindung abzuweichen.

Patentansprüche

1. Elektronenröhre (**10–16**) mit einem für auftreffendes Licht vorgegebener Wellenlänge transparenten Eingangsschirm (**31; 113**), einer Photokathode (**30; 650**) zum Emittieren eines durch das einfallende Licht vorgegebener Wellenlänge von einem Valenzband auf ein Leitungsband angeregten Photoelektrons, wobei die Photokathode (**30; 650**) eine Schicht (**30; 610**) aus polykristallinem Diamantmaterial aufweist, einem die Photokathode (**30; 650**) aufnehmenden und den Eingangsschirm (**32; 113**) tragenden Gefäß (**20; 110**), und einer in dem Gefäß angeordneten Anode (**40; 112**) zum direkten oder indirekten Auffangen von seitens der Photokathode (**30; 650**) emittierten Photoelektronen, wobei das polykristalline Diamantmaterial mit Wasserstoff abgeschlossen ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß in dem Gefäß (**20; 110**) Wasserstoff bei einem Partialdruck in einem vorgegebenen Bereich von $133,3 \times 10^{-6}$ bis $133,3 \times 10^{-3}$ N/m² (1×10^{-6} bis 1×10^{-3} Torr) enthalten ist.

2. Elektronenröhre (**10; 12–16**) nach Anspruch 1, wobei die Photokathode (**30**) an dem Eingangsschirm (**31**) vorgesehen und von diesem getragen ist.

3. Elektronenröhre (**10; 12–16**) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Eingangsschirm (**31**) Magnesiumfluorid (MgF₂) enthält, das mindestens für ultraviolettes Licht einer Wellenlänge von höchstens 200 nm transparent ist.

4. Elektronenröhre (**11**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Photokathode an einer Fläche eines dem Eingangsschirm (**113**) gegenüberstehenden, das einfallende Licht blockierenden Lichtabschirmelements (**600**) vorgesehen und von diesem getragen ist.

5. Elektronenröhre (**13; 14**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit ferner einem in dem Gefäß (**20**) angeordneten Elektronenvervielfacherabschnitt (**60**), der Sekundärelektronen an die Anode

leitet, wobei die Sekundärelektronen dadurch entstehen, daß der Elektronenvervielfacherabschnitt (**60**) die von der Photokathode (**30**) emittierten Photoelektronen kaskadenartig vervielfacht.

6. Elektronenröhre (**15**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Anode ein Fluoreszenzfilm (**42**) ist, der bei Empfang der von der Photokathode (**30**) bei einfallendem Licht emittierten Photoelektronen Licht emittiert, um ein einem zweidimensionalen optischen Bild des einfallenden Licht entsprechendes zweidimensionales Elektronenbild zu erzeugen.

7. Elektronenröhre (**16**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Anode eine Festkörper-Abbildungseinrichtung (**700**) ist, die die von der Photokathode (**30**) bei einfallendem Licht emittierten Photoelektronen empfängt und ein einem zweidimensionalen optischen Bild des einfallenden Licht entsprechendes elektrisches Signal ausgibt.

8. Elektronenröhre (**11**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Photokathode (**650**) ferner eine an einer Fläche der erstgenannten Schicht (**610**) vorgesehene zweite Schicht (**620**) aufweist, die ein Alkalimetall oder eine Alkalimetallverbindung enthält.

9. Elektronenröhre (**10-16**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erstgenannte Schicht (**30; 610**) der Photokathode (**30; 650**) p-leitend ist.

Es folgen 20 Blatt Zeichnungen

Fig.1

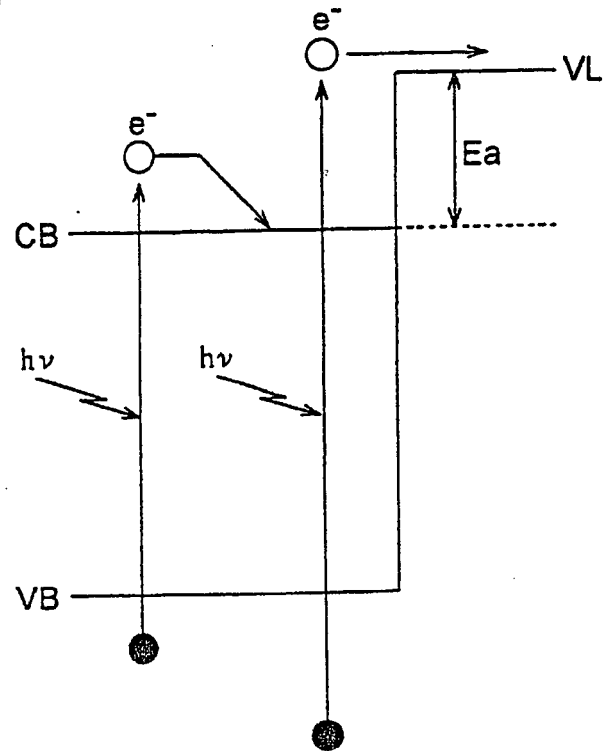


Fig.2

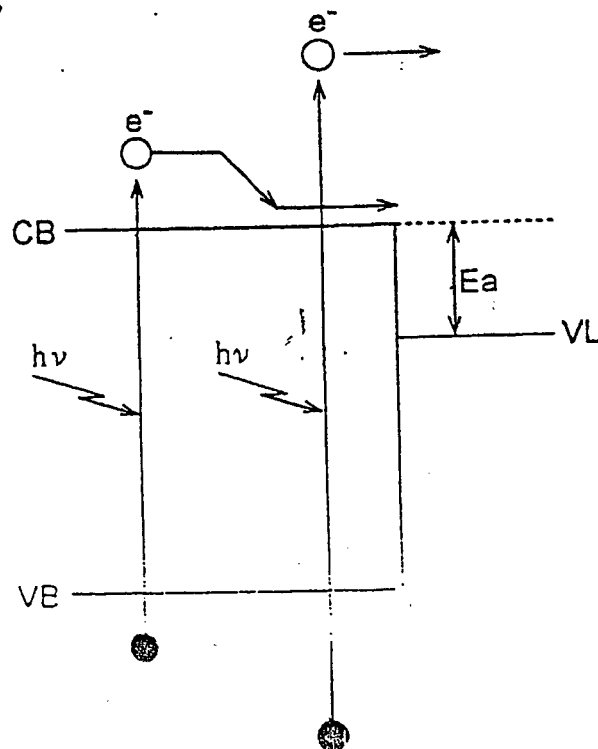


Fig.3

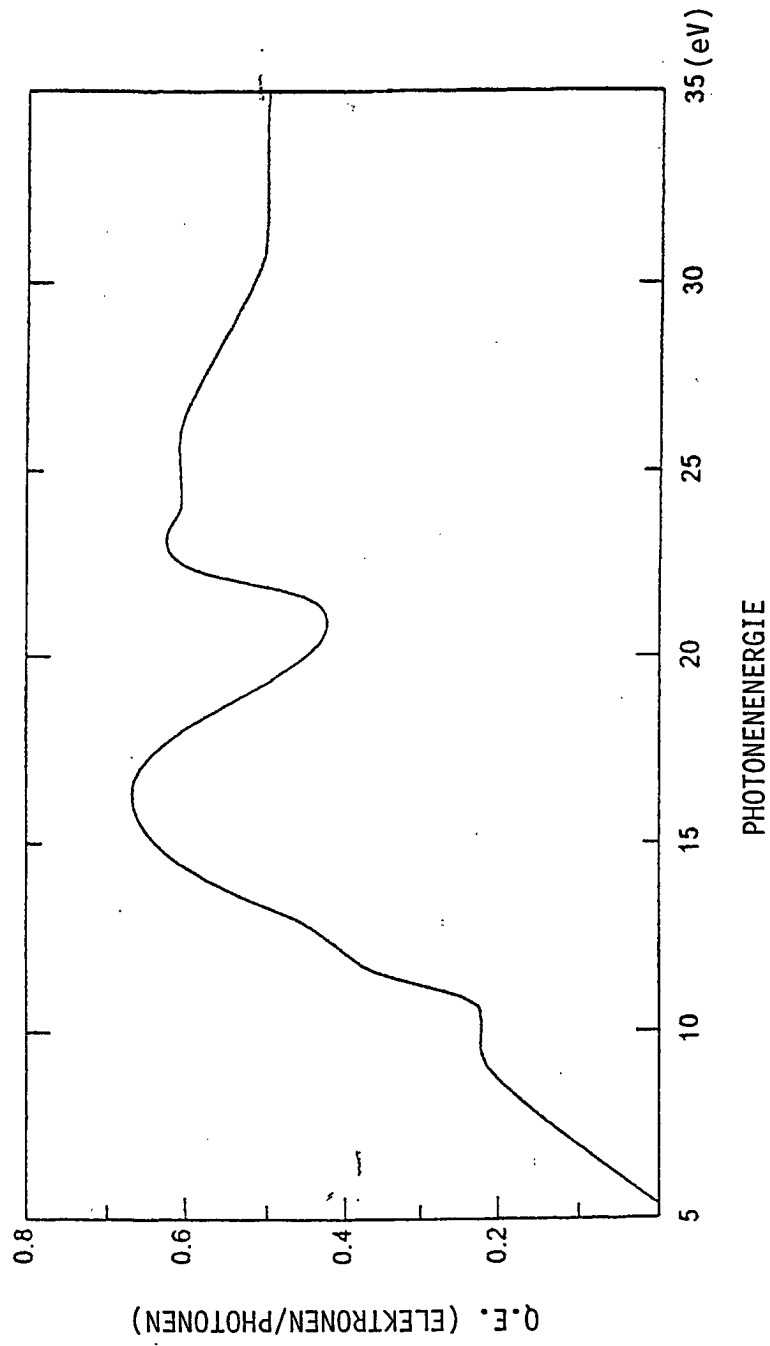


Fig.4

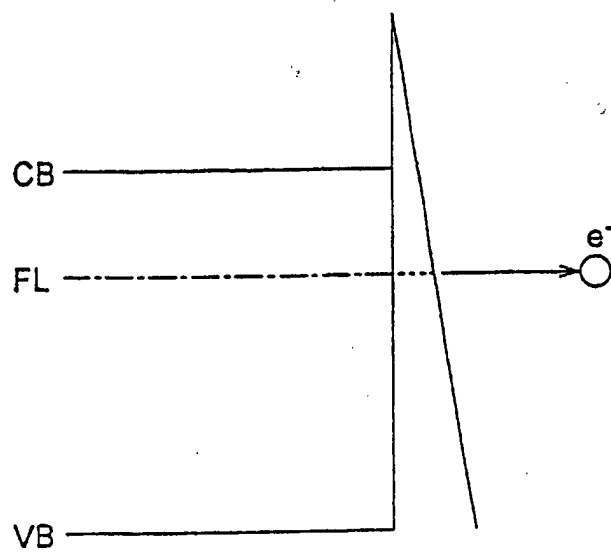


Fig.5

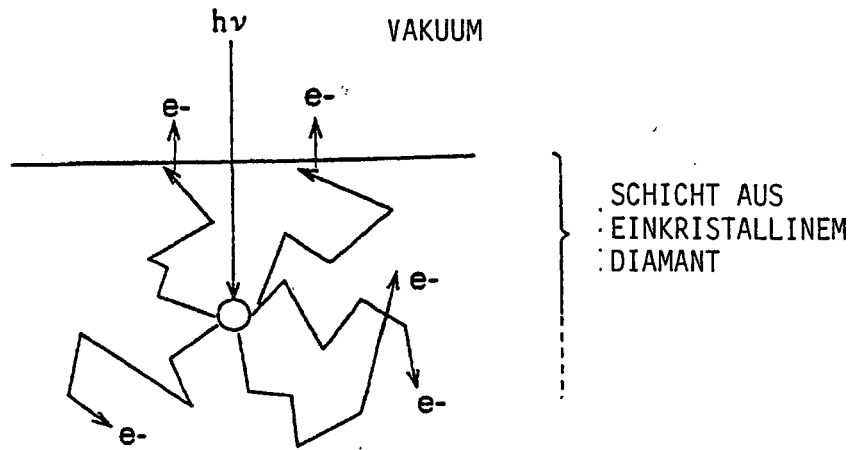


Fig.6

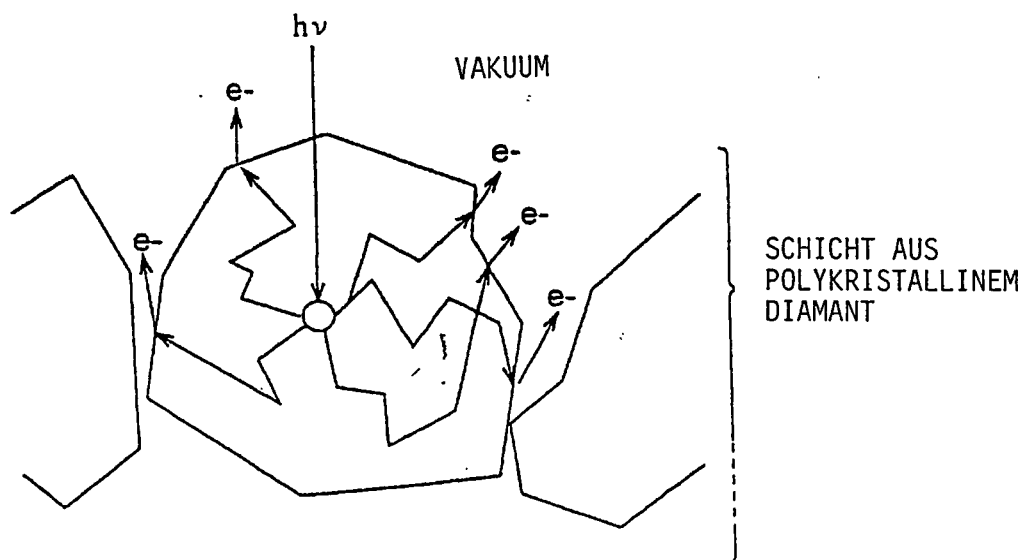


Fig.7

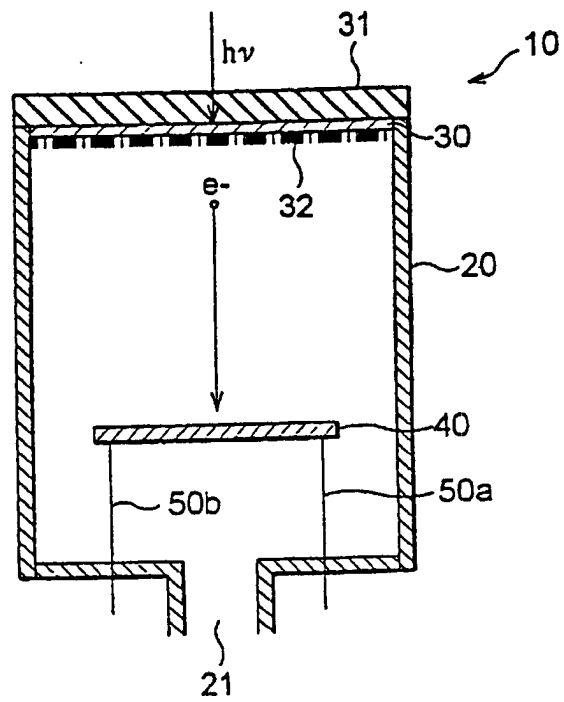


Fig.8

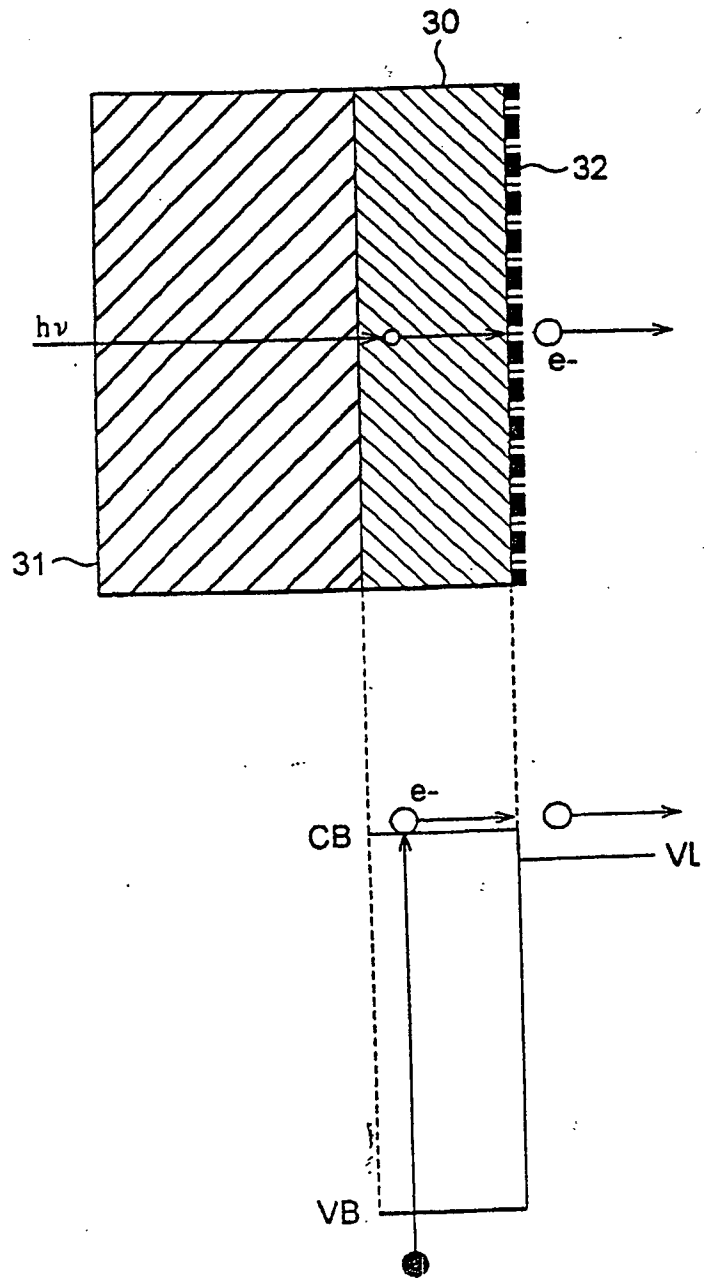


Fig.9

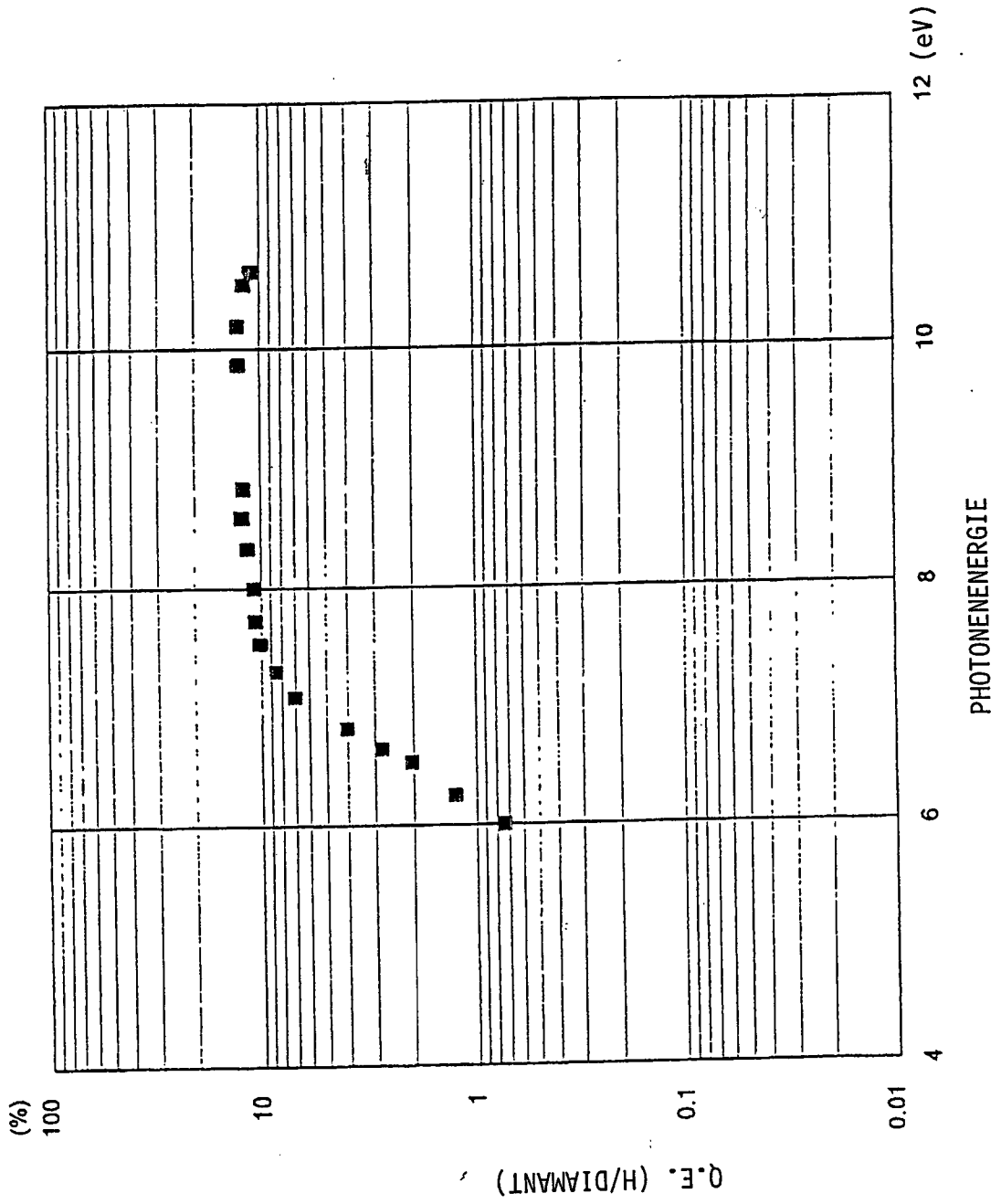


Fig. 10

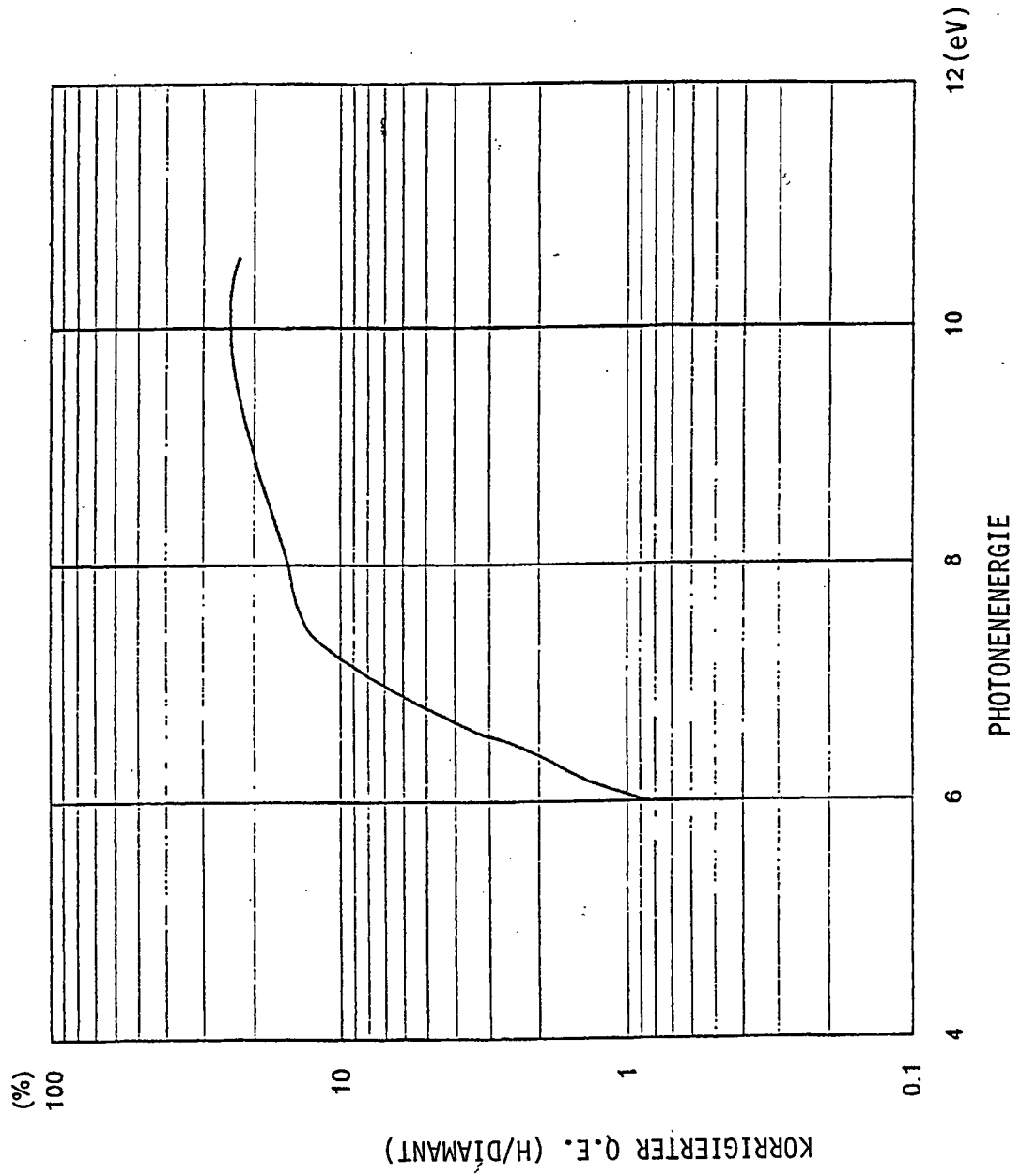


Fig.11

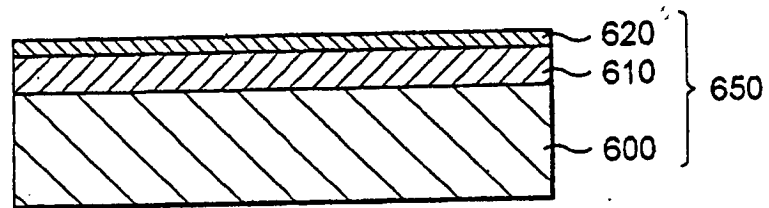


Fig.12

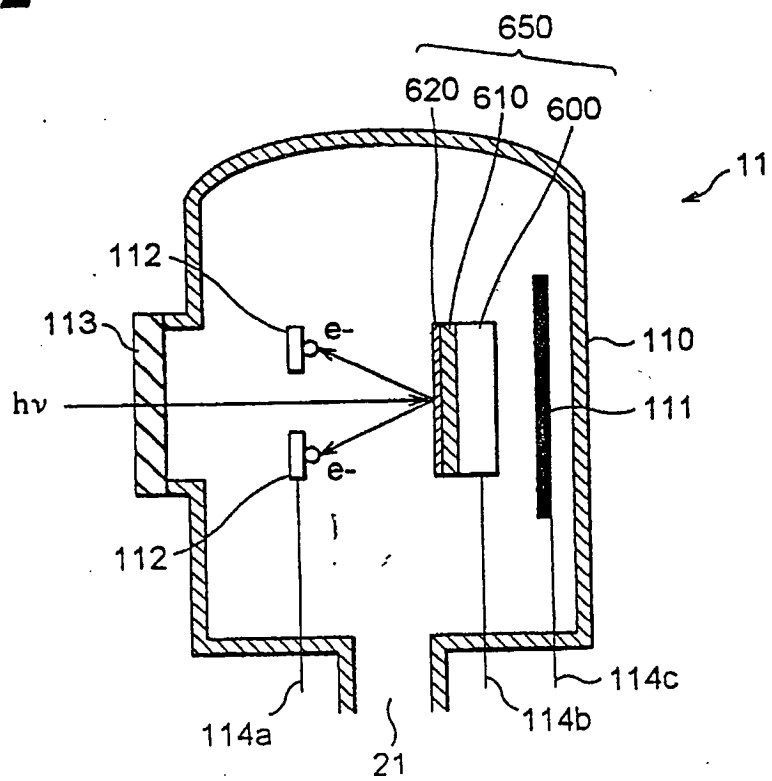


Fig.13

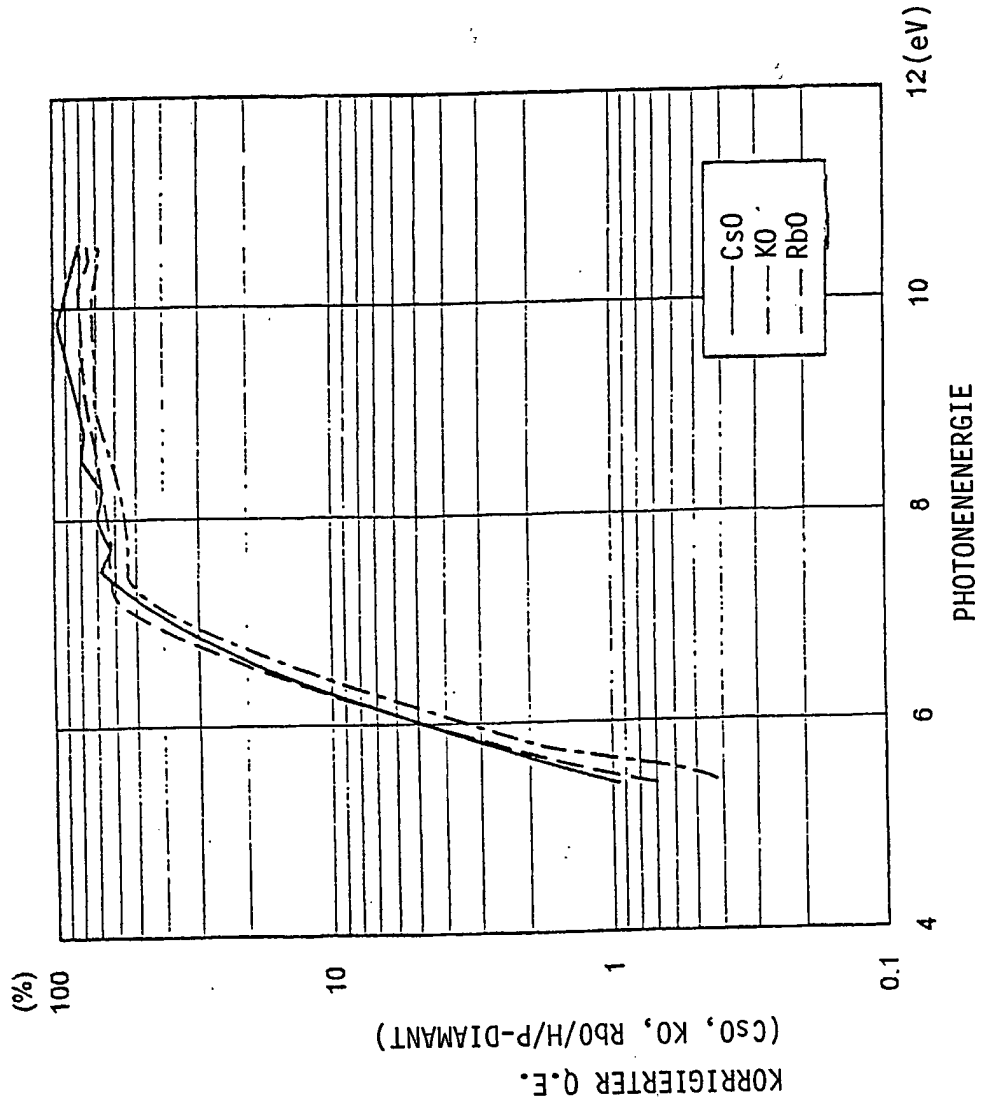


Fig.14

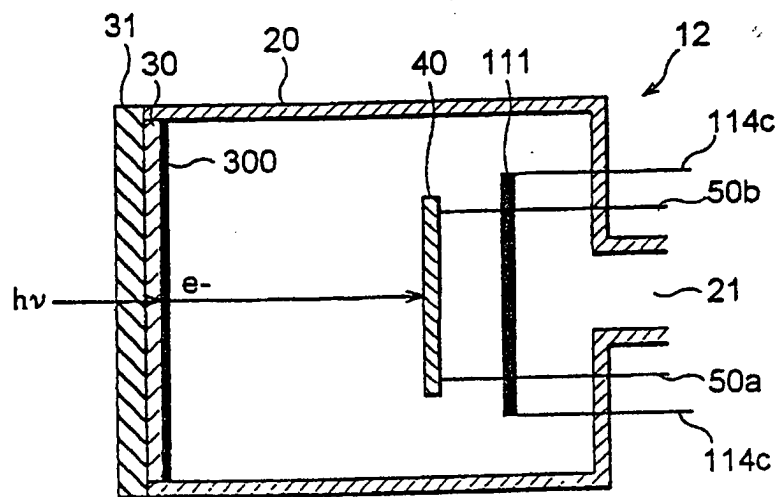


Fig.15

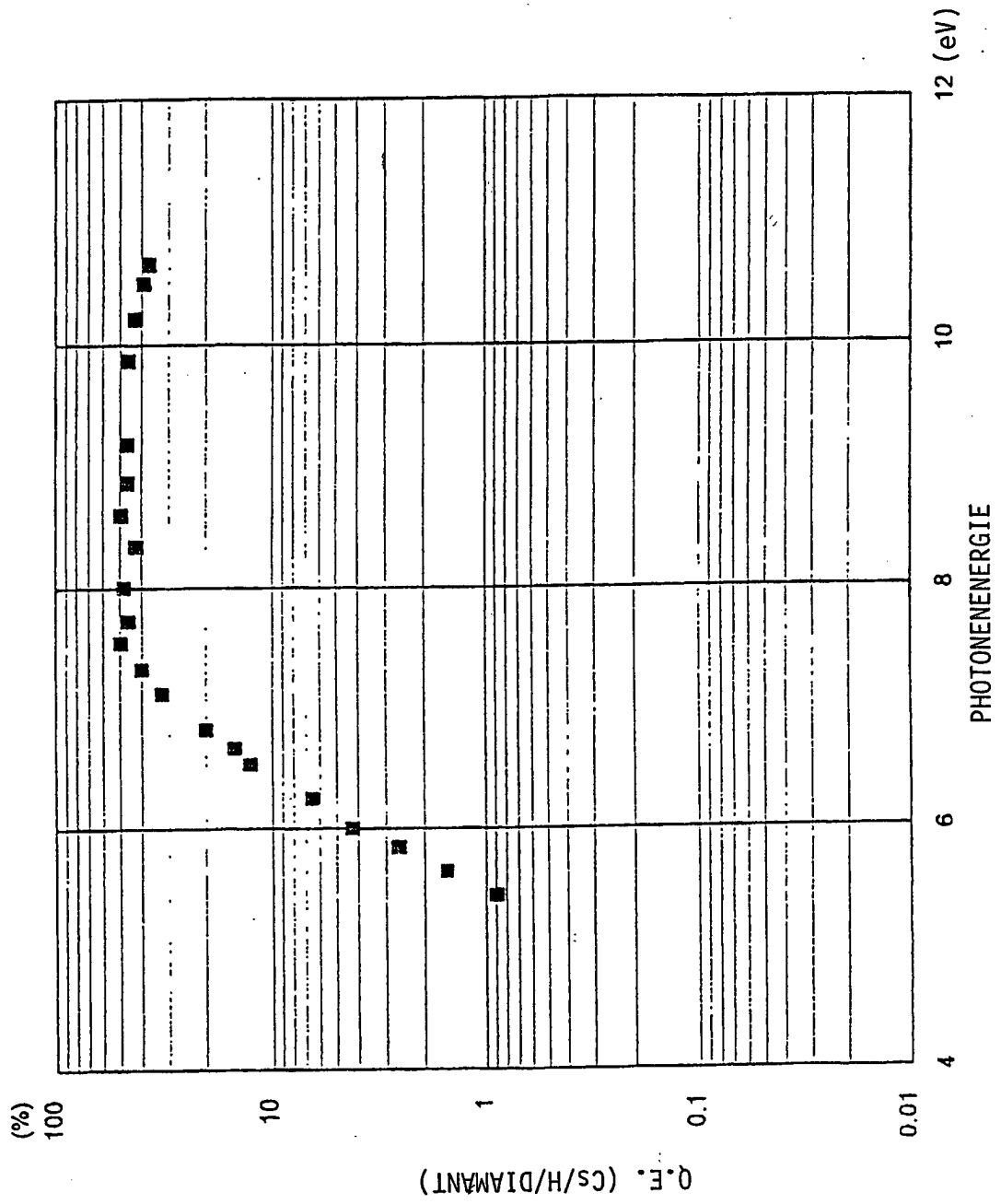


Fig.16

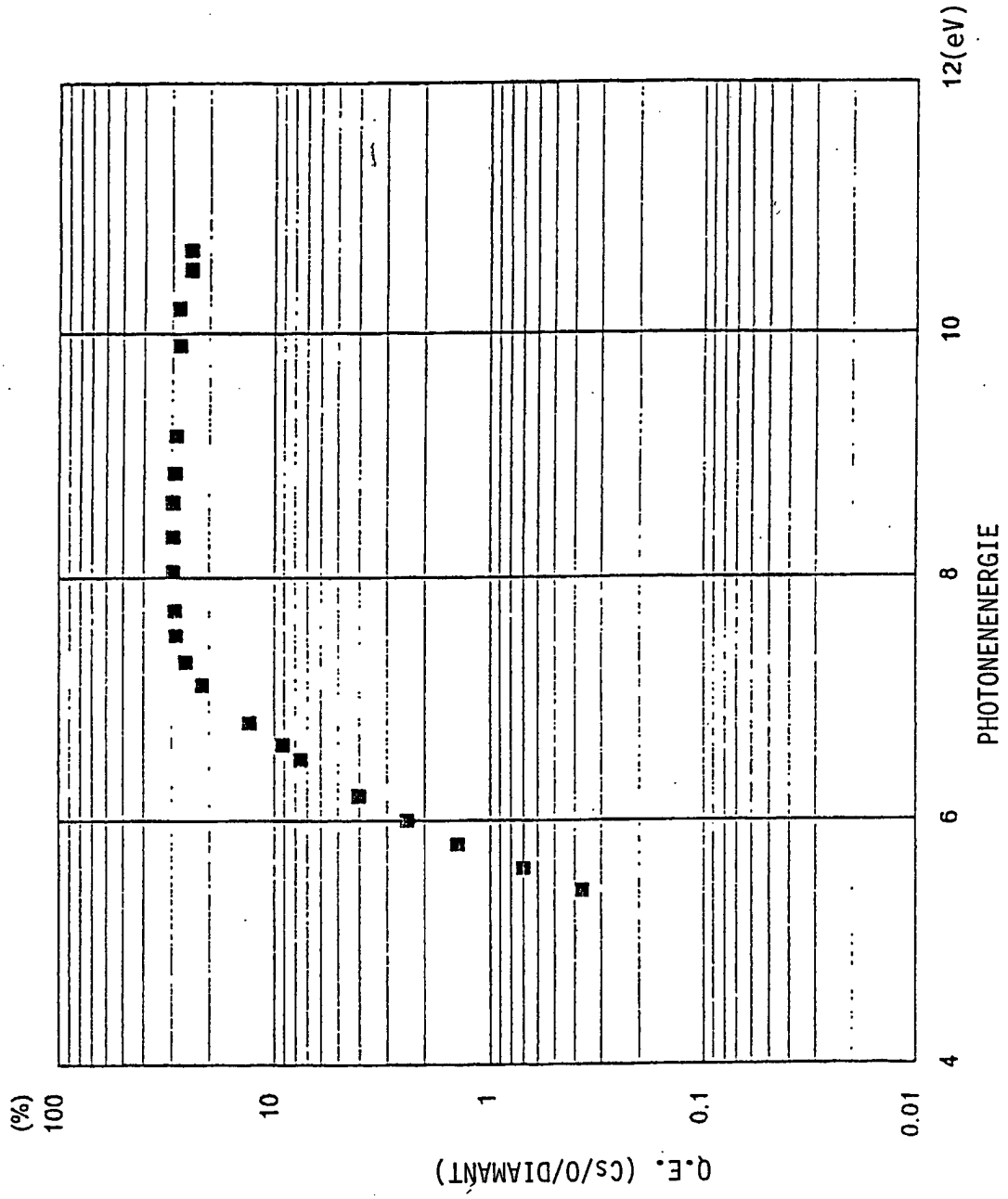


Fig.17

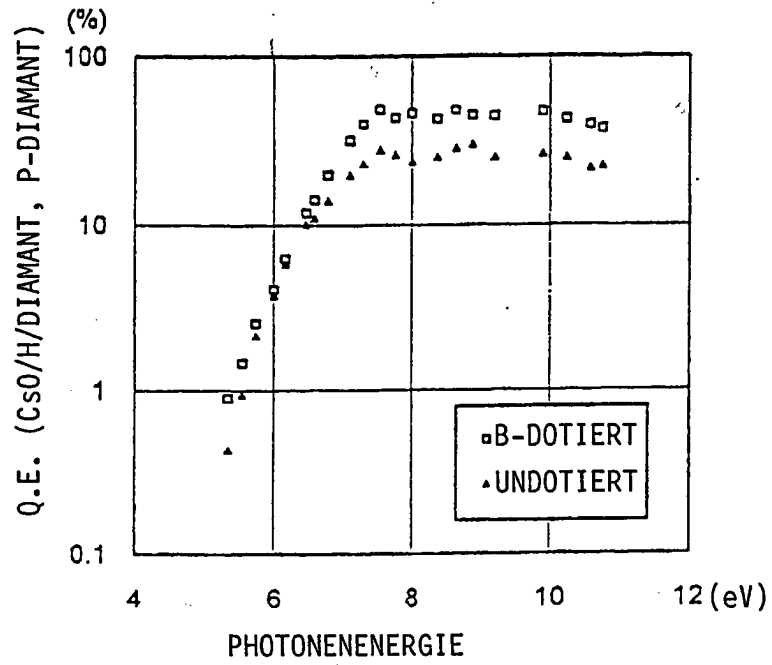


Fig.18

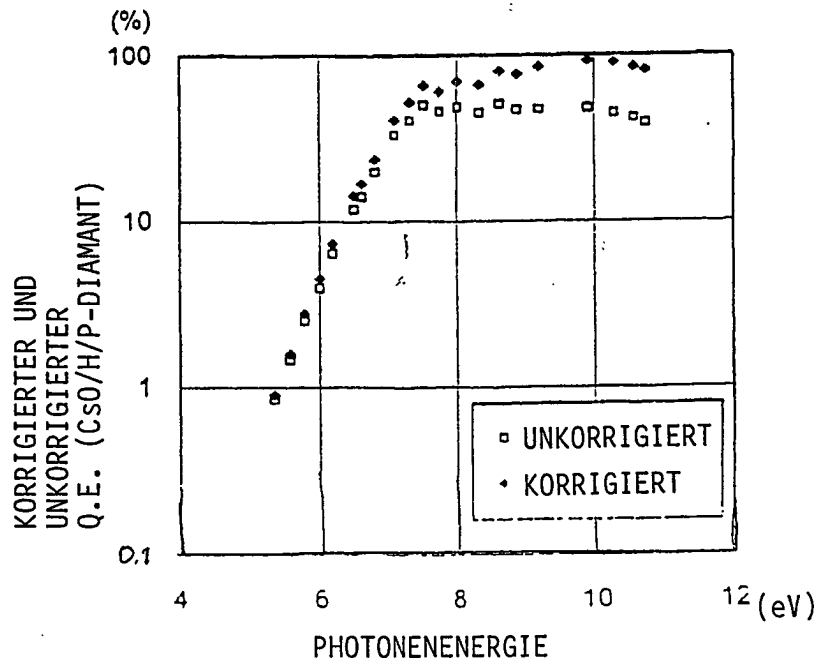


Fig.19

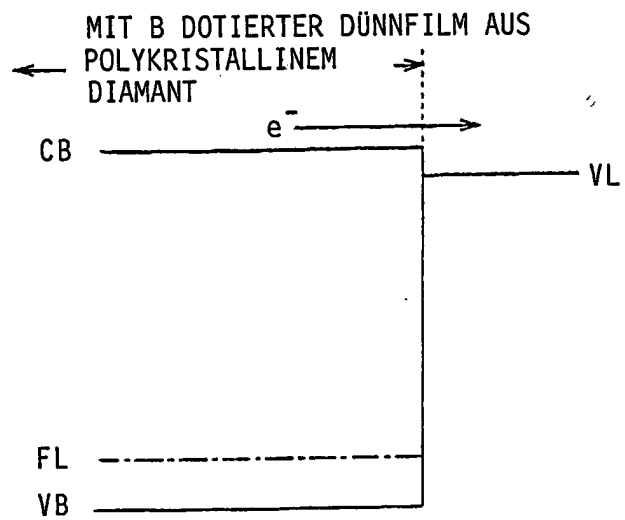


Fig.20

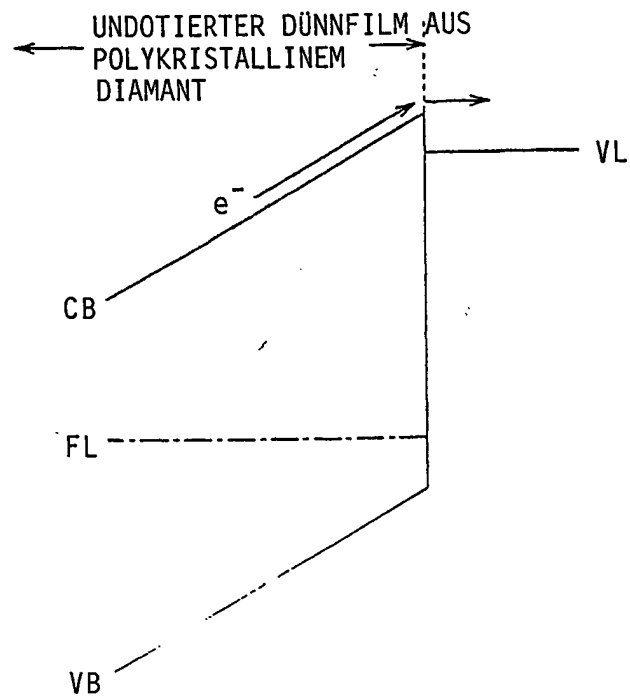


Fig.21

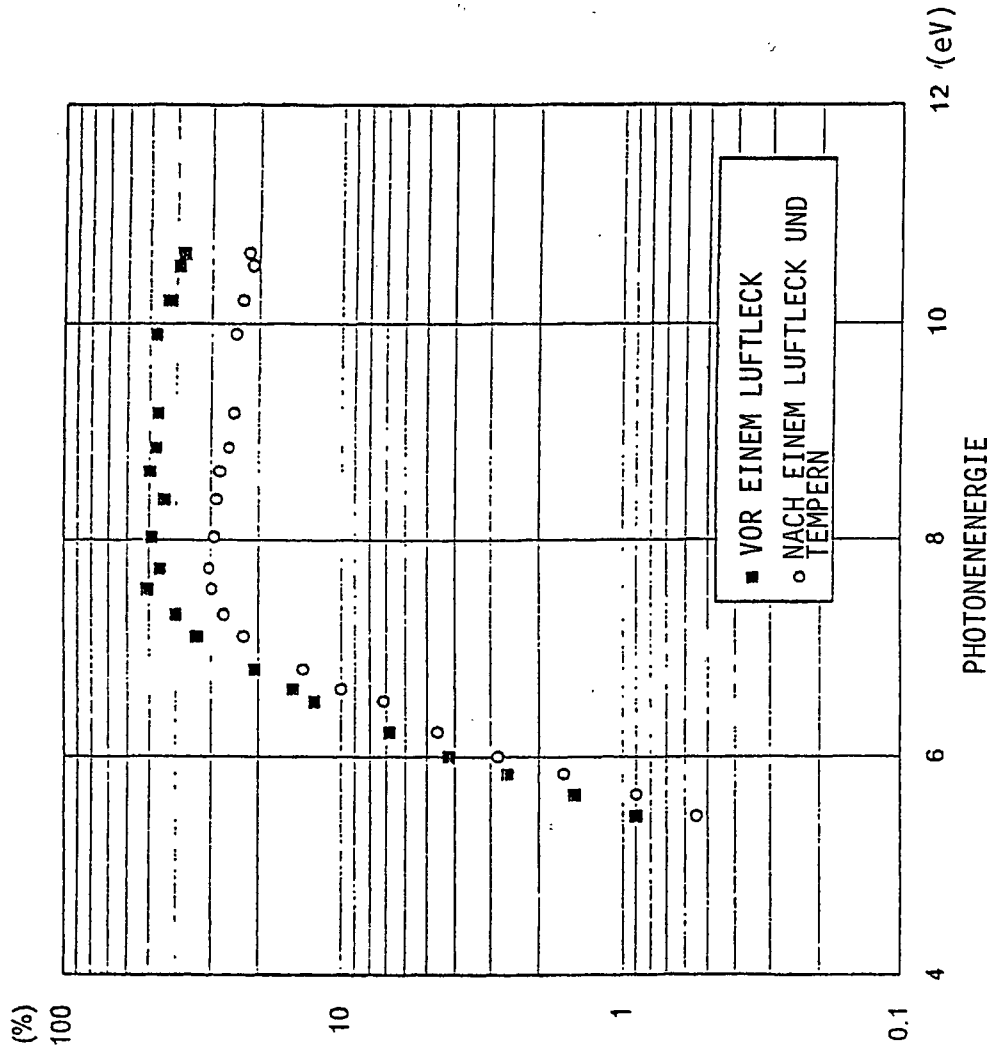


Fig.22

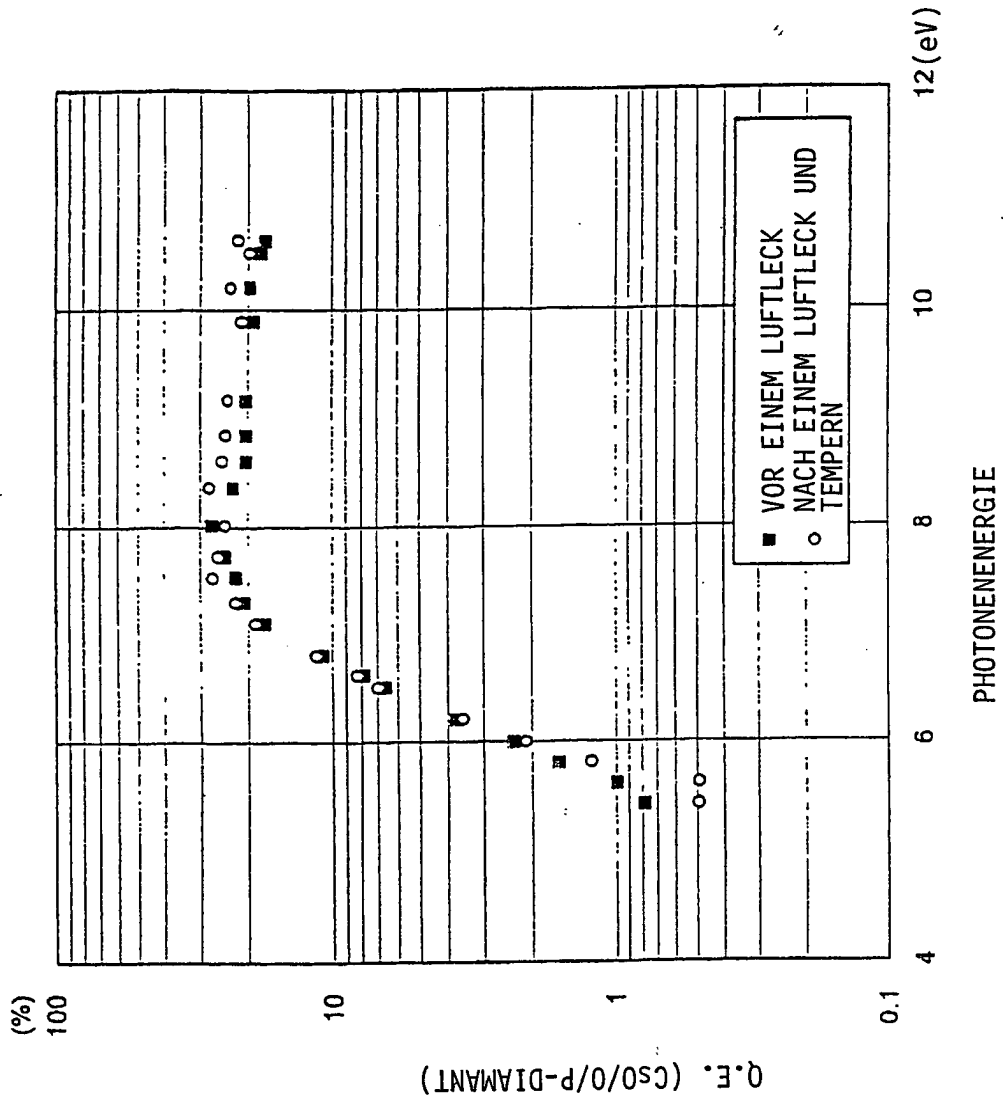


Fig.23

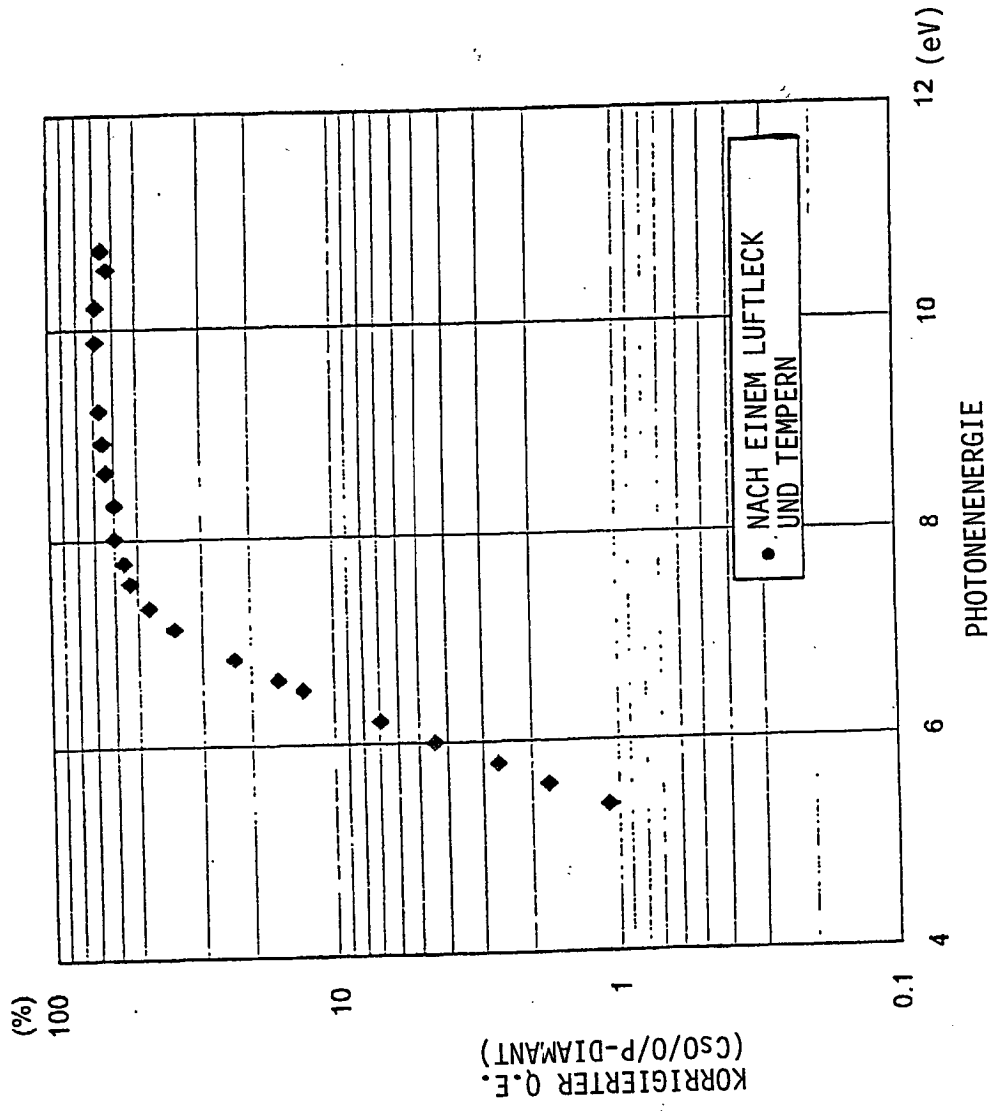


Fig. 24

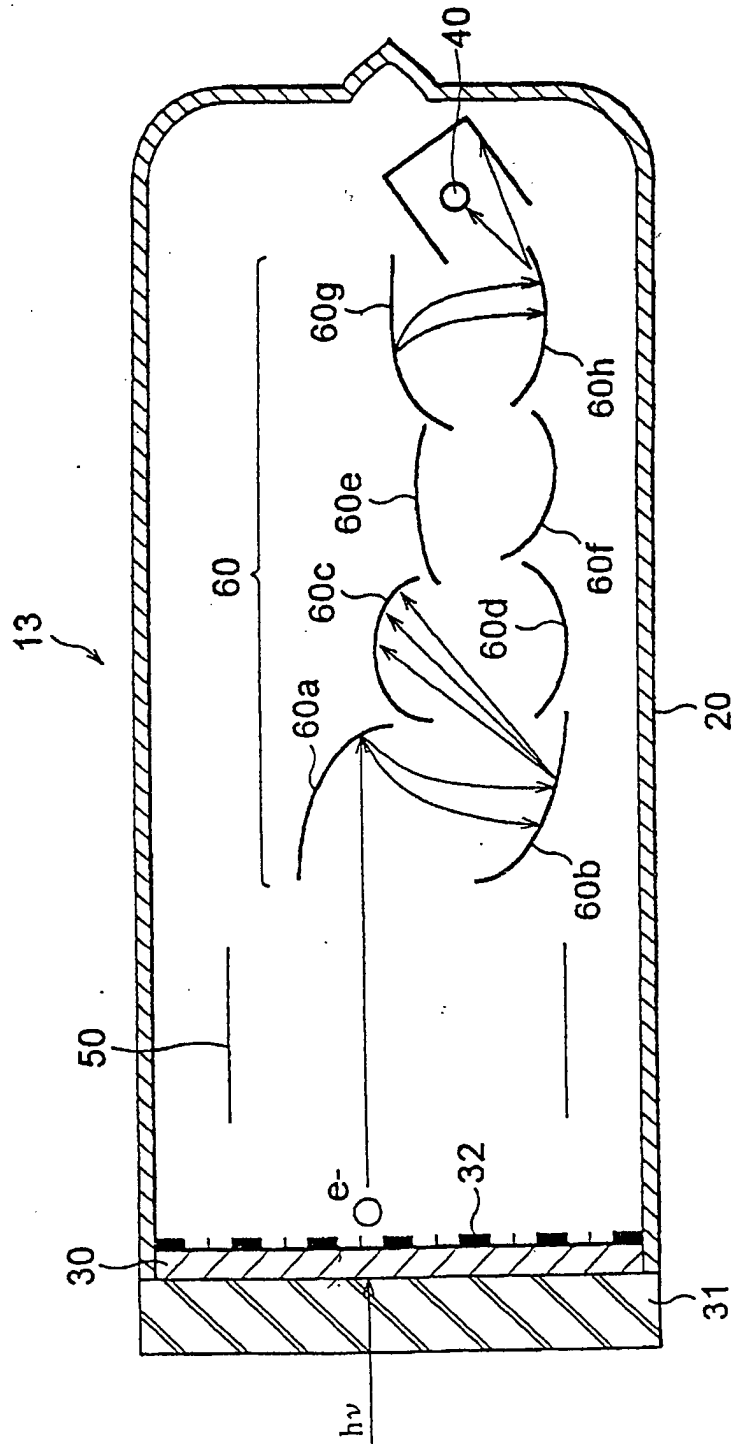


Fig.25

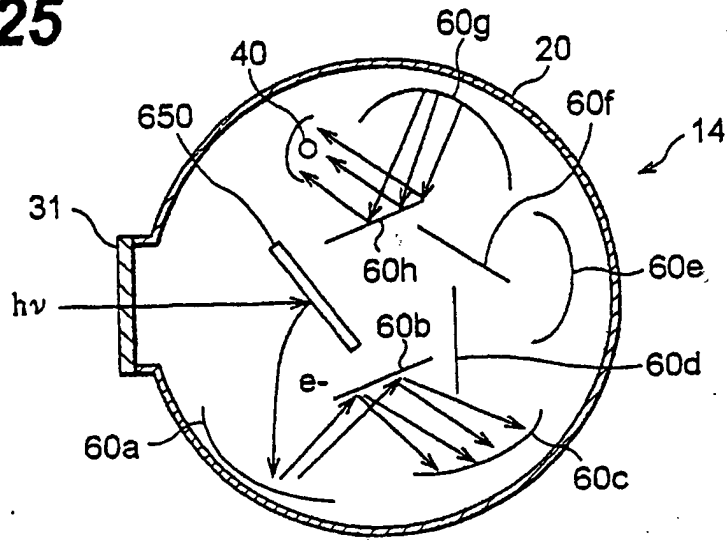


Fig.26

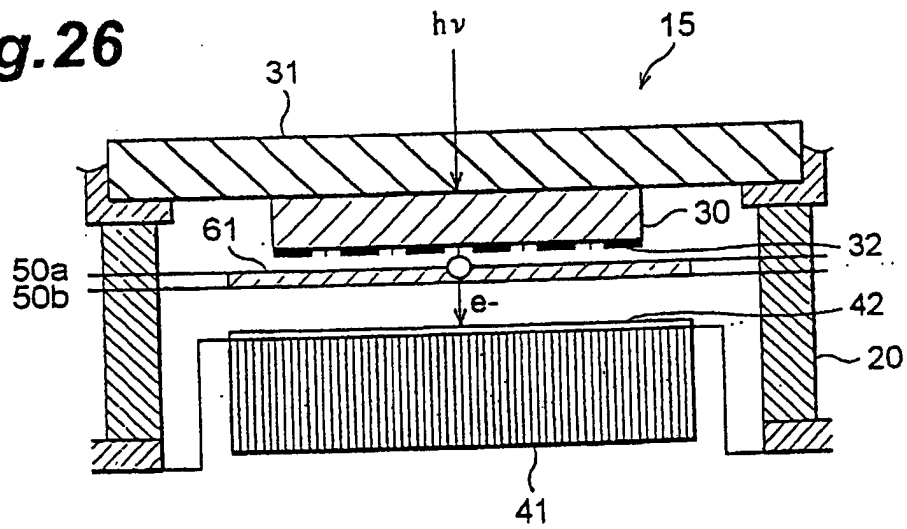


Fig.27

