



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 11 012 T2** 2004.06.17

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 086 480 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 11 012.2**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/DK99/00323**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 926 278.5**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/065050**

(86) PCT-Anmeldetag: **11.06.1999**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **16.12.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **28.03.2001**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **03.09.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.06.2004**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **H01J 1/30**  
**H01L 29/76**

(30) Unionspriorität:  
**88978 P 11.06.1998 US**

(73) Patentinhaber:  
**Viscor, Petr, Jystrup, DK; Nielsen, Niels Ole,  
Silkeborg, DK; Delong, Armin, Brno, CZ; Kolarik,  
Vladimir, Brno, CZ**

(74) Vertreter:  
**Vossius & Partner, 81675 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:  
**Viscor, Petr, 4174 Jystrup, DK; Nielsen, Niels Ole,  
8600 Silkeborg, DK; Delong, Armin, 602 00 Brno,  
CZ; Kolarik, Vladimir, 621 00 Brno, CZ**

(54) Bezeichnung: **FLACHER ELEKTRONENEMITTER**

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****Gebiet der Erfindung**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine neue Art, Halbleiter- oder Isolatorsubstrate zur Erzeugung und Leitung quasi-ballistischer Elektronen zu verwenden, wenn sie kleinen elektrischen Feldern ausgesetzt werden. Dies wird es möglich machen, Elektronen innerhalb des Halbleiter- oder Isolatorkörpers zu beschleunigen, ohne daß sie irgendwelche nennenswerte inelastische Energieverluste erleiden. Die primären Ausführungsformen werden Planar-Elektronenemitter sein, wie Flachbildschirme und Planar-Elektronenstrahlolithographie.

[0002] Eine Anzahl von Vorrichtungen, die den (offenbaren) Planar-Elektronenemitter auf verschiedenen Anwendungsgebieten verwenden, wird ebenfalls offenbart und die Prioritätsrechte für die Vorrichtungen wird ebenfalls beansprucht.

**Hintergrund der Erfindung**

[0003] Die vorliegende Erfindung betrifft den quasi-ballistischen Transport von Elektronen in hochohmigen Halbleitern oder Isolatoren, wenn sie kleinen (etwa 100 V/cm) externen elektrischen Feldern ausgesetzt werden. Quasiballistischer Transport bedeutet, daß die Elektronenstreuung auf ein Minimum reduziert wird, so daß die mittlere freie Elektronenweglänge makroskopisch wird. Dieser Effekt ist bisher nur in Halbleitern detektiert worden, wenn sehr große elektrische Feldstärken über sehr kurze Distanzen angelegt werden und/oder der Halbleiter auf sehr niedrige Temperaturen abgekühlt wird. Ein Halbleiter- oder Isolatormaterial mit den obigen Eigenschaften wird im folgenden als quasi-ballistischer Halbleiter oder QB-Sem bezeichnet.

[0004] Der quasi-ballistische Transport kann auf eine Anzahl von Arten genutzt werden. In dieser Anmeldung werden diese in zwei Hauptfelder getrennt:

1. Elektronenleitende Halbleiter, wo es die Transporteigenschaften der quasi-ballistischen Elektronen innerhalb des Materials sind, die die charakteristische Eigenschaft sind, und
2. Elektronquellen, wo es die Eigenschaft der quasiballistischen Elektronen ist, die aus dem Substrat emittiert werden sollen, die die charakteristische Eigenschaft ist.

[0005] Kein relevanter Stand der Technik erwähnt ballistische Elektronen in hochohmigen Halbleitern oder Isolatoren, auch nicht wenn sie großen elektrischen Feldern ausgesetzt werden. Diese Tatsache ist auf die allgemeine Meinung über quasiballistischen Transport in Halbleitern zurückzuführen. Die Möglichkeit eines quasi-ballistischen Transports in hochohmigen Materialien ist der Intuition entgegengesetzt und ist daher bisher noch nicht ergründet worden. Das Verständnis der wesentlichen Physik

dieses quasi-ballistischen Transportprozesses ist es gewesen, daß so lange das angelegte elektrische Feld  $E$  sich innerhalb des ohmschen Bereichs befindet (Konzentrationen und elektrische Mobilität der mobilen Ladungsträger sind konstant und unabhängig vom elektrischen Feld  $E$ ) und die Dicke des Stücks aus halbleitendem oder isolierendem Material größer als die mittlere freie Weglänge der mobilen Ladungsträger ist (bestenfalls in der Größenordnung von etwa ein bis zweitausend Åström), dann ist die Stromkomponente aus ballistischen Elektronen vernachlässigbar klein, was zu einem Wert der Elektronenemission führt, der im wesentlichen null ist. (Für Verweisquellen, siehe S. M. Sze: Physics of semiconductor devices; John Wiley 1981 oder K. W. Boer: Survey of semiconductor physics, B. II; Van Nostrand Reinhold 1992).

**1. Elektronenweiterleitende Halbleiter**

[0006] Der quasi-ballistische Transport von Elektronen in hochohmigen Halbleitern oder Isolatoren, wenn sie kleinen (um 100 V/cm) externen elektrischen Feldern ausgesetzt werden, ist eine Eigenschaft, die in mehr oder weniger jeder Halbleiterkomponente oder Vorrichtung verwendet werden kann.

[0007] Halbleiterkomponenten und Vorrichtungen decken ein weites Feld von Anwendungen ab, und die Patente und Verweisquellen innerhalb des Gebiets sind zahlreich. Vier Hauptklassen von Anwendungen sind mit Beispielen von Produkten in jeder Klasse hergestellt worden.

– Klasse A: Gleichrichtung und Ladungs- (Informations)-Speicherung.

Halbleiterkomponenten/Vorrichtungen in dieser Klasse schließen Schottky-Barrieren-Dioden (US 5 627 479 und EP 672 257 B1), bipolare p-n-, p-i-n-Dioden, Thyristoren ebenso wie eine Anzahl unipolarer Vorrichtungen, wie MIS (Metall-Isolator-Halbleiter)-Dioden, CCD (Ladungsgekoppelte Vorrichtungen), MIS-Tunneldioden, MIS-Schaltdioden, IMPATT- (Stoßionisation-Lawinenlaufzeit)- und BARITT (Grenzschichtinjektion und Laufzeit)-Dioden und andere verwandte Laufzeitvorrichtungen ein.

– Klasse B: Lichtempfindliche und lichtemittierende Vorrichtungen

Diese Klasse halbleitender Komponenten/Vorrichtungen schließen unter anderem LEDs (lichtemittierende Dioden), Photodioden, halbleitende Laser, Lawinendioden und andere photoleitfähige Vorrichtungen für Umwandlungszwecke von Licht in ein elektrisches Signal ein.

– Klasse C: Verstärkung und nichtflüchtiger Speicher

Anwendungen der vorliegenden Erfindung in dieser Klasse von Halbleiterkomponenten/Vorrichtungen schließen bipolare Transistoren und bipolare Unijunktions-Transistoren ein, zusammen mit einer Anzahl unipolarer Komponenten und Vor-

richtungen, einschließlich FETs (Feldeffekttransistor), JFETs (Sperrschicht-Feldeffekttransistor), MESFETs (Metall-Halbleiter-Feldeffekttransistor), MOSFETs (Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor) und nichtflüchtige Speichervorrichtungen. Besonders relevant in Bezug auf die vorliegende Erfindung sind innerhalb dieser Klasse Tunneltransistoren, TEDs (Gunn-Effekt-Bauelemente) und andere ballistische (Heiße Elektronen)-Transistoren und/oder Vorrichtungen.

– Klasse D: Optische Bilddetektion, Abbildung und Verarbeitung

Halbleiterkamera, Umwandlung elektrischer Signale in optische 2D-Bilder/Signale, optische 2D-Bild/Signal-Helligkeits-/Kontrastverstärkung und räumliche Verstärkung.

[0008] Vorrichtungen mit ballistischen oder heißen Elektronen, wie sie manchmal genannt werden, sind im voraus erwähnt worden (siehe zum Beispiel S. M. Sze: Physics of semiconductor devices: John Wiley 1981, S. 184, jedoch auch K. W. Boer: Survey of semiconductor physics, B. II; Van Nostrand Reinhold 1992, S. 1265 und 1247), jedoch sind die vorgeschlagenen Strukturen kostspielig herzustellen und unzuverlässig, wobei sie extrem kleine Abmessungen (in der Größenordnung von einhundert Ångström) und hohe elektrische Felder benötigen.

## 2. Elektronquellen

[0009] Die vorliegende Erfindung betrifft eine allgemeine Klasse von Elektronenvorrichtungen, die als „Elektronquellen“ bezeichnet werden, und insbesondere eine Unterklasse, die als „planare Elektronquellen“ bezeichnet werden. All diese Vorrichtungen liefern einen Strahl von Elektronen, der sich durch den leeren Raum bewegen und für verschiedene technologische Anwendungen verwendet werden kann.

[0010] Die wesentliche Anforderung für alle Elektronquellen ist, eine ausreichende Menge von Elektronen an die emittierende Oberfläche der Vorrichtung (die Oberfläche der Vorrichtung, die zum Vakuum weist) mit einer ausreichenden Energiemenge (3–5 eV in meisten Fällen) und einer Geschwindigkeit in die Richtung der emittierenden Oberfläche zu liefern, damit diese Elektronen die Energiebarriere an der Grenzfläche emittierende Oberfläche-Vakuum überwinden und aus dem Material in das Vakuum austreten können. Die Energiebarriere ist ungefähr durch die Energiedifferenz zwischen dem Vakuumpegel und dem chemischen Elektronenpotential an der emittierenden Oberfläche gegeben. Die notwendige Energiemenge kann durch irgendeines der folgenden Mittel bereitgestellt werden:

- Erwärmung der emittierenden Oberfläche („thermische Emissions“-Elektronquellen)
- Herstellung eines ausreichend hohen elektrischen Feldes im Bereich emittierende Oberfläche-Vakuum („Feldemissions“-Elektronquellen).

– Ausreichende Beschleunigung der Elektronen innerhalb des Hauptmassebereichs der Vorrichtung in die Richtung zur emittierenden Oberfläche („Tunnel-Feldemissions“- und/oder „quasi-ballistische Feldemissions“-Elektronquellen).

– Beleuchtung der emittierenden Oberfläche mit Hilfe von Photonen oder anderen energetischen Teilchen („Photoemissions“-Elektronquellen).

– Senken der Energiebarriere an der Grenzfläche emittierende Oberfläche-Vakuum („Negative Elektronenaffinitäts“-Elektronquellen).

oder durch die Kombination irgendwelcher der obigen Verfahren.

[0011] Während für einige Anwendungen ein Punktquellen-Elektronenstrahl erforderlich ist, wo die Elektronen anschließend beschleunigt und elektrooptisch moduliert werden, gibt es eine große Anzahl von technologischen Anwendungen, wo eine planare Quelle von Elektronen erforderlich ist und/oder vorteilhaft wäre. Der gesamte Stand der Technik, der in diesen Anwendungen verwendet werden soll, betrifft kleine punktförmige Emissionsbereiche aus einem spezifischen Materialeinzelteil an jenem Punkt. Ein größerer Planar-Elektronenemitter kann nur erzielt werden, indem eine Anordnung aus solchen kleinen Bereichen hergestellt wird. Außerdem brauchen die meisten Vorrichtungen eine Öffnung in der Anode, damit die Elektronen in das Vakuum austreten.

[0012] Es gibt eine sehr große Anzahl von Erfindungen, wie zum Beispiel aus den Entgegenhaltungen im US 5,703,435 (Dezember 1997) und im US 5,534,859 (September 1996) erkannt werden kann, die alle Planar-Elektronenemitter mit dem Hauptgewicht auf der Verwendung dieser Erfindungen als grundlegende Baublöcke in Feldemissions-Flachbildschirmen betreffen. Der größte Teil des Stands der Technik kann grob in zwei Klassen unterteilt werden.

## Klasse 1

[0013] In der ersten Klasse bestehen die Strukturen aus emittierender Kathode-Anode für gewöhnlich vollständig aus Festkörper-Konstruktion und werden aus einer Kombination von metallischen, halbleitenden und isolierenden Materialien gebildet, um die notwendigen Bedingungen dafür herzustellen, daß die Elektronenfeldemission an der Grenzfläche anodenoberfläche-leerer Raum stattfindet. Die Absichten dieser Vorrichtungen sind es, die Elektronenemissionseffizienz zu verbessern, wobei alle dieselbe Grundkathode mit verschiedenen Substanzen verwenden, die darauf angeordnet sind. Elektronen werden aus der Halbleiteroberfläche in den Freiraum durch eine Öffnung der Anode emittiert. Das Prinzip ist es, die Barriere Halbleiter-Freiraum schmaler zu machen und den Elektronen den Impuls zu erteilen, um aus der elektrischen Potentialbarriere einer Anode auszutreten und/oder durch sie zu tunnelt. Jede

der obenerwähnten Einrichtungen kann angewendet werden, um den Elektronenemissionsstrom  $I_{em}$  zu erhöhen.

[0014] Es ist ein besonders charakteristisches Merkmal einer Mehrzahl von Festkörper-Vorrichtungen in der Klasse Eins des Stands der Technik, daß die notwendigen großen äußeren Spannungen über verhältnismäßig sehr kurze Distanzen angelegt werden müssen (in der Größenordnung der mittleren freien Elektronenweglänge), um ausreichend starke elektrische Felder zu erzeugen, die die Erzeugung und die Beschleunigung der Elektronen fördern. Diese Elektronen bewegen sich dann längs etwas, was als quasi-ballistische Trajektorien in dem starken elektrischen Feld bezeichnet werden würde (wobei sie üblicherweise hier auch einer Lawinenmultiplikation unterliegen), zur Oberfläche der emittierenden Anode. Gleichzeitig verlieren sich jedoch auf ihrem Weg eine merkliche Energiemenge durch inelastische Kollisionen (Streuung). Das gegenwärtige Verständnis ist, daß große Spannungen benötigt werden, um eine erhebliche Emission von Elektronen durch dieses Verfahren zu erreichen. Wenn das angelegte elektrische Feld  $E$  zu klein ist (innerhalb des ohmschen Bereichs sind die Konzentrationen und die elektrische Mobilität mobiler Ladungsträger konstant und unabhängig vom elektrischen Feld  $E$ ) und die Dicke des halbleitenden oder isolierenden Materials  $L_{sam}$  (**Fig. 2**) größer als die mittlere freie Weglänge der mobilen Ladungsträger (bestenfalls in der Größenordnung von etwa ein bis zweitausend Ångström) ist, dann ist die elektrische Stromkomponente  $I_{bal}$  vernachlässigbar klein, was zu einem Wert des Elektronenemissionsstroms  $I_{em}$  führt, der im wesentlichen null ist (**Fig. 2**).

[0015] Ein gewisser ausgewählter Stand der Technik der Klasse 1 wird im folgenden kommentiert, andere werden am Ende des Absatzes aufgeführt.

[0016] US 5,536,193 betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Feldemitters, das die Schritte aufweist: Dispergieren kleiner Stücke eines Materials mit breiter Bandlücke auf einem Substrat, Bedecken des Materials mit Metall, Wegätzen des Metalls, bis das Material mit breiter Bandlücke hervorkommt, Herstellen kleiner Spitzen zum Emittieren von Elektronen.

[0017] US 5,463,275 beschreibt nur elektronenemittierende Vorrichtungen, die eine Schichtstruktur aus mindestens drei speziell gewählten Halbleitermaterialien aufweist.

[0018] US 4,801,994 betrifft eine Dreischicht-Halbleiterstruktur, wobei die mittlere Schicht ein Eigenhalbleiter sein soll, die vermutlich Elektronen mit sehr niedrigen Verlusten leiten sollte.

[0019] GB 1 223 729 (North American Rockwell Corporation) beschreibt eine elektronenemittierende Tunnelkathode, die eine Mehrschichtstruktur aufweist, die in Bezug auf **Fig. 2** des Patents beschrieben wird. Elektronen werden durch eine Basis(Kathoden-) Schicht **21** bereitgestellt, durch eine isolierende Barriere **22** transportiert und aus einer Emitter- (Ano-

den-) Schicht **23** emittiert. Indem eine Vorspannung angelegt wird, werden die Elektronen durch quantenmechanisches Tunneln (Fowler-Nordheim-Tunneln) durch die isolierende Barriere **22** auf Zustände mit hoher Energie angeregt, wie in **Fig. 4** gezeigt. Die Dünnschicht-Anodenschicht **23** ist angepaßt, mindestens einige der angeregten Elektronen durchzulassen, indem sie eine sehr kleine Dicke und eine einkristalline Beschaffenheit aufweist, um eine ballistische Elektron-Elektron-Kollisionswahrscheinlichkeit zu senken (Seite 4, Zeilen 98 bis 118). Die Elektronen, die an die Anodenschicht **23** geliefert werden, d. h. jene, die eine notwendige Energie über der thermischen Energie durch den Prozeß des quantenmechanischen Tunnelns durch die Barriere **22** gewonnen haben (heiße Elektronen), gewinnen keine weitere Energie während ihrer Bewegung innerhalb des Anodenbereichs. Die Herstellung der Anodeschicht **23** stellt eine Durchlässigkeit der Schicht für ballistische Elektronen bereit.

[0020] EP 504 603 B1 besteht aus der Anordnung einer komplexen Struktur von Halbleitern mit speziellen Verunreinigungsniveaus, um so die unterschiedlichen Verarmungsbereiche zu beeinflussen. Die Beschreibung offenbart die Verwendung einer Schottky-Barriere-Metall-Halbleiter-Grenzschicht, um die Emissionseffizienz zu verbessern.

[0021] US 5,554,859, US 4,303,930 und GB 1 303 659 decken zu EP 504 603 B1 ähnliche Bereiche ab.

[0022] Andere relevante Verweisquellen sind: Metall-Isolator-Metall-Elektronenfeldemitter (Physical Review Letters B. 76, 17 (1996), 320), jedoch auch Elektronenfeldemitter, die verschiedene Formen von diamantförmigen Komponenten enthalten (US 5,631,196, US 5,703,435 und deren Entgegenhaltungen).

## Klasse 2

[0023] In einigen Fällen des Stands der Technik werden die Merkmale, die die Klasse Eins kennzeichnen (Kombination mehr oder weniger planarer metallischer, halbleitender und isolierender Materialien verschiedener Dicke), mit Merkmalen kombiniert, die die Entstehung/Konzentration und Formung des notwendigen elektrischen Feldes betreffen. Die emittierende Kathode wird in diesem Fall für gewöhnlich präpariert, um eine Elektronenfeldemission von einem einzigen Punkt zu fördern. Dies wird entweder erreicht, indem sie mit einem Material mit einer niedrigen Elektronenaustrittsarbeit an kleinen Flächen überzogen wird und/oder indem das Material geometrisch geformt wird, um einen emittierenden Punkt oder Spitze zu bilden. Ein gewisser ausgewählter Stand der Technik der Klasse 2 wird im folgenden kommentiert, andere werden am Ende des Absatzes aufgeführt.

[0024] US 5,229,682 betrifft eine Elektronen-Feldemissionsvorrichtung, in der Elektronen in den Freiraum direkt aus einem Teil der emittierenden Elektro-

de eintreten, der durch eine Öffnung in der gegenüberliegenden Elektrode und einer Zwischenschicht vorsteht. Die Elektronen durchqueren keinerlei Zwischenhalbleiter- oder Isolatorschicht. Die emittierende Elektrode ist so geformt, daß sie einen Teil aufweist, der durch die Öffnung der gegenüberliegenden Elektrode und der Zwischenschicht eine Spitze bildet. Ein Flachbildschirm besteht aus einer Anordnung solcher Elektroden.

[0025] US 5,712,490 betrifft eine Photokathoden-vorrichtung, die mehrere Halbleiterschichten aufweist, die auf einer Fensterschicht angeordnet sind, wobei die Halbleiterschichten gewählt werden, um die Fähigkeit, Photonen zu absorbieren, das heißt die Photoleitfähigkeit zu optimieren, um die Diffusionslänge dieser Elektronen zu erhöhen. Die Erfindung offenbart nicht, daß eine optisch transparente Elektrode zwischen der Fensterschicht und der ersten Halbleiterschicht angeordnet werden soll (siehe 3. Spalte, Zeile 11).

[0026] US 5,528,103 wie US 5,229,682, die jedoch außerdem Fokussierungsstege zum Zweck der Erzeugung eines elektrischen Feldes, das die Elektronen veranlaßt, die aus den Gate-Elektroden zwischen ihnen emittiert werden, in einem engen Band zu konvergieren, nicht zum Absorbieren von Elektronen aufweist. Außerdem müssen diese Elektroden/Stege leitfähig sein (obgleich in Spalte 7, Zeile 27 anders angegeben), um ihren Zweck zu dienen.

[0027] US 5,212,426 wie US 5,229,682, die jedoch auch eine integrale Steuerung für jede Elektrode (Pixel) aufweist, die eingebaute Transistoren zur Steuerung der elektrischen Ladung an jeder emittierenden Elektrode verwendet.

[0028] US 4,823,004 betrifft eine Vorrichtung zur Analyse der ballistischen Trajektorien von Elektronen durch ein Material, als auch zum Gewinnen von Informationen über die Materialhauptmassenstruktur durch Analysieren der ballistischen Trajektorien. US 5,444,328 betrifft ein Verfahren zum Aufbauen von elektronenemittierenden Hochspannungshalbleiterstrukturen in einer Weise, die einen elektrischen Durchschlag weniger wahrscheinlich macht.

[0029] In der US 5,631,196 sowie der US 5,229,682, jedoch mit flacher Emitter-Elektrode, sind die Teile, die durch die Öffnung der gegenüberliegenden Elektrode und der Zwischenschicht eine Spitze bilden, durch mit Verunreinigungen dotierte Diamantteilen als den elektronenemittierenden Stoff ersetzt.

[0030] Andere relevante Verweisquellen sind: US 4,683,399, EP 150 885 B1, EP 601 637 A1, US 5,340, 997 und deren Entgegenhaltungen.

#### Ausnahmen

[0031] Ausnahmen aus den obigen Klassen schließen Vorrichtungen ein, in denen Elektronen in den leeren Raum zwischen einer Kathode und der Anode emittiert werden, indem eine ausreichende elektrische Spannung zwischen ihnen angelegt wird. Die

emittierende Kathode ist in diesem Fall gewöhnlich entweder durch ein Material mit einer niedrigen Elektronenaustrittsarbeit bedeckt und/oder ist geometrisch geformt, um die Elektronenfeldemission zu fördern. Ein Beispiel einer solchen Vorrichtung ist:

[0032] US 5,703,435 betrifft eine Feldemissionskathode, in der das Material der elektronenemittierenden Schicht entweder eine Mischung aus Graphit und Diamant-Kristalliten oder amorphem Diamant aufweist.

#### Anwendungen

[0033] Um elektronenweiterleitende Halbleiter und Elektronquellen in anwendbaren Vorrichtungen zu nutzen, müssen mehrere Erweiterungen an den Grundkomponenten vorgenommen werden, die im Stand der Technik beschrieben werden.

[0034] Die emittierten Elektronen könnten nicht die ausreichende Energie aufweisen, um ihrem Zweck zu dienen und müssen weiter beschleunigt werden. Dies wird typischerweise ausgeführt, indem eine „Beschleunigungselektrode“ in einem gewissen Abstand von der emittierenden Oberfläche auf einem sehr hohen positiven elektrischen Potential vorgesehen wird, die dadurch die emittierten Elektronen auf höhere Energien in den angrenzenden leeren Raum beschleunigt.

[0035] Für die Elektron-Licht-Umwandlungszwecke können die geeigneten „Luminophor“-Materialien in die Anodenstruktur eingebaut werden, wobei die Anodenstruktur entweder ein integraler Teil der Kathoden-Anoden-Struktur oder ein Teil der „Beschleunigungselektrode“ ist, die von der Kathoden-Anoden-Struktur durch einen endlichen leeren Raum getrennt ist.

[0036] Die Anwendungen von Elektronenquellen-vorrichtungen schließen typischerweise alle Formen von Elektronenmikroskopie, Planar-Elektronenstrahl-lithographie, Elektronkanonen zur Verdampfung von Materialien, Röntgenröhren, Elektronvervielfacher (Sekundärelektronenvervielfacher, zweidimensionale Teilchen-/EM-Strahlungsdetektoranordnungen), Elektronenstrahl-Schweißmaschinen, Flachbildschirme (die auf Elektronenfeldemission beruhen) und einige schnelle ballistische Halbleiter-Komponenten und Vorrichtungen ein.

#### Lithographie, Stand der Technik

[0037] Eine einzelne sehr wichtige Anwendung der vorliegenden Erfindung liegt auf dem Gebiet der Lithographie (Mikrolithographie) und insbesondere auf dem Gebiet, das in der Literatur als Planar-Elektronenstrahlolithographie (PEBL) bezeichnet worden ist. Lithographische Schritte sind während des Prozesses der Herstellung von integrierten Schaltungen (IC) wesentlich. Der lithographische Teil der IC-Produktion besteht im Prinzip in der Wiederholung der Schritte der Abdecklackauftragung auf die Oberfläche eines

Wafers, der Bestrahlung von Teilen des Abdecklacks mit Strahlung (Photonen, Elektronen oder Ionen) durch ein „Schreibwerkzeug“ und schließlich der Abdecklackentfernung. Optische, Röntgen- und Elektronen/Ionenstrahl-Lithographen sind die bekannten Verfahren, die mindestens im Prinzip die notwendigen lithographischen Aufgaben während der IC-Produktion erfüllen können. Die optische Lithographie ist die übliche ausgereifte industrielle Technologie; ihr Hauptnachteil ist die optische Beugungsgrenze an den kleinsten Merkmalen, die gedruckt werden können. In dem weiteren Bemühen, die Größe der IC-Komponenten und von ICs im allgemeinen zu senken, muß dies als ein Hauptnachteil angesehen werden. Durch Verwenden von Elektronen als Strahlungsquelle ist die optische Beugungsgrenze nicht vorhanden. Das schematische Diagramm des Prinzips hinter der Planar-Elektronenstrahlolithographie, die im Stand der Technik verwendet wird, wird in **Fig. 8** gezeigt. Sie verwendet eine Grundstruktur, die aus einer Kathode **1**, einem dünnen dielektrischen Film **24**, einer elektronenabsorbierenden Schablone **19** und der Anode **4** besteht. Elektronen quantentunneln durch den dünnen dielektrischen Film **24** und treten nur an den Stellen durch die Oberfläche **S4** in den Freiraum **FS** aus, wo die Anode in direkten Kontakt mit dem dielektrischen Film steht. Diese Elektronen werden dann beschleunigt und auf den Wafer mit einer vorher angeordneten elektronenempfindlichen Abdecklackschicht **6** projiziert. In H. Ahmed u. a. (einschließlich einiger der Erfinder der vorliegenden Erfindung) „Proceedings of the Conference on Microlithography“; Cavendish Laboratory, Cambridge 1989, wird gezeigt und experimentell demonstriert, wie eine Planar-Elektronenstrahlolithographie in der Praxis auszuführen ist. In diesem Stand der Technik ist das Elektronenlithographie-Projektionssystem demonstriert worden, das einen Planar-Elektronenemitter des Stands der Technik verwendet. Jedoch leiden die zugänglichen Elektronenemitter an anderen Nachteilen: Planar-Elektronenemitter, die für diesen Zweck geeignet sind, können ganze Wafer mit einem breiten Strahl bestrahlen, jedoch haben diese Planar-Elektronenemitter bei den notwendigen Spannungen infolge der Effekte, die durch die notwendigen großen Felder und kurzen Distanzen verursacht werden, extrem kurze Lebenszeiten.

[0038] Die vorliegende Erfindung bietet eine Lösung für dieses Problem.

[0039] Es ist ein Nachteil der existierenden planaren Elektronen-Feldemissionsvorrichtungen, daß große äußere Spannungen über verhältnismäßig sehr kurze Distanzen (in der Größenordnung der mittlere freien Elektronenweglänge) angelegt werden müssen, um ausreichend starke elektrische Felder zu erzeugen, die die Erzeugung und die Beschleunigung der Elektronen fördern.

[0040] Es ist ein anderer Nachteil, daß diese Anforderung verhältnismäßig sehr hoher lokaler elektrischer Felder über verhältnismäßig sehr kurze Distan-

zen, zusammen mit der Qualität des zur Verfügung stehenden Materials, in ihrer Folge zu einer kürzeren mittlere freien Elektronenweglänge (größeren Streuungsraten) führt, die wiederum effektiv die Grenze für mögliche physikalische Distanzen innerhalb der Vorrichtungen setzen, über die sich Elektronen ohne zu deutliche Energieverluste bewegen können.

[0041] Es ist ein weiterer Nachteil, daß infolge der obenerwähnten Effekte nur ein kleiner Anteil dieser Elektronen eine ausreichende Energie aufweist, um durch die (emittierende) Oberfläche der Anode in einen Raum nahe der Kathoden-Anoden-Struktur aus-treten.

[0042] Es ist noch ein weiterer Nachteil, daß diese Vorrichtungen im allgemeinen ziemlich niedrige Elektronenemissionsströme  $I_{em}$  (**Fig. 2**) und einen hohen Hintergrundstrom  $I_{back}$  (**Fig. 2**) aufweisen.

[0043] Es ist noch ein weiterer Nachteil der existierenden planaren Elektronen-Feldemissionsvorrichtungen, daß sie unter Nachteilen, wie einer zu großen elektrischen Leistungsaufnahme pro Quadratzen-timeter der elektronenemittierenden Oberfläche lei-den.

[0044] Es ist noch ein weiterer Nachteil, daß die obenerwähnten Effekte zu einer niedrigen Elektro-nenemissionseffizienz führen.

[0045] Es ist noch ein weiterer Nachteil der existierenden planaren Elektronen-Feldemissionsvorrich-tungen, daß sie häufig instabil und für einen Durch-schlag anfällig sind, was im allgemeinen ihre Lebens-dauer ernsthaft einschränkt.

[0046] Es ist noch ein weiterer Nachteil der Vorrich-tungen, daß sie an einer häufigen Überhitzung infol-ge der großen Energieverluste in den kritischen Be-reichen der Vorrichtungen leiden (hohe elektrische Felder über sehr kleine Distanzen).

[0047] Es ist noch ein weiterer Nachteil, daß die Vergrößerung dieser planaren Elektronen-Feldemis-sionsvorrichtungen (Erhöhung der elektronenemittie-renden Fläche der Kathode) ein ernstes Problem dar-stellt.

[0048] Es ist noch ein weiterer Nachteil der Vorrich-tungen, daß sie unübliche kostspielige Materialien verwenden.

[0049] Es ist noch ein weiterer Nachteil der existierenden planaren Elektronen-Feldemissionsvorrich-tungen, daß die Konstruktionen zu komplex sind.

[0050] Es ist noch ein weiterer Nachteil der Pla-nar-Elektronenemitter, die einen breiten Strahl emit-tieren, der zur Bestrahlung von Wafern in der Herstel-lung von ICs geeignet ist, daß sie eine extrem kurze Lebensdauer (weniger als 30 Minuten) aufweisen, was sie zur Planar-Elektronenstrahlolithographie un-geeignet macht.

#### Elektronenleitende Halbleiter

[0051] Die vorliegende Erfindung zielt darauf ab, die obenerwähnten Nachteile zu lösen, indem sie die Existenz unter geeigneten Betriebsbedingungen und

in bestimmten einfachen Halbleiter- und Isolatorstrukturen verwendet.

[0052] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Halbleiter- oder Isolatorsubstrat bereitzustellen, in denen sich Elektronen längs quasi-ballistischer Trajektorien bewegen, wenn das Substrat niedrigen angelegten äußeren elektrischen Feldern ( $\leq 100$  V/cm) ausgesetzt ist. Die Elektronen (quasiballistische Elektronen) bewegen sich längs dieser Trajektorien von einer Seite des Substrats (Oberfläche S2, **Fig. 3**) zur anderen (Oberfläche S4), und werden auf Energien beschleunigt, die ausreichend sind, um durch die elektronenemittierende Oberfläche S4 in das Vakuum auszutreten. (Von nun an wird das Substrat auch als quasi-ballistisches Halbleitersubstrat – „QB-Sem-Substrat“ bezeichnet).

[0053] Es ist eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein QB-Sem-Substrat bereitzustellen, in dem die quasiballistischen Elektronen fast keine Energieverluste und Impulsänderungen erleiden, während sie sich durch das QB-Sem-Substrat bewegen.

[0054] Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein QB-Sem-Substrat bereitzustellen, in dem keine nennenswerte Wärme erzeugt wird, wenn das Substrat zum quasi-ballistischen Transport von quasi-ballistischen Elektronen verwendet wird.

[0055] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein QB-Sem-Substrat bereitzustellen, in dem ein quasiballistischer Transport bei niedrigen (ohmschen) externen elektrischen Feldern möglich ist und über makroskopische Distanzen stattfinden kann.

[0056] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein QB-Sem-Substrat bereitzustellen, in dem die Elektronengeschwindigkeiten nicht durch Mobilitätsättigungseffekte durch hohe elektrische Felder begrenzt sind.

[0057] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein QB-Sem-Substrat bereitzustellen, in dem das Verhalten der Elektronen ähnlich zu dem Verhalten von Elektronen in Vakuumröhren ist.

[0058] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein QB-Sem-Substrat bereitzustellen, das keine hohen externen elektrischen Felder und eine extrem kleine Substratdicke (in der Größenordnung von einhundert Ångström) benötigt.

[0059] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein QB-Sem-Substrat bereitzustellen, aus dem robuste, verhältnismäßig kostengünstige Halbleiterkomponenten mit einer einfachen Gestaltung, hohen Zuverlässigkeit und langen Lebensdauer hergestellt werden können.

[0060] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein QB-Sem-Substrat bereitzustellen, das auf dem Gebiet elektronenoptischer Anwendungen zu verwenden ist.

[0061] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein QB-Sem-Substrat bereitzustellen, das bei der Gestaltung und Produktion von

Halbleiterkomponenten und Vorrichtungen und integrierten Schaltungen (ICs) zu verwenden ist.

[0062] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein QB-Sem-Substrat bereitzustellen, in dem die anomal niedrige Verlustleistung durch die QB-Elektronen innerhalb des QB-Halbleiters zur Lösung des Wärmeerzeugungsproblems beiträgt, wenn hohe Packungsdichten der Komponenten in den ICs verwendet werden.

[0063] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein QB-Sem-Substrat bereitzustellen, so daß die Gestaltung von „Heißelektronen“-Vorrichtungen nicht auf komplizierten Dünnschichtmultistrukturen beruhen muß, die häufig unzuverlässig und kostspielig herzustellen sind.

[0064] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, QB-Sem-Substrate bereitzustellen, die keine hohen externen elektrischen Felder benötigen, so daß die Verschlechterung der verschiedenen Halbleitervorrichtungen durch einen irreversiblen Durchschlag im wesentlichen beseitigt wird.

[0065] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, QB-Sem-Substrate bereitzustellen, die vollständig in die existierende Halbleitertechnologie integrierbar sind.

[0066] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, QB-Sem-Substrate bereitzustellen, die vollständig in die existierende integrierte Schaltungstechnologie und Produktion integrierbar sind.

[0067] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, QB-Sem-Substrate bereitzustellen, bei denen die Gestaltung schneller Hochfrequenz-Halbleiterkomponenten und Vorrichtungen keinen geometrischen Einschränkungen unterliegt.

[0068] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, QB-Sem-Substrate bereitzustellen, mit denen neue Gestaltungskonzepte für Halbleiterkomponenten/Vorrichtungen und/oder physikalische Vorrichtungen möglich sind.

[0069] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, QB-Sem-Substrate mit einer Lebensdauer derselben Größenordnung wie (oder länger als) die üblichen Halbleiterindustrieprodukte bereitzustellen.

[0070] Der Effekt, daß sich in QB-Halbleitern Elektronen bei niedrigen angelegten externen elektrischen Feldern/Spannungen quasi-ballistisch über makroskopische Distanzen bewegen können, wie durch die vorliegende Erfindung offenbart, wird einen größeren Einfluß auf die Gestaltung und Konstruktion/Herstellung vieler Halbleiterkomponenten und Vorrichtungen sowohl der bipolaren und als auch unipolaren Sorte haben. Diese werden entweder als einzelne Einheiten oder als Komponenten/Teile innerhalb der Architektur integrierter Schaltungen verwendet werden.

## Elektronquellen

[0071] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Elektronenemitter bereitzustellen, in der die emittierten Elektronen makroskopisch quasi-ballistische Trajektorien (diese Trajektorien sind viel hundert Mikrometer lang) in einem Stück eines QB-Sem-Substrats verwenden, das niedrigen, von außen angelegten elektrischen Feldern ( $\leq 100$  V/cm) ausgesetzt ist. Diese Elektronen (quasi-ballistische Elektronen), die sich längs dieser Trajektorien von einer Seite des Substrats (Oberfläche S2, **Fig. 3**) zur anderen (Oberfläche S4) bewegen, werden beschleunigt, wodurch sie ihre Energie erhöhen, und treten in das Vakuum durch die elektronenemittierende Oberfläche S4 aus.

[0072] Es ist eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Planar-Elektronenemitter bereitzustellen, die durch sehr niedrige angelegte elektrische Felder/Spannungen gekennzeichnet sind.

[0073] Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Planar-Elektronenemitter bereitzustellen, die durch eine sehr niedrige Verlustleistung gekennzeichnet sind.

[0074] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, dünne ( $\leq 1$  cm) Planar-Elektronenemitter mit einer vollständigen Festkörperkonstruktion bereitzustellen.

[0075] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Planar-Elektronenemitter bereitzustellen, in denen die makroskopische emittierende Oberfläche keine Unterteilungen aufweist.

[0076] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Planar-Elektronenemitter bereitzustellen, die durch die Einfachheit und Robustheit des Aufbaus gekennzeichnet sind (**Fig. 3**).

[0077] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Planar-Elektronenemitter bereitzustellen, die durch eine selbsttragende Struktur des Aufbaus gekennzeichnet sind.

[0078] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Planar-Elektronenemitter bereitzustellen, in denen es keine Grenzen der geometrischen Vergrößerung der elektronenemittierenden Oberfläche gibt.

[0079] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Planar-Elektronenemitter bereitzustellen, in denen die Elektronenemissionsfläche groß ist und nur durch die laterale Größe des QB-Halbleiterwafers begrenzt ist, die heutzutage etwa  $800 \text{ cm}^2$  beträgt (diese Grenze kann natürlich überwunden werden, indem Module gebaut werden).

[0080] Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Elektronenemitter bereitzustellen, die zur Planar-Elektronenstrahlolithographie geeignet sind.

[0081] Die Anzahl der technologischen Anwendungen des planaren quasi-ballistischen Elektronenemitters ist sehr groß, und es ist die Absicht der Autoren der vorliegenden Erfindung, auch die Verwendung

der vorliegenden Erfindung in diesen zu beanspruchen. Diese Anwendungen schließen Verfahren und Vorrichtungen/Produkte, wie die Planar-Elektronenstrahlolithographie, Feldemissions-Flachbildschirme, Signalübertragungsvorrichtungen mit hoher Geschwindigkeit (niedriger Verlustleistung), Detektoren mit hoher Effizienz, effiziente Lichtquellen, Elektronenemissionsmikroskopie, zweidimensionale elektromagnetische Strahlungs- und/oder Teilchen-Detektoranordnungen, leicht integrierbare Hochgeschwindigkeitshalbleiterkomponenten, halbleitenden Vorrichtungen, die ballistische Elektronen verwenden, eine Vielfalt (neuartiger) Elektronquellen und viele andere ein.

## Zusammenfassung der Erfindung

[0082] Die vorstehenden Aufgaben werden gelöst durch Bereitstellen – unter einem ersten Aspekt – einer Elektronen leitenden Vorrichtung mit

- einem Element mit einer ersten und einer zweiten Oberfläche und einer die erste und zweite Oberfläche trennenden Materialschicht, wobei die erste Oberfläche zum Halten einer ersten elektrischen Ladung und die zweite Oberfläche zum Halten einer zweiten elektrischen Ladung ausgebildet sind,
- einer Einrichtung zum Erzeugen eines elektrischen Felds über wenigstens einem Teil des Elements, wobei die Einrichtung aufweist:
- eine Einrichtung zum Liefern der ersten elektrischen Ladung an die erste Oberfläche des Elements, und
- eine Einrichtung zum Liefern der zweiten elektrischen Ladung an die zweite Oberfläche des Elements, wobei sich die zweite elektrische Ladung von der ersten elektrischen Ladung unterscheidet, um mehrere Elektronen durch das Element hindurch in einer Richtung zumindest im wesentlichen senkrecht zu der ersten oder der zweiten Oberfläche zu bewegen, wobei die Vorrichtung dadurch gekennzeichnet ist, daß:
- die Materialschicht so präpariert ist, daß sie eine Elektronenstreuung innerhalb der Materialschicht verringert, indem sie ein Einkristallmaterial mit einer vorbestimmten Kristallorientierung senkrecht zu der ersten oder zweiten Oberfläche bildet, und indem sie eine Verunreinigungskonzentration von weniger als  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$  aufweist, und
- die Materialschicht eine Dicke in einer Richtung zumindest im wesentlichen senkrecht zu der ersten oder der zweiten Oberfläche aufweist, welche gleich oder größer als  $0,2 \text{ }\mu\text{m}$  ist.

[0083] Die Materialschicht kann ein Halbleitermaterial, wie z. B. Silizium, Germanium, Siliziumcarbid, Galliumarsenid, Indiumphosphid, Indiumantimonid, Indiumarsenid, Aluminiumarsenid, Zinktellurid oder Siliziumnitrid oder irgendeine Kombination davon aufweisen.



[0084] Um die Elektronenstreuung zu reduzieren und dadurch das Vorhandensein von quasi-ballistischen Elektronen zu erleichtern, kann die Materialschicht ein Dotierungsmittel aufweisen, um eine vorbestimmte Verunreinigungskonzentration zu erreichen. Die Verunreinigungskonzentration kann weniger als  $10^{13} \text{ cm}^{-3}$  oder weniger als  $10^{12} \text{ cm}^{-3}$  betragen.

[0085] Das Dotierungsmittel kann Phosphor, Lithium, Antimon, Arsen, Bor, Aluminium, Tantal, Gallium, Indium, Wismut, Silizium, Germanium, Schwefel, Zinn, Tellur, Selen, Kohlenstoff, Beryllium, Magnesium, Zink, oder Cadmium oder irgendeine Kombination davon aufweisen.

[0086] Die Einrichtung zum Liefern der ersten elektrischen Ladung an die erste Oberfläche kann ein wenigstens teilweise leitendes erstes Material oder Materialsystem aufweisen. In ähnlicher Weise kann die Einrichtung zum Liefern der zweiten elektrischen Ladung an die zweite Oberfläche ein wenigstens teilweise leitendes zweites Material oder Materialsystem aufweisen.

[0087] Das wenigstens teilweise leitende erste Material oder Materialsystem kann eine Schicht mit einer ersten und zweiten Oberfläche bilden, wobei die zweite Oberfläche betrieblich mit einem ersten Anschluß eines Ladungsreservoirs verbunden ist, und wobei die erste Oberfläche in direktem Kontakt mit der ersten Oberfläche der Materialschicht des Elements steht.

[0088] Das wenigstens teilweise leitende zweite Material oder Materialsystem kann eine Schicht mit einer ersten und zweiten Oberfläche bilden, wobei die erste Oberfläche betrieblich mit einem zweiten Anschluß eines Ladungsreservoirs verbunden ist, und wobei die zweite Oberfläche in direktem Kontakt mit der zweiten Oberfläche der Materialschicht des Elements steht.

[0089] Die Ladungsreserve kann eine Batterie oder eine andere elektrische Energiequelle aufweisen, die einen Gleichstrom oder einen Wechselstrom für die Elektronen leitende Vorrichtung bilden.

[0090] Das wenigstens teilweise leitende erste und/oder zweite Material oder Materialsystem weist ein Metall oder ein hoch dotiertes Halbleitermaterial mit einem Dotierungspegel höher als  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  auf. Das wenigstens teilweise leitende erste und/oder zweite Material oder Materialsystem kann Gold, Chrom, Platin, Aluminium, Kupfer, Cäsium, Rubidium, Strontium, Indium, Praseodym, Samarium, Ytterbium, Francium oder Europium oder irgendeine Kombination davon aufweisen.

[0091] Die Einrichtung zum Liefern der zweiten elektrischen Ladung an die zweite Oberfläche kann dafür angepaßt sein, wenigstens einen Teil der von der Materialschicht geleiteten Elektronen durchzulassen. Die Einrichtung zum Liefern der zweiten elektrischen Ladung an die zweite Oberfläche kann eine dünne Filmschicht aufweisen, die wenigstens einen Teil der von der Materialschicht geleiteten Elektronen durchläßt.

[0092] Die geleiteten Elektronen können quasi-ballistische Elektronen aufweisen. Das heißt die Elektronen, die von oder durch die Materialschicht, das erste und/oder zweite Material oder Materialsystem oder durch irgendeinen anderen Teil der Elektronen leitenden Einrichtung geleiteten Elektronen können quasi-ballistische Elektronen aufweisen. Insbesondere kann die erste elektrische Ladung Elektronen aufweisen, die das Element mit normalen Verlusten durchlaufen, während die zweite elektrische Ladung quasi-ballistische Elektronen aufweisen kann.

[0093] Ein zweiter erfindungsgemäßer Aspekt bezieht sich auf ein Verfahren zum Transportieren von Elektronen, wobei das verfahren die Schritte aufweist:

- Bereitstellen eines Elements mit einer ersten und einer zweiten Oberfläche, wobei
- die erste Oberfläche dafür angepaßt ist, eine erste elektrische Ladung zu halten, und die zweite Oberfläche dafür angepaßt ist, eine zweite elektrische Ladung zu halten, und die erste Oberfläche im wesentlichen parallel zu der zweiten Oberfläche ist, und wobei
- das Element eine Einkristall-Materialschicht mit einer Dicke in einer Richtung im wesentlichen senkrecht zu der ersten oder zweiten Oberfläche aufweist, welche gleich oder größer als  $0,2 \mu\text{m}$  ist, wobei die Materialschicht so präpariert ist, daß sie Trajektorien für einen ballistischen oder quasi-ballistischen Elektronentransport innerhalb der Materialschicht erzeugt, indem sie eine vorbestimmte Kristallorientierung senkrecht zu der ersten oder zweiten Oberfläche aufweist, und die Materialschicht so präpariert ist, daß sie Elektronenstreuung innerhalb der Materialschicht reduziert, indem sie eine Verunreinigungskonzentration von weniger als  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$  aufweist,
- Liefern der ersten elektrischen Ladung an die erste Oberfläche des Elements, und
- Liefern der zweiten elektrischen Ladung an die zweite Oberfläche des Elements, wobei sich die zweite elektrische Ladung von der ersten elektrischen Ladung unterscheidet, um so ein elektrisches Feld innerhalb des Materials oder Materialssystems zu erzeugen, und
- Transportieren mehrerer Elektronen durch die Materialschicht hindurch entlang ballistischer oder quasiballistischer Trajektorien in einer Richtung im wesentlichen senkrecht zu der ersten oder der zweiten Oberfläche.

[0094] Die Materialschicht kann Halbleitermaterialien aufweisen. Eine Liste geeigneter Materialien oder Kombinationen davon wurde im Zusammenhang mit dem ersten erfindungsgemäßen Aspekt genannt. In ähnlicher Weise kann das Verfahren eine Dotierung umfassen unter Verwendung der vorstehend genannten Dotierungsmittel, um das Streuen von quasi-ballistischen Elektronen zu reduzieren.

[0095] Die Materialschicht kann mit einem vorbe-

stimmt den Dotierungspegel dotiert sein, der kleiner ist als  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , wie z. B. kleiner als  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ , wie z. B. kleiner als  $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ , wie z. B. kleiner als  $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ , wie z. B. kleiner als  $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$  ist.

[0096] Die Einrichtung zum Liefern der ersten elektrischen Ladung an die erste Oberfläche kann ein wenigstens teilweise leitendes erstes Material oder Materialsystem aufweisen.

[0097] Ähnlich kann die Einrichtung zum Liefern der zweiten elektrischen Ladung an die zweite Oberfläche ein wenigstens teilweise leitendes zweites Material oder Materialsystem aufweisen.

[0098] Das wenigstens teilweise leitende erste Material oder Materialsystem kann eine Schicht mit einer ersten und zweiten Oberfläche bilden, wobei die zweite Oberfläche betrieblich mit einem ersten Anschluß eines Ladungsreservoirs verbunden ist, und wobei die erste Oberfläche in direktem Kontakt mit der ersten Oberfläche der Materialschicht des Elements steht.

[0099] Das wenigstens teilweise leitende zweite Material oder Materialsystem kann eine Schicht mit einer ersten und zweiten Oberfläche bilden, wobei die erste Oberfläche betrieblich mit einem zweiten Anschluß eines Ladungsreservoirs verbunden ist, und wobei die zweite Oberfläche in direktem Kontakt mit der zweiten Oberfläche der Materialschicht des Elements steht.

[0100] Eine Potentialdifferenz größer als 2 Volt kann zwischen den ersten und zweiten Anschlüssen des Ladungsreservoirs sein, um quasi-ballistische Elektronen zu bewegen.

[0101] Das wenigstens teilweise leitende erste und zweite Material oder Materialsystem kann ein Metall oder ein hoch dotiertes Halbleitermaterial mit einem Dotierungspegel höher als  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  aufweisen. Beispiele für derartige Materialien sind oben im Zusammenhang mit dem ersten Aspekt der Erfindung erläutert.

[0102] Ein dritter erfindungsgemäßer Aspekt bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen einer Elektronen leitenden Vorrichtung, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:

- Bereitstellen einer Halbleitermaterialschiicht mit einer ersten und einer zweiten Oberfläche, wobei die zweite Oberfläche im wesentlichen parallel zu der ersten Oberfläche ist, und die Halbleitermaterialschiicht eine Dicke in einer Richtung zumindest im wesentlichen senkrecht zu der ersten und zweiten Oberfläche aufweist, welche gleich oder größer als  $0,2 \mu\text{m}$  ist, wobei die Materialschiicht so präpariert ist, daß sie Trajektorien für einen ballistischen oder quasi-ballistischen Elektronentransport innerhalb der Materialschiicht erzeugt, indem sie eine vorbestimmte Kristallorientierung senkrecht zu der ersten und zweiten Oberfläche aufweist, und die Materialschiicht so präpariert ist, daß sie Elektronenstreuung innerhalb der Materialschiicht reduziert, indem sie eine Verunreinigungskonzentration von weniger als  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$  auf-

weist,

- Bereitstellen einer Oberflächenbehandlung für die ersten und zweiten Oberflächen, um so die Oberflächenrauigkeit zu verringern,

- Bereitstellen eines wenigstens teilweise leitenden ersten Materials oder Materialsystems, wobei das erste Material oder Materialsystem eine Schicht mit einer ersten und zweiten Oberfläche bildet, wobei die zweite Oberfläche betrieblich mit einem ersten Anschluß des Ladungsreservoirs verbunden ist, und wobei die erste Oberfläche in direktem Kontakt mit der ersten Oberfläche der Materialschiicht des Elements steht, und

- Bereitstellen eines wenigstens teilweise leitenden zweiten Materials oder Materialsystems, wobei das zweite Material oder Materialsystem eine Schicht mit einer ersten und zweiten Oberfläche bildet, wobei die erste Oberfläche betrieblich mit einem zweiten Anschluß des Ladungsreservoirs verbunden ist, und wobei die zweite Oberfläche in direktem Kontakt mit der zweiten Oberfläche der Materialschiicht des Elements steht.

[0103] Bezüglich der vorstehend genannten Materialien oder Materialsysteme wurde eine Liste geeigneter Kandidaten oder Kombinationen von diesen im Zusammenhang mit dem ersten erfindungsgemäßen Aspekt genannt. In ähnlicher Weise kann das Verfahren eine Dotierung umfassen unter Verwendung der vorstehend genannten Dotierungsmittel und Dotierungspegeln um das Streuen von quasi-ballistischen Elektronen zu reduzieren.

[0104] Die vorbestimmte Kristallorientierung kann die  $\langle 111 \rangle$ ,  $\langle 110 \rangle$  oder  $\langle 100 \rangle$  Richtung oder eine andere für die Kristallstruktur des Elements geeignete Orientierung sein.

[0105] Die Oberflächenbehandlung kann verschiedene Techniken umfassen, wie Ätzen und/oder Polieren. Polieren kann optisches Polieren und/oder mechanisches Polieren umfassen.

[0106] Das wenigstens teilweise leitende erste und zweite Material oder Materialsystem kann ein Metall oder ein hoch dotiertes Halbleitermaterial mit einem Dotierungspegel höher als  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  aufweisen.

[0107] Das wenigstens teilweise leitende erste und zweite Material oder Materialsystem kann Gold, Platin, Chrom, Aluminium oder Kupfer oder irgendeine Kombination davon aufweisen.

[0108] Ein vierter erfindungsgemäßer Aspekt betrifft eine Plattenanzeigevorrichtung mit einem Elektronenemitter nach vorstehender Erläuterung, wobei die Plattenanzeigevorrichtung ferner aufweist:

- eine lichtemittierende Schicht zum Emittieren von Licht bei mehreren Wellenlängen bei Einwirkung von Elektronen, wobei die lichtemittierende Schicht in einer Ebene im wesentlichen parallel zu der ersten und zweiten Oberfläche des Elements eine zweidimensionale Matrix mit einem oder mehreren Oberflächenelementen definiert, wovon jedes Element zum Emittieren von Licht bei einer

vorbestimmten Wellenlänge geeignet ist, und

- eine Einrichtung zum selektiven Liefern von Elektronen an die eine oder mehreren Oberflächenelemente in der zweidimensionalen Matrix.

[0109] Die lichtemittierende Schicht kann zum Emittieren der mehreren Wellenlängen geeignete Lumiphore oder Standard-Farbf Fernsehphosphore aufweisen.

[0110] Das emittierte Licht kann wenigstens drei Wellenlängen, die wenigstens drei Farben entsprechen, aufweisen, um volle Farbinformation zu erhalten. Jede Farbe im sichtbaren Bereich kann aus einer Kombination der von der Schicht emittierten drei Farben abgeleitet werden. Die emittierten Wellenlängen können den Farben Rot, Gelb und Blau oder den Farben Rot, Grün und Blau entsprechen.

[0111] Die selektive Einrichtung kann ein Muster aufweisen, um so in einer Ebene im wesentlichen parallel zu der ersten oder zweiten Oberfläche eine zweidimensionale Matrix von elektrisch steuerbaren Matrixelementen zu definieren, wobei das Muster aus einem wenigstens teilweise leitenden Material oder Materialsystem ausgebildet ist.

[0112] Ein fünfter erfindungsgemäßer Aspekt betrifft ein Verfahren zum Bestrahlen eines Films mit mehreren Elektronen, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:

- Bereitstellen eines Elektronenemitters nach vorstehender Erläuterung,
- Bereitstellen eines zweiten Elements, wobei das zweite Element dafür angepaßt ist, den von dem Elektronenemitter emittierten Elektronen zu bestrahlenden Film zu halten, m
- Positionieren einer strukturierten Absorptionsschicht zwischen dem ersten und zweiten Element, wobei die Absorptionsschicht dafür angepaßt ist, Elektronen zu absorbieren, die von dem Elektronenemitter an von dem Muster bestimmten Positionen emittiert werden,
- Liefern der ersten elektrischen Ladung an die erste Oberfläche der Materialschicht des Elektronenemitters,
- Liefern der zweiten elektrischen Ladung an die zweite Oberfläche der Materialschicht des Elektronenemitters, wobei die zweite elektrische Ladung ein entgegengesetztes Vorzeichen im Vergleich zu der ersten elektrischen Ladung besitzt, um Elektronen von der ersten Oberfläche zu der zweiten Oberfläche zu bewegen, und
- Bestrahlen des Films des zweiten Elements mit wenigstens einigen von dem Elektronenemitter emittierten Elektronen, die nicht von der strukturierten Absorptionsschicht absorbiert werden.

[0113] Die erste und zweite elektrische Ladung kann an die erste und zweite Oberfläche des ersten Elements von einem ersten und zweiten Anschluß eines Ladungsreservoirs geliefert werden, wobei die Potentialdifferenz zwischen den ersten und zweiten

Anschlüssen des Ladungsreservoirs größer als 2 Volt ist.

[0114] Das zweite Element kann ein Metall oder ein Halbleitermaterial, wie z. B. Silizium, Germanium, Siliziumcarbid, Galliumarsenid, Indiumphosphid, Indiumantimonid, Indiumarsenid, Aluminiumarsenid, Zinktellurid, oder Siliziumnitrid oder irgendeine Kombination davon aufweisen.

[0115] Der Film kann einen Abdecklack (Resist) aufweisen.

[0116] Die von dem Elektronenemitter emittierten Elektronen können Elektronen aufweisen, welche innerhalb der Materialschicht des Elektronenemitters quasi-ballistisch sind.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0117] **Fig. 1** ist ein schematisches und vereinfachtes Elektronenenergiebanddiagramm gemäß der vorliegenden Erfindung, wenn das äußere Potential null ist.

[0118] **Fig. 2** ist ein schematisches und vereinfachtes Elektronenenergiebanddiagramm gemäß der vorliegenden Erfindung, wenn ein endliches äußeres Potential angelegt wird.

[0119] **Fig. 3** ist ein vereinfachtes Modell der Grundstruktur eines erfindungsgemäßen Planar-Elektronenemitters.

[0120] **Fig. 4** ist eine schematische Seitenansicht eines Flachbildschirms, die die gemusterten Elektroden und den Lumiphor zeigt, wobei der letztgenannte zwischen dem QB-Halbleitersubstrat und der Anode angeordnet ist.

[0121] **Fig. 5** ist eine Draufsicht der **Fig. 4**.

[0122] **Fig. 6** ist eine alternative Ausführungsform zum Flachbildschirm gemäß **Fig. 4**, in der die Lumiphore hinter der Anode angeordnet sind.

[0123] **Fig. 7** ist eine andere Alternative zum Flachbildschirm gemäß **Fig. 4**, in der eine Elektronenbeschleunigungselektrode eingebaut ist, und die Lumiphore hinter der Beschleunigungselektrode angeordnet sind.

[0124] **Fig. 8** ist eine schematische Seitenansicht eines Planar-Elektronenemitters zur Planar-Elektronenstrahlolithographie des Stands der Technik. Eine Schablone aus einem elektronenabsorbierenden Material ist zwischen dem QB-Halbleiter und der Anode angeordnet. Eine Elektronenbeschleunigungselektrode wird hinzugefügt, und das zu bestrahlende Substrat wird vor dieser Elektronenbeschleunigungselektrode angeordnet.

[0125] **Fig. 9** ist eine alternative Ausführungsform gemäß **Fig. 8**, in der das zu bestrahlende Substrat hinter der Elektronenbeschleunigungselektrode und außerhalb des Vakuums angeordnet ist, während die Gesamtstruktur des QB-Halbleiters und der Elektroden im Vakuum angeordnet sind.

[0126] **Fig. 10** ist äquivalent zu **Fig. 8**, jedoch mit einem planaren quasi-ballistischen Elektronenemitter gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vor-

liegenden Erfindung.

[0127] **Fig. 11** ist eine schematische Zeichnung einer Vorrichtung zur Implementierung planarer quasi-ballistischer Elektronenemitter in der Planar-Elektronenstrahlolithographie.

[0128] **Fig. 12** ist eine Photographie der Vorrichtung der **Fig. 11**.

[0129] **Fig. 13** ist eine mögliche Schablone, wie unter **Fig. 10** erwähnt.

[0130] **Fig. 14** ist eine Rasterelektronenmikroskop-Photographie, die einige Strukturen zeigt, die durch Planar-Elektronenstrahlolithographie hergestellt werden.

[0131] **Fig. 15** ist eine 3D-Ansicht, die das Innere der Ausführungsform gemäß zweidimensionaler Beleuchtungstafeln zeigt.

[0132] **Fig. 16** ist eine 3D-Ansicht, die das Äußere der Ausführungsform der **Fig. 15** zeigt.

[0133] **Fig. 17** ist eine alternative Ausführungsform gemäß zweidimensionaler Beleuchtungstafeln.

[0134] **Fig. 18** ist ein schematisches Diagramm einer erfindungsgemäßen typischen, schnellen Planar-Schottky-Barrierendiode.

[0135] **Fig. 19** ist ein schematisches und vereinfachtes Elektronenenergiebanddiagramm gemäß der Ausführungsformen lichtempfindlicher und lichtemittierender Vorrichtungen.

[0136] **Fig. 20** ist ein schematisches Diagramm eines typischen Planar-Metall-Halbleiter-Feldeffekttransistors (MESFET).

[0137] **Fig. 21** ist ein schematisches Diagramm einer erfindungsgemäßen Vorrichtung für die Detektion und Aufzeichnung zweidimensionaler optischer Signale/Bilder.

[0138] **Fig. 22** ist eine schematische Zeichnung gemäß der Ausführungsform einer optischen Signal/Bild-Verarbeitungsvorrichtung.

[0139] **Fig. 23** ist ein schematisches Energiediagramm einer der möglichen Konstruktionen einer erfindungsgemäßen Solarzelle.

[0140] **Fig. 24** ist eine schematische Zeichnung gemäß der Ausführungsform eines Feldelektronenemissionsmikroskops (E-CEM).

#### Detaillierte Beschreibung der Zeichnungen

[0141] Beschreibung der vorliegenden Erfindung, theoretisch Die vorliegende Erfindung wird zuerst theoretisch beschrieben, wobei die Ausführungsform eines Planar-Elektronenemitters (PEE) unter Bezugnahme auf **Fig. 1** und **Fig. 2** verwendet wird. Außerdem wird der Klarheit willen, ohne die Gültigkeit und Allgemeinheit der Argumenten zu verlieren, die folgen, ein vereinfachtes Modell verwendet werden, das ebenfalls einen spezifischen Satz von Elektroden verwendet. Unter keinen Umständen sollte das als ein beschränkender Faktor der vorliegenden Erfindung aufgefaßt werden. Die spezifische Anordnung in **Fig. 1** und **Fig. 2** wird lediglich zu Veranschaulichungszwecken verwendet, und andere allgemeinere

und/oder unterschiedliche Anordnungen sind möglich und müssen als durch die vorliegende Erfindung abgedeckt angesehen werden.

[0142] In **Fig. 1** wird eine einfache Elektronenbandstruktur als eine Funktion einer Raumkoordinate eines Stücks eines Halbleiter- oder Isolatormaterials gezeigt, wobei zwei, für den elektrischen Transport am relevantesten, quantenmechanischen Energien  $E_v$  (oberes Ende des Valenzbands) und  $E_c$  (unteres Ende des Leitungsbands) markiert sind. Die beiden Energien  $E_c$  und  $E_v$  sind durch eine Bandlücke  $E_g$  getrennt. Ein Satz aus zwei Metallelektroden, **1** (Kathode) und **4** (Anode), ist auf den beiden jeweiligen Oberflächen  $S_2$  und  $S_3$  des Stücks aus einem Halbleiter- oder Isolatormaterial angeordnet. Der Einfachheit willen wird angenommen, daß diese beiden Elektroden identisch sind.

[0143] Bei null Grad Kelvin sind alle quantenmechanischen Elektronenzustände über  $E_c$  und über dem chemischen Potential ( $\mu_M^{ch}$ ) der Metallelektroden leer, während jene unter  $E_v$  und unter dem chemischen Potential ( $\mu_M^{ch}$ ) der Metallelektroden besetzt sind. Bei einer gewissen endlichen Temperatur z. B. 300 Grad Kelvin und im thermodynamischen Gleichgewicht wird angenommen, daß das chemische Potential innerhalb der Hauptmasse des Stücks aus halbleitendem oder isolierendem Material ( $\mu_B^{ch}$ ) irgendwo nahe der Mitte der Lücke liegt. Der Einfachheit willen wird angenommen, daß dieses chemische Potential (in seiner Energie) mit dem chemischen Potential der Metallelektroden zusammenfällt, wobei auf diese Weise etwas gebildet wird, was als ein neutraler elektrischer Kontakt bekannt ist. Bei dieser endlichen Temperatur wird es eine kleine, jedoch endliche Konzentration  $n_e$  mobiler Elektronen mit der Energie  $E_c$  und eine kleine jedoch endliche Konzentration  $n_h$  mobiler Löcher bei  $E_v$  geben. Es wird außerdem vorausgesetzt, daß die halbklassische Näherung gilt, was bedeutet, daß es keine lokalen Änderungen in der Elektronenbandstruktur gibt, wenn ein äußeres elektrisches Feld  $E$  angelegt wird. Der Effekt dieses Feldes wird durch eine geeignete raumabhängige Energieverschiebung aller quantenmechanischen Energien bei einer gegebenen Distanz  $x$  infolge des Vorhandenseins des klassischen elektrischen Potentials

$$V(x) = E \cdot x \quad (1)$$

berücksichtigt.

[0144] **Fig. 1** beschreibt dann in ihrer Gesamtheit die Situation bei einer endlichen Temperatur, wenn kein äußeres elektrisches Feld angelegt ist.

[0145] Die in **Fig. 1** beschriebene Situation wird sich zu der in **Fig. 2** beschriebenen Situation ändern, wenn eine endliche, negative elektrische Ladung  $\Delta Q$  der Metallelektrode **1** hinzugefügt und eine entsprechend negative elektrische Ladung  $\Delta Q$  von der Metallelektrode **2** entfernt wird. Diese zusätzlichen Ladungen der beiden Elektroden werden bewirken, daß

ein konstantes elektrisches Feld  $E$  innerhalb des halbleitenden oder isolierenden Materialstücks vorhanden ist.

[0146] Unter einem niedrigen, ohmschen externen elektrischen Feld  $E$  ( $\sim 100$  V/cm; siehe auch **Fig. 2**) wird die Mobilität und die Konzentration thermischer Elektronen  $n_e$  und Löcher  $n_h$  (**Fig. 2**) im wesentlichen konstant bleiben, während sich ihre Driftgeschwindigkeiten gemäß

$$V\text{-drift (Elektronen; Löcher)} = \text{Mobilität (Elektronen; Löcher)} \cdot E \quad (2)$$

ändern werden, wobei auf diese Weise die jeweiligen Ströme  $I_e$  und  $I_h$  (**Fig. 2**) mit zunehmenden angelegten externen elektrischen Feld  $E$  zunehmen. Die Komponente  $I_{bal}$  (**Fig. 2**) ist der Beitrag des gesamten elektrischen Stroms aus quasi-ballistischen Elektronen, der durch die Struktur geht, die in **Fig. 2** gezeigt wird, das heißt jene Elektronen, die in das Stück aus halbleitendem oder isolierendem Material aus der Metallelektrode **1** injiziert werden, die im wesentlichen nicht unter irgendwelchen inelastischen Energieverlusten noch unter wahrnehmbaren Impulsänderungen leiden, während sie sich durch das Stück aus halbleitendem oder isolierendem Material längs der quasiballistischen Elektronentrajektorie, die in **Fig. 2** gezeigt wird, zur Metallelektrode **2** bewegen. Die Komponente  $I_{em}$  des elektrischen Stroms ist auf diese Elektronen (quasiballistischen Elektronen) zurückzuführen, die nachdem sie von der Metallelektrode **1** das Stück aus halbleitendem oder isolierendem Material durchquert haben und in die Metallelektrode **2** gegangen sind, immer noch genügend Energie (Energie, die größer als die Energiebarriere der Grenzfläche emittierende Oberfläche S4 – Freiraum ist) und eine endliche, ausreichend große Geschwindigkeitskomponente in die x-Richtung aufweisen, um aus der Struktur, die aus der Metallelektrode **1** plus dem Stück aus halbleitendem oder isolierendem Material plus der Metallelektrode **2** besteht, in den Freiraum (FS in **Fig. 2**) durch die elektronenemittierende Oberfläche S4 (**Fig. 2**) auszutreten.

#### QB-Sem

[0147] Die Herstellung der einzelnen Bereiche des quasiballistischen Elektronentransmitters/-Emitters wird nun beschrieben.

[0148] Bezüglich **Fig. 3** wird nun die Herstellung eines hochohmigen Halbleiters oder Isolators beschrieben. Der quasiballistische Halbleiter (QB-Sem) war in diesem Fall die Einkristall-Siliziumprobe, die aus einem Einkristall-Si-Block ausgeschnitten wurde, der durch ein Schwebbezonen-Kristallzüchtungsverfahren hergestellt wurde. Dünne Scheibchen (Wafer) wurden aus diesem Block hergestellt, wobei die  $\langle 111 \rangle$ -Orientierung senkrecht zur Waferoberfläche verlief. Jedoch können auch andere Gitterorientierungen  $\langle 110 \rangle$  und  $\langle 100 \rangle$  mit ähnlichen Ergebnissen

gewählt werden. Wenn ein anderer Materialkristall als Silizium verwendet wird, sollten Gitterorientierungen gewählt werden, die für ein solches Material geeignet sind. Beide Oberflächen S2 und S3 wurden optisch poliert. Der Phosphor-Dotierungspegel (der eine n-Leitfähigkeit ergibt) wurde so gewählt, daß er  $2,0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$  betrug. Ein Schottky-Kontakt (eine Kathode) wurde durch eine anschließende Bedampfung von 5 nm (50 Å) Chrom auf die Oberfläche S2 gefolgt durch Bedampfung von 200 nm (2000 Å) Gold hergestellt. Die Anode war ohmisch, wobei sie aus einer entarteten Siliziumschicht mit hoher Phosphorkonzentration (einem dünnen, annähernd 1 Mikrometer dicken Bereich unter der Oberfläche S3 – siehe **Fig. 3**) und einem dünnen, 15 nm (150 Å) dicken bedampften Goldfilm bestand.

#### Der Bereich 2 – Quasi-ballistischer Halbleiter

[0149] Die Wahl des quasi-ballistischen Halbleiters ist nicht auf ein bestimmtes Material beschränkt, sondern er kann auf eine Anzahl unterschiedlicher Arten unter Verwendung unterschiedlicher Materialien hergestellt werden. Die einzigen Anforderungen sind die Existenz einer endlichen Bandlücke  $E_g$  (siehe **Fig. 1**) und die Existenz von quasi-ballistischen Trajektorien für Elektronen zwischen den beiden gegenüberliegenden Oberflächen des Materials. In der bevorzugten Ausführungsform ist das Material (QB-Sem) Silizium, jedoch sind Verbindungshalbleiter der Gruppen III–V (wie Gags) und Verbindungshalbleiter der Gruppen II–VI ebenfalls gute Kandidaten. Die kristallographische Orientierung, flache und tiefe Verunreinigungsdotierungspegel und die Betriebstemperatur der fertigen Vorrichtung sind die wichtigen Parameter, die zu berücksichtigen sind, wenn ein geeigneter quasi-ballistischer Halbleiter gewählt wird.

[0150] Ebenfalls gut geeignet als quasi-ballistische Halbleiter sind (zumindestens im Prinzip) Isolatoren, wie  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Siliziumcarbid, Siliziumnitrid, Diamant (oder diamantförmige Kohlenstoffteilchen) und andere. Einige der Materialien sind schon in Verbindung mit ihrer Verwendung als Feldemissions-Elektronquellen untersucht worden und/oder werden untersucht (siehe Stand der Technik).

#### Bereich 1 und Oberflächen S1 und S2 – Kathodenbereich

[0151] In der bevorzugten Ausführungsform, die in **Fig. 3** dargestellt wird, ist der Kathodenbereich durch Bedampfung von Chrom- und Goldmetallfilmen auf die Oberfläche S2 der Siliziumprobe gebildet worden, wobei auf diese Weise ein gleichrichtender Schottky-Kontakt gebildet wird. Der einzige Zweck des Kathodenbereichs ist es allerdings, eine unterschiedliche Menge negativer Ladung  $\Delta Q$  auf der Oberfläche S2 zu halten, und dies kann auf eine Anzahl unterschiedlicher Arten erreicht werden, die nicht auszuschließen sind.

[0152] In einer solchen Alternative ist der Bereich 1 einfach eine gasförmige Phase aus teilweise ionisiertes Gas, wie Argon und/oder Stickstoff. Es ist in diesem Fall überhaupt keine Metallelektrode erforderlich.

[0153] Um die optimale Leistung der Kathode als einen Elektroneninjektor für Elektronen in den QB-Halbleiterbereich (2 in Fig. 3) zu erreichen, ist es erwünscht, daß die zusätzliche negative Ladung  $\Delta Q$  aus der Batterie (siehe Fig. 3) das chemische Potential  $\mu_M^{\text{ch}}$  (siehe Fig. 2) so weit wie möglich bewegt (Erhöhung der Elektroneninjektion in den QB-Sem). Dies kann erreicht werden, indem die Grenzflächen-elektronendichte der Zustände durch mechanische, chemische und/oder thermische Behandlung der Oberfläche S2 gesenkt wird. Wenn die Metallkathodenelektrode entweder erforderlich oder erwünscht ist, geschieht diese Behandlung der Oberfläche S2 vor der Metallmaterialabscheidung. Alternativ kann man ein metallisches Material mit einer niedrigen Elektronendichte der Zustände am Fermi-Niveau und/oder einer niedrigen Elektronenaustrittsarbeit wählen.

#### Bereich 4 und Oberflächen S3 und S4 – Anodenbereich

[0154] Wie oben beschrieben, ist ein dünner Bereich der Siliziumprobe, nahe der Oberfläche S3, mit einer hohen Dosis Phosphor dotiert worden, wobei er auf diese Weise entartet wird. Es ist dann ein dünner Goldfilm auf der Oberfläche S3 abgeschieden worden, die vor dieser Goldfilmabscheidung optisch poliert worden ist, wobei die gesamte Struktur auf diese Weise einen ohmschen Kontakt zur Siliziumprobe bildet. Diese Herstellung des Anodenbereichs könnte nicht zur besten Leistung des Planar-Elektronenemitters PEE führen, und andere Herstellungsarten von Metallkontakten an die Oberfläche S3 sind möglich und dürfen nicht ausgeschlossen werden.

[0155] Wie beim Kathodenbereich, ist es der einzige Zweck des Anodenbereichs, sicherzustellen, daß eine unterschiedliche Menge negativer Ladung  $\Delta Q$  vom Bereich der Oberfläche S3 entfernt werden kann. Hier unterscheiden sich jedoch die Anforderungen hinsichtlich der optimalen Funktion des (Anoden-) Bereichs von jenen, die für den Kathodenbereich gelten. Der Lochstrom  $I_h$  (siehe Fig. 2) sollte minimiert werden (der Strom  $I_h$  erhöht sich, wenn das chemische Grenzflächenpotential  $\mu_M^{\text{ch}}$  sich in seiner Energie abwärts bewegt – siehe Fig. 2), ebenso wie die Dicke der Anodenmetallelektrode (verhältnismäßig große Energieverluste der quasi-ballistischen Elektronen, wenn sie sich durch den Bereich 4 bewegen). Um das erste dieser Ziele zu erreichen, braucht man ein Metall mit einer sehr hohen Elektronendichte der Zustände beim Fermi-Niveau und/oder sehr hohen Elektronendichte der Zustände innerhalb der Grenzfläche Oberfläche S3 – Bereich 4. Wie bei der Herstellung der Oberfläche S2 kann dies hier eben-

falls mit der geeigneten mechanischen, chemischen und/oder thermischen Behandlung der Oberfläche S3 vor der Metallabscheidung erreicht werden.

[0156] Um das zweite Ziel zu erreichen, kann noch eine andere Alternative gewählt werden. In diesem Fall ist die Oberfläche S3 frei von der Metallelektrode (Bereich 4 in Fig. 3) und eine zusätzliche Elektrode (Elektronenbeschleunigungselektrode 7 – siehe Fig. 8 zum Beispiel) ist innerhalb des Freiraums FS (Fig. 3) und in nächster Nähe zur Oberfläche S3 angeordnet. Diese zusätzliche Elektrode ist mit einem verhältnismäßig hohen positiven Potential bezüglich der Oberfläche S3 und/oder dem Kathodenbereich 1 vorgespannt, wobei sie auf diese Weise den gesamten Aufbau polarisiert. Wenn das entwickelte elektrische Feld innerhalb des Bereichs 2 nicht für die Beschleunigung der quasi-ballistischen Elektronen innerhalb des Bereichs 2 auf Energien ausreichend ist, die erforderlich sind, damit diese Elektronen durch die Oberfläche S3 in den Freiraum FS austreten, kann die Oberfläche S3 in einer solchen Weise geometrisch geformt werden, daß sie das elektrische Feld lokal an Stellen (und/oder scharf gekrümmten Bereichen) der Oberfläche S3 erhöht, die räumlich der Elektronenbeschleunigungselektrode 7 in Fig. 8 am nächsten liegen.

[0157] Schließlich kann die geometrisch geformte Oberfläche S3 durch eine dünne Metallelektrode bedeckt sein (die als Anode dient), wobei der gesamte Planar-Elektronenemitteraufbau (einschließlich der Elektronenbeschleunigungselektrode 7) einer Anordnung ähnlich sieht, die in Fig. 8 gezeigt wird. In einer solchen Anordnung werden die elektrischen Entladungs-/Aufladungseffekte auf der geometrisch geformten Oberfläche S3 minimiert.

[0158] Der wichtige Punkt, der hier zu betonen ist, ist daß die Form der elektronenemittierenden Oberfläche S3 (Oberfläche S4, wenn eine Metallelektrode 4 vorhanden ist) nicht streng planar sein muß.

#### Leistungen des QB-Sem

[0159] Die Probe wurde im Vakuum angeordnet, und bei einer äußeren Spannung von etwa 4,0 Volt (Durchlaßvorspannung) zwischen der Kathode und der Anode (bei vier Volt über 0,5 Millimeter – der Dicke der Siliziumprobe, wurde das elektrische Feld von 80,0 Volt/cm innerhalb der Hauptmasse der Siliziumprobe erzeugt) wurde ein endlicher, verhältnismäßig großer und lateral homogener Elektronenemissionsstrom  $I_{\text{em}}$  beobachtet. Die Größe des Emissionsstroms  $I_{\text{em}}$  zeigte an, daß mehr als etwa 30% aller Elektronen, die in die Siliziumprobe von der Kathode injiziert wurden, die Anode mit Energien von etwa 4 eV (die Elektronenaffinität in Silizium beträgt 4,0 eV) über der Energie  $E_c$  erreichten (siehe Fig. 2), die ausreichend dafür ist, daß diese Elektronen die Energiebarriere der Grenzfläche Anodenoberfläche S4 – Vakuum überwinden und in den Freiraum FS austreten (siehe Fig. 3).

Beschreibung der vorliegenden Erfindung, praktisch

[0160] Die vorliegende Erfindung wird zuerst praktisch unter Verwendung der Ausführungsform eines Planar-Elektronenemitters (PEE) unter Bezugnahme auf **Fig. 3** beschrieben, die ein schematisches Diagramm ist, das eine der möglichen physikalischen Formen der bevorzugten erfindungsgemäßen Ausführungsform ist.

[0161] Der Bereich **1** (eine Kathode) ist sowohl über die Oberfläche S2 mit dem Bereich **2** (einem Stück eines quasiballistischen Halbleiters) als auch über elektrische Kontaktflächen (ECP) mit einem negativen Pol einer äußeren elektrischen Ladungs-/Spannungsversorgung **8** (Batterie) verbunden. Ihre Rolle (Kathode) ist es, zusammen mit der Batterie die negative elektrische Ladung  $\Delta Q$  (Elektronen) auf die Oberfläche S2 zuzuführen und zu erhalten. Gleichzeitig wird dieselbe negative elektrische Ladung  $\Delta Q$  aus dem Bereich **4** (Anode) entfernt. Die Anode ist über die Oberfläche S3 mit dem Bereich **2** und über ECP mit einem positiven Pol der äußeren Ladungs-/Spannungsenergieversorgung **8** verbunden, wobei die Energieversorgung **8** die Oberfläche S3 positiv geladen hält. Auf diese Weise wird ein mehr oder weniger einheitliches elektrisches Feld  $E$  zwischen der Oberfläche S2 und S3 hergestellt, das einen endlichen elektrischen Strom durch den Bereich **2** fließen läßt. Bezüglich **Fig. 2** setzt sich nun dieser elektrische Strom  $I_{\text{tot}}$  aus drei Komponenten  $I_e$ ,  $I_h$  und  $I_{\text{em}}$  zusammen. Während die ersten beiden Komponenten den elektrischen Hintergrundstrom  $I_{\text{back}}$  bilden, wird die Komponente  $I_{\text{em}}$  durch jenen Anteil der Elektronen gebildet (die von nun an als quasiballistische Elektronen bezeichnet werden), der physikalisch die Vorrichtung verläßt und in den Freiraum FS (**Fig. 3**) eintritt, wenn ein ausreichend hohes elektrisches Feld  $E$  und die entsprechend elektrische Potentialdifferenz ( $V = E \cdot t_1$ ) zwischen den Oberflächen S2 und S3 aufrechterhalten wird.

[0162] Wenn ein Stück eines halbleitenden oder isolierenden Materials (Bereich **2** – von nun an als QB-Sem bezeichnet) geeignet hergestellt wird, die Oberflächen S2 und S3 geeignet behandelt werden und die Bereiche **1** und **2** geeignet gewählt und konstruiert werden, kann der Teil des elektrischen Stroms  $I_{\text{em}}$  (Elektronenemissionsstrom) in Bezug auf den Hintergrundstrom  $I_{\text{back}}$  ziemlich groß werden.

[0163] Wenn ein QB-Halbleiter geeignet gewählt und hergestellt wird, kann selbst ohne jegliche Anstrengung zur Optimierung (einschließlich der Optimierung der Oberflächen S2 und S3), ein  $I_{\text{em}}$  von Hunderten von Nanoampere pro Quadratzentimeter bei elektrischen Feldern der Größenordnung von einigen 100 Volt/cm gemessen werden (die von nun an als ohmsche elektrische Felder bezeichnet werden), wobei die Gesamtdicke der Vorrichtung L2 makroskopisch ist (weniger als Millimeter). Da der Längemaßstab L1 (Quadratwurzel der Fläche der Vorrichtung) in der Größenordnung von 30 cm liegt (heutige

Größe von Siliziumwafern zum Beispiel), ist die in **Fig. 3** dargestellte Vorrichtung ein großflächiger Planar-Elektronenemitter, der sehr einfach herzustellen ist und mit einem sehr wettbewerbsfähigen Preis produziert werden kann, sogar wenn er mit üblichen Kathodestrahlröhren- (CRT)-TV-Bildschirmen verglichen wird.

[0164] In der bevorzugten Ausführungsform, die in **Fig. 3** dargestellt wird, ist eine ausreichende Injektion von Elektronen aus der Kathode in die Siliziumprobe („Injektion elektrischer Ladung“ – siehe **Fig. 2**) elektrisch erreicht worden, indem die Metallelektrode **1** (Kathode) mit einem zusätzlichen Betrag negativer Ladung  $\Delta Q$  aus der Batterie beliefert worden ist. Da jedoch die Elektroneninjektion aus dem Kathodenbereich in den QB-Halbleiter außerdem stark temperaturabhängig ist, kann eine alternative Ausführungsform des erfindungsgemäßen Planar-Elektronenemitters eine geheizte Kathodenstruktur umfassen (Bereich **1** – siehe **Fig. 3**). In noch einer anderen alternativen Ausführungsform werden die Elektronen in den QB-Halbleiter durch Photo-Beleuchtung des Bereichs der Kathodeninjektionsoberfläche S2 (in einigen Fällen kann dieser Bereich einen Teil des QB-Halbleiters nahe der Oberfläche S2 einschließen) durch die Oberfläche S1 injiziert. Diese Ausführungsform des erfindungsgemäßen Planar-Elektronenemitters PEE ist in optoelektronischen Anwendungen besonders nützlich. Diese Verfahren zur Elektroneninjektion werden in den Beschreibungen der relevanten bevorzugten Ausführungsformen in den folgenden Abschnitten beschrieben.

[0165] Der erfindungsgemäße Planar-Elektronenemitter (PEE) ist nun durch eine Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform demonstriert worden, die in **Fig. 3** gezeigt wird. Es existieren jedoch eine große Anzahl von anderen Ausführungsformen, die alle erfindungsgemäß sind, die eine andere Wahl der Materialien, der Gestaltung und der Herstellung und Konstruktion des Planar-Elektronenemitters betreffen, wobei die Unterschiede durch die Anforderungen der vorliegenden Anwendungen diktiert werden. Es sollte betont werden, daß obwohl Elektronen in den Freiraum in der PEE emittiert werden, der verwendet wird, um die grundlegenden Prinzipien von QB-Halbleitern zu beschreiben, dies keine Anforderung ist. Wie einige der anderen möglichen Ausführungsformen zeigen werden, kann die grundlegende Eigenschaft von QB-Halbleitern, der quasiballistische Transport von Elektronen, auch viele nicht-emittierende Halbleitervorrichtungen verbessern.

Beispiele der Anwendungen (Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen)

[0166] Eine Anzahl von Anwendungen der vorliegenden Erfindung, neben dem Planar-Elektronenemitter, wird nun in einer gewissen Ausführlichkeit unter Bezugnahme auf die **Fig. 3** bis 24 veranschaulicht und erläutert. Die Allgemeingültigkeit jedes Anwen-

dungsgebietes, das die vorliegende Erfindung verwendet, muß diesmal betont werden, obwohl jedes Anwendungsgebiet und/oder Produkt mit der Hilfe einer spezifischen bevorzugten Ausführungsform und einer oder mehrerer relevanter Figuren veranschaulicht wird. Zu jeder einer solchen bevorzugten Ausführungsform gibt es eine große Anzahl anderer Ausführungsformen und/oder Modifikationen der bevorzugten Ausführungsform, die alle die vorliegende Erfindung als eine entscheidende Komponente verwenden. Daher ist es wesentlich, daß die Beschreibung der vorliegenden Erfindung, die schon in den vorhergehenden Abschnitten gegeben worden ist, und die Beschreibung der Anwendungen der vorliegenden Erfindung, die im folgenden gegeben werden soll, nicht so aufgefaßt werden, daß sie den Rahmen der vorliegenden Erfindung und ihrer Anwendungen beschränken.

#### Beispiel 1. Feldemissions-Flachbildschirm (FE-FPD)

[0167] Eine der offensichtlichen Anwendungen der vorliegenden Erfindung ist die Verwendung bei der Konstruktion von robusten, zuverlässigen, großen und kostengünstigen Feldemissions-Flachbildschirmen (FE-FPD) mit niedriger Verlustleistung.

[0168] **Fig. 4**, die ein Querschnittsdiagramm längs der Linie A-A der FE-FPD ist, der in **Fig. 5** gezeigt wird, ist einer der möglichen erfindungsgemäßen vakuumlosen FE-FPDs. Unter Bezugnahme auf **Fig. 3**, ist die grundlegende Planar-Struktur der vorliegenden Erfindung – **1** (Kathode), **2** (QB-Sem) und **4** (Anode – optisch transparent in dieser bevorzugten Ausführungsform) auch in **Fig. 4** deutlich sichtbar. Der einzige Unterschied ist, daß in dieser Flachbildschirm-Anwendung der vorliegenden Erfindung die Kathode und die Anode gemustert sind und daß eine zusätzliche Schicht **3** zwischen der Oberfläche S3 des QB-Halbleiters und der Anode **4** eingeführt ist. Diese dritte Schicht besteht aus alternativen (gemusterten) Segmenten aus roten **5**, gelben **18** und blauen **11** Phosphoren oder einem anderen, farbiges Licht emittierenden Luminophor. Die Segmente sind voneinander durch ein nicht lichtemittierendes, elektronenabsorbierendes Material **16** getrennt.

[0169] Die Musterung der Schichten **1**, **3** und **4** ermöglicht eine Adressierung („Einschalten“ eines Elements **23** (i, j) durch Anlegen der geeigneten Spannungen) der einzelnen Farbsegmente „Pixel“) und wird in **Fig. 5** gezeigt. Hier wird die Kathode **1** (in Form von parallelen Metallstreifen) auf der Rückseite S2 des QB-Halbleiters **2** angeordnet. Rote **5**, gelbe **18** und blaue **11** Luminophorstreifen werden auf der Vorderseite S3 des QB-Halbleiters **2** in Ausrichtung mit den Kathodenstreifen angeordnet, wie in **Fig. 5** gezeigt. Schließlich wird die Anode **4**, ebenfalls in der Form von parallelen Metallstreifen oben auf der Schicht **3** angeordnet, wobei die Anodenmetallstreifen mit den Kathodenmetallstreifen rechte Winkel bilden, wie in **Fig. 5** angezeigt.

[0170] Die elektrischen Zuleitungen **9** und **10** sind an den jeweiligen Metallstreifen der Anode und der Kathode über elektrische Kontaktflächen ECP angebracht, wobei die gesamte Kathode-Anoden-Struktur auf diese Weise eine selektiv adressierbare Matrix von einzelnen, farbiges Licht emittierenden Elementen bildet. Das Element (i, j) wird eingeschaltet, indem eine geeignete Spannung zwischen der Zeile i – (Kathode) und der Zeile j – (Anode) angelegt wird. Die elektrischen Zuleitungen **9** und **10** sind mit dem üblichen TV-Wechselspannungsschaltungskomplex verbunden, der den gesamten FE-FPD betreibt, der in den **Fig. 3, 4, 5, 6** und **7** schematisch gezeigt wird. Die Abmessungen d1, d2, d3 und d4 der Pixelmatrix können nach Wunsch optimiert werden, wobei die übliche Halbleiternusterungstechnologie verwendet wird, um den räumlichen Auflösungsanforderungen des verfügbaren FE-FPD zu entsprechen.

[0171] Die typische Gesamtgröße L1 L2 eines „Einchip“-FE-FPD, der in den **Fig. 4, 5, 6** und **7** gezeigt wird, liegt gegenwärtig in der Größenordnung von 20 cm mal 20 cm, mit der Verfügbarkeit von Si-Wafern mit 30,0 cm Durchmesser. Wenn große Farbanzeigen benötigt werden, kann eine beliebige Anzahl von „Einchip“-Modulen auf einem geeigneten Substrat miteinander verbunden werden, wobei die Segmente d2 und d4 (siehe **Fig. 5**) als Verbindungsbereiche verwendet werden, die auf diese Weise die räumliche Verschlechterung der Qualität des gebildeten optischen Bildes verhindern. Die Dicke L3 des FE-FPD, der in den **Fig. 4, 5, 6** und **7** dargestellt wird, liegt in der Größenordnung von einem Millimeter, wobei die Dicke im wesentlichen die Dicke des QB-Halbleiterwafers ist.

[0172] In **Fig. 6** sind die Schichten **3** und **4** umgestellt, um noch eine andere mögliche physikalische Form des FE-FPD zu veranschaulichen. Hier weist die Schicht **3** für farbiges Licht direkt zum Freiraum FS. Falls notwendig, kann die Oberfläche S5 eine schützende, transparente (Antireflexions)-Beschichtung enthalten.

[0173] Es muß an dieser Stelle betont werden, daß die Segmente **5, 6** und **11**, die in den **Fig. 4, 5, 6** und **7** gezeigt werden, nicht notwendigerweise aus Luminophor bestehen müssen. Die farbiges Licht emittierende Schicht **3** repräsentiert auch andere Arten von Umwandlungsmaterialien und/oder Vorrichtungen von Elektronen in farbiges Licht. Ein solcher Typ ist die Anordnung, die mit Hilfe der **Fig. 4** beschrieben werden kann. In diesem Fall bildet die Struktur **1** (Kathode), **2** (QB-Halbleiter), (Rot/Gelb/Blau)-Elemente (**5, 18, 11**) und **4** (Anode) eine Matrix von farbiges Licht emittierenden Dioden (CLED). Andere FE-FPD-Anordnungen, die die vorliegende Erfindung ermöglichen, sind natürlich ebenfalls möglich, und die in den **Fig. 5, 6** und **7** gezeigte bevorzugte Ausführungsform sollte in keiner Weise als eine Begrenzung des Rahmens der vorliegenden Erfindung in diesem Anwendungsgebiet angesehen werden.

[0174] Schließlich können in Fällen, wo die Anforder-



rung der Farbdefinition, der Helligkeit und des Farbkontrasts durch Luminophore und/oder andere Elektron-Licht-Umwandlungselemente/Vorrichtungen nicht erfüllt wird, die heute verfügbar sind, die Standard-Farb-TV-Phosphore immer noch benötigt werden, die ziemlich hohe Elektronenenergien (hohe Beschleunigungsspannungen im Bereich von etwa 10 bis 20 kV) benötigen. Ein Vakuum-Feldemissions-Flachbildschirm kann dann immer noch die beste Lösung sein, und eine mögliche physikalische Form, die die vorliegende Erfindung verwendet, wird in **Fig. 7** gezeigt.

[0175] In dieser Anordnung wird die farbige Licht emittierende Schicht **3**, die in den **Fig. 4, 5 und 6** gezeigt wird, von der grundlegenden Planar-Elektronenemitterstruktur **1** (Kathode), **2** (QB-Halbleiter) und **4** (Anode) entfernt, und auf der optisch transparenten (Glas zum Beispiel) Platte **13** angeordnet, die zusammen mit den Teilen **14** und **12** die Vakuumeinkapselung der Vakuum-FE-FPD bildet. Die Elektronenbeschleunigungselektrode **7**, die auf der Schicht **3** angeordnet ist, wird auf die geeignete hohe positive Spannung vorgespannt. Diese Anordnung stellt sicher, daß quasi-ballistische Elektronen, die die grundlegende Planar-Elektronenemitterstruktur (die mechanisch an der Grundplatte **12** durch mechanische Halterungen **15** angebracht ist) durch die Oberfläche **S4** verlassen, innerhalb des Freiraums FS (nun Vakuum) auf ausreichend hohe Energien beschleunigt werden, um die geeignete Funktion der Standard-Farb-TV-Phosphore **5, 6 und 11** sicherzustellen.

[0176] Die Dicke (Dim2) der in **Fig. 7** gezeigten Vakuum-FE-FPD liegt in der Größenordnung von einem bis zwei Zentimeter, während die Fläche (Dim1) in Bezug auf die vorhergehend beschriebene vakuumlose FE-FPD unverändert bleibt.

## Beispiel 2. Planar-Elektronenstrahl-Lithographie

[0177] Durch die Verwendung des erfindungsgemäßen Planar-Elektronenemitters wird der Hauptnachteil gelöst, der durch die kurze Lebensdauer der Planar-Elektronenemitters des Stands der Technik auferlegt wird. Die vorliegende Erfindung bietet eine qualitativ neue und robuste Lösung der heutigen Bedürfnisse der Halbleiterindustrie. Das Verfahren und die Ausführungsform werden in den **Fig. 9 bis 14** beschrieben.

[0178] Das schematische Diagramm des Prinzips hinter der Planar-Elektronenstrahl-Lithographie wurde im Stand der Technik unter Verwendung von **Fig. 8** beschrieben. Im Stand der Technik ist ein Elektronenlithographie-Projektionssystem demonstriert worden, das einen Planar-Elektronenemitter des Stands der Technik verwendet. Der Planar-Elektronenemitter der vorliegenden Erfindung kann direkt anstelle des Emitters des Stands der Technik implementiert werden.

[0179] Eine mögliche erfindungsgemäße Ausführungsform einer solchen Planar-Elektronenemitterstruktur wird in **Fig. 10** gezeigt. Der Hauptunterschied zur **Fig. 8** des Stands der Technik ist der Ersatz einer Dünnfilmoxidschicht **24** in **Fig. 8** durch einen quasi-ballistischen Halbleiter QB-Sem **2** in **Fig. 10**. Sich nun **Fig. 10** zuwendend, bewegen sich die Elektronen, die von der Kathode **1** in den QB-Halbleiter **2** durch die Oberfläche **S2** injiziert werden, längs der quasi-ballistischen Trajektorien innerhalb des QB-Halbleiters. Sie treten durch die Oberfläche **S3** aus und treten entweder in die gemusterte absorbierende Schablone **19** oder die Anode **4** ein. Der Teil der quasiballistischen Elektronen, der nicht durch die Elektronenabsorbierende Schablone **19** gestoppt wird, hat dann genügend Energie, um in den Freiraum FS durch die Oberfläche **S4** einzutreten, wie zum Beispiel das Elektron am Punkt **i**. Diese Elektronen werden dann innerhalb des Freiraumbereichs FS durch die Elektronenbeschleunigungselektrode **7** auf ausreichend hohe Energien beschleunigt. Die Elektronenbeschleunigungselektrode **7** besteht in dieser besonderen Darstellung aus dem Wafer und den angeordneten elektronenempfindlichen Abdecklack **6**.

[0180] Durch eine elektronenoptische Einrichtung werden die Elektronen, die zum Beispiel am Punkt **i** (**Fig. 10**) austreten, auf den Punkt **j** abgebildet, der innerhalb der Abdecklacksschicht **6** liegt. Auf diese Weise kann das gesamte lithographische Muster (Schicht **19**) auf den Wafer-Abdecklack-Aufbau auf einmal und nicht aufeinanderfolgend übertragen werden, wie es bei den üblichen Elektronenstrahl-Lithographen der Fall ist. Außerdem gibt es keine prinzipiellen Grenzen für die lateralen Abmessungen der gemusterten Schicht **19**, und dies bedeutet, daß der gesamte Wafer in einer Bestrahlung bearbeitet werden kann. Das minimale erhältliche Merkmal („MinS“) liegt weit unter 0,15 Mikrometer, wenn das elektronenoptische System zusammen mit dem Planar-Elektronenemitterteil der Elektronen-1 : 1-Projektions-Schrittvorrichtung optimiert wird. Außerdem ist dadurch, daß der gesamte Wafer auf einmal bestrahlt wird, der Durchsatz eines solchen planaren Elektronenstrahl-Lithographiesystems sehr groß. Eine Anzahl anderer Anordnungen planarer Elektronenlithographen ist möglich, wobei eine Anordnung, die in **Fig. 10** gezeigt wird, nur eine von ihnen ist.

[0181] Eine der möglichen Alternativen zu der in **Fig. 10** gezeigten Ausführungsform wird in **Fig. 9** gezeigt. Nun auf **Fig. 9** Bezugnehmend, ist dieselbe grundlegende quasi-ballistische Elektronenemitterstruktur, wie bezüglich **Fig. 10** erläutert, deutlich sichtbar. In der besonders bevorzugten Ausführungsform, die in **Fig. 9** gezeigt wird, ist eine Struktur aus Beschleunigungselektrode **7** und Elektronenscintillator **17** zwischen die Planar-Elektronenemitterstruktur **1, 2, 19, 4** und dem Teil **6** aus Wafer plus Photoabdecklack eingefügt worden. Eine solche Anordnung läßt es zu, daß sich das Planar-Elektronenprojektionssystem unter Vakuum befindet (es ist der Bereich **17, 12 und 14**, der die Vakuumeinkapselung der Elek-

tronenemitterstruktur bildet), wobei es kontinuierlich arbeitet, falls notwendig, während die zu bearbeitenden Wafer auf dem Scintillator **17** angeordnet werden können. Der Betrieb im Vakuum ergibt eine bessere Elektronenübertragung von der emittierenden Oberfläche zum Wafer, und ohne einen Bedarf nach einer vorherigen Evakuierung wird der Durchsatz der gesamten Vorrichtung erhöht. Wenn der in **Fig. 9** angezeigte Luftraum ausreichend klein ist, kann die Beeinträchtigung der Größe des minimalen Merkmals „Min“ infolge optischer Streuung minimal gehalten werden.

[0182] In der Veröffentlichung durch einige der Erfinder der vorliegenden Erfindung, die im Stand der Technik erwähnt wird (H. Ahmed u. a.: „Proceedings of the Conference on Microlithography“; Cavendish Laboratory, Cambridge 1989), wird gezeigt und experimentell in den **Fig. 11, 12, 13 und 14** demonstriert, wie eine Planar-Elektronenstrahlolithographie in der Praxis auszuführen ist. Eine Vorrichtung – „experimentelle 1 : 1-Elektronenprojektions-Schrittvorrichtung“ wird offenbart, und ihre Leistung, die alle industriellen Bedürfnisse und Anforderungen hinsichtlich der notwendigen lithographischen Schritte während der IC-Produktion erfüllt, ist deutlich demonstriert worden. Ihr schematisches Diagramm wird in **Fig. 11** gezeigt. Hier ist **20** der Kathoden-QB-Sem-Anoden-Aufbau, (der in seiner Konstruktion sehr ähnlich zu der Anordnung ist, die in **Fig. 10** – Teile **1, 2, 19** und **4** gezeigt wird), **6** ist das Wafersubstrat mit der angeordneten Abdecklackschicht, **21** ist die x-y-Positionierungstisch und schließlich ist **22** ein Paar Helmholtz-Spulen, um ein homogenes magnetisches Feld zwischen dem Kathoden-Anoden-Aufbau und dem Wafer-x-y-Tisch-Aufbau zu erzeugen. In dieser besonderen Anordnung ist es der Kathoden-QB-Sem-Anoden-Aufbau, der bezüglich des Wafersubstrats negativ vorgespannt wurde, das nahezu auf Massepotential gehalten wurde. Die emittierten Elektronen sind in dem aufgebauten elektrischen Feld von dem hohen negativen Potential zu Masse beschleunigt worden. Die parallelen elektrischen und magnetischen Felder bildeten auf diese Weise eine elektronenoptisches 1 : 1-Projektionssystem, das die Elektronen, die aus einem bestimmten Punkt auf der Bodenfläche des Kathoden-QB-Sem-Anoden-Aufbau **20** austreten, zu einem einzigen Punkt innerhalb der Abdecklackschicht **6** übertragen (siehe auch **Fig. 10**).

[0183] Die Gesamtansicht der experimentellen 1 : 1-Elektronenprojektions-Schrittvorrichtung wird in **Fig. 12** gezeigt und einige der typischen experimentellen Ergebnisse der Wafermusterung in den **Fig. 13 und 14**. Es wurden sowohl positive und negative Abdecklacke mit typischen Bestrahlungszeiten in der Größenordnung von 0,1 Sekunden getestet, wobei die minimalen Merkmale, die leicht erhältlich waren (Länge „Min“ in **Fig. 8**) im Bereich von 0,15 Mikrometern lagen (**Fig. 13 und 14**). Während ein Teil des gesamten, bestrahlten und gemusterten (Wiederholung

der Testmuster) Siliziumsubstrats in **Fig. 13** gezeigt wird, werden die strukturellen Details der Testmuster in **Fig. 14** gezeigt, die deutlich die Fähigkeit eines minimalen Merkmals von 0,15 Mikrometern dieses Prototypinstruments demonstrieren.

### Beispiel 3. Zweidimensionale Beleuchtungstafeln

[0184] Infolge der Einfachheit der Gestaltung, der Robustheit, niedrigen Verlustleistung, des Betriebs bei niedriger Temperatur und der zweidimensionalen Beschaffenheit des erfindungsgemäßen Planar-Elektronenemitters kann der Planar-Elektronenemitter sehr günstig bei der Konstruktion von zweidimensionalen (planaren und nicht-planaren) Beleuchtungsquellen verwendet werden.

[0185] Eine solche mögliche flache Beleuchtungstafel wird schematisch in **Fig. 15 und 16** gezeigt. Hier wird die Grundstruktur des Planar-Elektronenemitters (Kathode **1**, QB-Halbleiter **2** und die Anode **4**) als planare Quelle von Elektronen verwendet (wenn eine geeignete elektrische Spannung zwischen der Kathode und der Anode angelegt wird), die in den Freiraum FS austreten. Diese Elektronen werden innerhalb dieses Raums mittels der Beschleunigungselektrode **7** beschleunigt und treten in die lichtemittierende Schicht **3** ein. Die optisch transparente Platte **13** (typischerweise eine Glasplatte), die das erzeugte Licht aus der Struktur austreten lässt, bildet (zusammen mit den Platten **14 und 12**) die Vakuumeinkapselung des gesamten Aufbaus.

[0186] In einer anderen möglichen Anordnung wird die lichtemittierende Schicht **3** weggelassen, und der Freiraum FS wird mit einem geeigneten Gas und/oder einer Gasmischung gefüllt, wobei die notwendige Beleuchtung nun durch Gasionisation und Fluoreszenz erzeugt wird. Die typischen Abmessungen der oben beschriebenen flachen Beleuchtung werden in **Fig. 16** angegeben. Während „Dim1“ – die Dicke der Beleuchtungstafel leicht unter einem Zentimeter liegen kann, kann „Dim2“ leicht in der Größenordnung von Metern liegen.

[0187] Aufgrund der Einfachheit der Konstruktion kann die vorliegende Erfindung auch bei der Konstruktion von nicht-planaren (runden) zweidimensionalen Beleuchtungsquellen verwendet werden. Eine der möglichen Anordnungen einer solchen Quelle wird schematisch in **Fig. 17** gezeigt. Hier sind die Kathode **1**, der QB-Halbleiter **2** und die Anode **4** konzentrische zylindrische Schichten. Die QB-Elektronen treten in den Freiraum FS radial aus, und nach einer Beschleunigung durch die Beschleunigungselektrode **7** treten sie in den lichtemittierenden Bereich **3** ein. Das erzeugte Licht tritt durch die transparente (Glas-) Umhüllung **13** aus. Auch in dieser Anordnung kann die lichtemittierende Schicht **3** weggelassen werden, und der Freiraum kann mit einem geeigneten lichtemittierenden Gas gefüllt werden.

#### Beispiel 4. Halbleiterkomponenten und Vorrichtungen

[0188] In dem, was folgt, wird nur eine kurze Beschreibung einiger typischer Anwendungen der vorliegenden Erfindung innerhalb des Gebiets der Herstellung von Halbleiterkomponenten, Vorrichtungen und integrierten Schaltungen gegeben, und diese dürfen nur als einige veranschaulichende Beispiele angesehen werden, und in keiner Weise sollten sie einen begrenzenden Faktor darstellen, insoweit es die Verwendung der vorliegenden Erfindung innerhalb dieses Gebiets angeht. Die Beispiele, die gezeigt werden sollen, sind aus vier unterschiedlichen Hauptklassen (A bis D) halbleitender Komponenten/Vorrichtungen gewählt worden, wo die vorliegende Erfindung verwendet werden kann:

[0189] In diesen Beispielen wird die Grundstruktur (die Kathode, der QB-Halbleiter und die Anode) der vorliegenden Erfindung beibehalten, obwohl in einigen Anwendungen eher nur die Eigenschaften von quasi-ballistischen Elektronen zwischen den beiden Elektroden genutzt werden, als ihre Fähigkeit, in den Freiraum FS auszutreten (siehe **Fig. 2**). Bei einem Versuch, mehr die Terminologie der Halbleiterphysik zu verwenden, werden nun die Namen „Kathode“ und „Anode“ nicht immer verwendet. Diese Elektronenübetragungseigenschaften des QB-Halbleiters sind sehr ähnlich zu den Eigenschaften von Elektronen, die sich zwischen einer Kathode und einer Anode in einer Vakuumröhre bewegen, nur daß nun kein Vakuum benötigt wird. Die Injektion von Elektronen aus der Kathode findet bei Raumtemperatur statt und die gesamte in Frage kommende Vorrichtung kann in Submikrondimensionen hergestellt werden. Auf diese Weise kombiniert die vorliegende Erfindung alle Vorteile von Vakuumröhren und moderner reiner Festkörper-Halbleitertechnologie.

##### Beispiel 4a Klasse A:

#### Gleichrichtung und Ladungs- (Informations-) Speicherung

[0190] Halbleiterkomponenten/Vorrichtungen in dieser Klasse schließen bipolare p-n-, p-i-n-Dioden, Thyristoren ebenso wie eine Anzahl von unipolaren Vorrichtungen, wie MIS (Metall-Isolator-Halbleiter)-Dioden, CCD (ladungsgekoppelte Vorrichtung), MIS-Tunneldioden, MIS-Schalterdioden, IMPATT-(Stoßionisation-Lawinenlaufzeit) und BARITT-(Grenzschichtinjektion und Laufzeit) Dioden und andere verwandte Laufzeitvorrichtungen ein.

##### Beispiel: Quasi-ballistische Schottky-Diode.

[0191] **Fig. 18** ist ein schematisches Diagramm einer typischen, schnellen, erfindungsgemäßen Planar-Schottky-Barrierendiode. Außerdem werden die elektrischen R-C-Ersatzschaltungen **36** und **37** ge-

zeigt (siehe US 5,627,479 und EP 672 257 B1), die das elektrische Ansprechen einer Diode **36** des Stands der Technik und einer QB-Halbleiterdiode **37** beschreiben.

[0192] Bezüglich **Fig. 18** wird nun der Diodenstrom  $I_{\text{diode}}$  durch den Verarmungswiderstand  $R_d$  gesteuert, der wiederum durch das Ausmaß des Verarmungsbereichs  $W_d$  bestimmt wird. Diese Verarmungsbereichslänge (Breite)  $W_d$  ist exponentiell von der angelegten Spannung  $V_{so}$  zwischen den Schottky- und dem ohmschen elektrischen Kontakt abhängig. Die Gleichrichtungswirkung wird durch die Steuerung von  $W_d$  durch  $V_{so}$  erreicht, was wiederum exponentiell starke Änderungen von  $R_d$  induziert, der den Diodenstrom  $I_{\text{diode}}$  (Durchlaß- und den Gegendiode Strom) steuert. Da es keine Elektronengeschwindigkeitssättigung bei hohen elektrischen Feldern gibt, ist es nicht notwendig, die Gesamtabmessung  $L$  und insbesondere den Abstand  $L_{so}$  zwischen der Front des Verarmungsbereichs und dem ohmschen Kontakt bei Hochfrequenzanwendungen zu vermindern. Die erfindungsgemäße quasi-ballistische Schottky-Diode wird bei höheren Frequenzen einsatzfähig sein und wird durch eine einfachere Gestaltung und durch eine Nebenschlußschaltung des Widerstands  $R_{qb}$  durch  $L_{qb}$  (kinetische Induktivität der quasi-ballistischen Elektronen) in **37** der **Fig. 18** durch eine sehr niedrige Verlustleistung gekennzeichnet sein.

##### Beispiel 4b

#### Klasse B: Lichtempfindliche und lichtemittierende Vorrichtungen

[0193] Diese Klasse von halbleitenden Komponenten/Vorrichtungen schließt unter anderem LEDs (lichtemittierende Dioden), Photodioden, Halbleitende Laser, Lawinendiode und andere photoleitfähige Vorrichtungen für Umwandlungszwecke von Licht in ein elektrisches Signal ein.

##### Beispiel: Quasi-ballistische Photodiode und quasi-ballistische lichtemittierende Diode.

[0194] Ein vereinfachtes Energiebanddiagramm, das in **Fig. 19** gezeigt wird, veranschaulicht die physikalischen Prinzipien dahinter und eine mögliche Konstruktion (bevorzugte Ausführungsform) einer quasi-ballistischen Photodiode (A-Verweise), einer quasi-ballistischen lichtemittierenden Diode (B-Verweise) und eine der möglichen Konstruktionen (bevorzugte Ausführungsform) einer ersten Stufe einer Detektions-/Verstärkungs-/räumliche Verstärkungs-vorrichtung für optische Signale (C-Verweise), die alle erfindungsgemäß sind. Diese Vorrichtungen werden nun wiederum erläutert.

##### Quasi-ballistische Photodiode (Prozeß A in **Fig. 19**).

[0195] Das optische Signal (ankommende Licht)

wird innerhalb des Kathodenbereichs (Bereich zwischen den Oberflächen S1 und S2 – **Fig. 19**) und eines dünnen Bereichs innerhalb des QB-Halbleiters absorbiert, der nahe der Oberfläche S2 liegt, wobei es in diesem Prozeß eine Anzahl von Elektron-Loch-Paaren erzeugt (der mit „Exc1“ in **Fig. 19** markierte Prozeß). Die photoangeregten Elektronen bilden dann den quasiballistischen Strom  $I_{bal}$ , werden beschleunigt und treten durch die Oberfläche S5 in den Lawinenmultiplikationsbereich AMR ein. Der Lawinenmultiplikationsprozeß AM führt zu einem verstärkten elektrischen Stromsignal  $I_e$  und  $I_n$ . In einigen Anwendungen kann der Lawinenmultiplikationsbereich AMR weggelassen werden, wobei das elektrische Signal aus der Photon-Elektron-Umwandlung („Exc1“) durch die Beschleunigung der erzeugten quasi-ballistischen Elektronen ausreichend verstärkt wird.

[0196] Die beschriebene erfindungsgemäße quasi-ballistische Photodiode weist eine hohe Quanteneffizienz und eine verhältnismäßig sehr niedrige Verlustleistung auf und kann in einer Form einer zweidimensionalen Photosensor-Anordnung hergestellt werden, wenn eine zweidimensionale optische Bild- (Signal-) Detektion und Verarbeitung erforderlich ist.

#### Quasi-ballistische lichtemittierende Diode (Prozeß B in **Fig. 19**).

[0197] Im Fall einer lichtemittierenden Vorrichtung steuert das elektrische Signal (Vorspannung zwischen der Kathode und der Anode), das ebenfalls zeitlich moduliert werden kann, falls notwendig (optoelektronische Anwendungen), die Menge der injizierten Elektronen, die in den QB-Halbleiterbereich QB-Sem eintreten (Prozeß „Exc2“ in **Fig. 19**). Nach der Beschleunigung, während sie sich durch den QB-Sem-Bereich bewegen, treten diese Elektronen (Strom  $I_{bal}$  in **Fig. 19**) durch die Oberfläche S5 in den lichtemittierenden Bereich (LER) ein und erzeugen einen Photonenfluß durch den Prozeß einer Rekombination über die Bandlücke  $E_g$  (siehe **Fig. 2** und Prozeß B in **Fig. 19**). Dieser Photonenfluß (der ebenfalls zeitlich moduliert ist, wenn die Kathoden-Anoden-Vorspannung  $\sim \Delta Q(t)$  zeitabhängig ist) tritt dann schließlich in den Freiraum FS aus.

[0198] Wenn der Elektroneninjektionsprozeß „Exc2“ eine genügende Intensität aufweist und der lichtemittierende Bereich LER (normalerweise stark p-dotiert) die nötigen Bedingungen zur Besetzungsumkehr erfüllt, wird die oben beschriebene Vorrichtung als ein quasi-ballistischer Halbleiterlaser mit einer sehr niedrigen Verlustleistung und einer hohen Effizienz dienen und kann sehr effektiv in optoelektronischen Anwendungen, wie in der Lichtleitfaser-Signalübertragung und der Telekommunikation im allgemeinen verwendet werden.

#### Optische Bilddetektion und Verarbeitung (Prozeß C in **Fig. 19**).

[0199] In einigen Anwendungen wird es notwendig und/oder vorteilhaft sein, den quasi-ballistischen Strom  $I_{bal}$  elektronenoptisch zu verarbeiten, der entweder durch den Prozeß „Exc1“ und/oder durch den Prozeß „Exc2“ gebildet wird. In diesem Fall ist der Bereich zwischen der Grenzfläche S5 und S3 genau eine Fortsetzung des quasi-ballistischen Halbleiterbereichs QB-Sem, wie in **Fig. 19** gezeigt. Nach dem Durchqueren des Anodenbereichs treten diese quasi-ballistischen Elektronen durch die Oberfläche S4 in den Freiraum FS als der Elektronenemissionsstrom  $I_{em}$  aus, der nun elektronenoptisch bearbeitet werden kann. Eine Vorrichtung dieser Art wird im Beispiel 4d beschrieben.

#### Beispiel 4c

##### Klasse C: Verstärkung und nichtflüchtiger Speicher

[0200] Anwendungen der vorliegenden Erfindung in dieser Klasse von Halbleiterkomponenten-/Vorrichtungen schließen auch bipolare Transistoren und bipolare Unijunktions-Transistoren, zusammen mit einer Anzahl unipolarer Komponenten und Vorrichtungen einschließlich FETs (Feldeffekttransistor), JFETs (Sperrschicht-Feldeffekttransistor), MESFETs (Metall-Halbleiter-Feldeffekttransistor), MOSFETs (Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor) und nichtflüchtige Speichervorrichtungen ein. Besonders relevant in Bezug auf die vorliegende Erfindung innerhalb dieser Klasse sind Tunneltransistoren, TEDs (Gunn-Effekt-Bauelemente) und andere ballistische (Heißelektronen) Transistoren und/oder Vorrichtungen.

##### Beispiel: Quasi-ballistischer Transistor.

[0201] **Fig. 20** ist ein schematisches Diagramm eines typischen Planar-Metall-Halbleiter-Feldeffekttransistors (MESFET). Der Strom  $I_d$  zwischen der Source- und der Drain-Elektrode wird durch die Spannung  $V_g$  durch Änderung der aktiven Verarmungsbreite  $W_d$  ( $V_g$ ) gesteuert. „a“ ist der elektrisch aktive Teil des Substrathalbleiters SEM, „L“ ist die Leitfähigkeitskanallänge und „Z“ ist die Breite der Vorrichtung. Wenn eine Hochgeschwindigkeitsleistung erforderlich ist, muß die Kanallänge ausreichend reduziert werden ( $< 1,5$  Mikrometer), und die typischen Betriebsspannungen  $V_{ds}$  erzeugen hohe elektrische Felder zwischen Source und Drain. Die Geschwindigkeit der elektrischen Ladungen (Elektronen) wird dann gesättigt (der vom elektrischen Feld abhängige Mobilitätsbereich ist erreicht) und dies begrenzt die Geschwindigkeit des Vorrichtungsbetriebs. [0202] Nun sind selbst dann, wenn die geometrische Gestaltung des MESFET-Transistoren, wie in **Fig. 20** gezeigt, der Einfachheit und der Klarheit des

Arguments willen dieselbe bleibt, die obenerwähnten Gestaltungseinschränkungen (kleine Geometrie und Elektronengeschwindigkeitssättigung) nicht vorhanden, wenn ein solcher MESFET-Transistor erfindungsgemäß konstruiert ist. Die Form der Vorrichtung vorausgesetzt, wie sie in **Fig. 20** gezeigt wird, umfaßt dies das einfache Ersetzen des Standardhalbleitersubstrats Sem (siehe **Fig. 20**) durch den quasi-ballistischen Halbleiter QB-Sem.

[0203] Die erfindungsgemäße MESFET-Vorrichtung, die in **Fig. 20** dargestellt wird, ist nicht nur durch schnelles Ansprechen (Hochfrequenzansprechen) gekennzeichnet, sondern auch durch eine sehr niedrige Verlustleistung, da der Source-Drain-Strom  $I_d$  in seiner Natur quasi-ballistisch ist.

[0204] Es muß an dieser Stelle erneut betont werden, daß die Gestaltungsstruktur des MESFET-Transistors, der in **Fig. 20** gezeigt wird, nur eine einer großen Anzahl möglicher Gestaltungen einer Verstärkungs-/Schaltvorrichtung ist. Infolge der Beschaffenheit der vorliegenden Erfindung sind andere optimalere Gestaltungen möglich und werden verwirklicht werden. Diese werden einige Gestaltungsmerkmale von Vakuumröhren übernehmen (siehe zum Beispiel die obenerwähnte Veröffentlichung durch K. W. Boer: 5.1237).

[0205] Dieselben und/oder sehr ähnliche Argumente, wie sie oben für den Fall eines MESFET-Transistors erläutert werden, liegen der Konstruktion eines Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistors (MOSFET), nichtflüchtigen Speicher-MOSFETs und anderen Vorrichtungen innerhalb dieser erfindungsgemäßen Klasse zugrunde. All diese Vorrichtungen sind durch die Einfachheit ihrer Gestaltung, Robustheit, hohe Ansprechgeschwindigkeit und sehr niedrige Verlustleistung gekennzeichnet.

#### Beispiel 4d Klasse D:

##### Detektion, Entstehung und Verarbeitung von optischen Bildern

[0206] Infolge der zweidimensionalen Beschaffenheit der vorliegenden Erfindung ist eine optische Signaldetektion, Umwandlung und Verarbeitung von großen Flächen möglich. Wenn man elektromagnetische Strahlung als Beispiel nimmt, kann die vorliegende Erfindung auf eine Anzahl von Arten verwendet werden:

- Umwandlung aufgezeichneter elektrischer Signale (elektrisch aufgezeichnete optische Bilder) zurück in zweidimensionale Bilder/Signale (quasi-ballistischer Halbleiter-Feldemissions-Flachbildschirm – siehe auch Beispiel 1).
- Umwandlung zweidimensionaler optischer Bilder in elektrische Signale (quasi-ballistische Halbleiterkamera)
- zweidimensionale optische Bilddetektion, die resultierende elektrische Signalverstärkung, gefolgt von einer räumlichen Verstärkung des zweidimen-

sionalen optischen Bildes und schließlich Aufzeichnung des zweidimensionalen optischen Bildes. Das Ergebnis dieses Typs einer optischen Bildverarbeitung ist das ursprüngliche zweidimensionale optische Bild, jedoch nun kontrast-/intensitätsverstärkt und räumlich vergrößert.

[0207] Die beiden letzten Arten sind beide zweidimensionale Detektoranordnungen für elektromagnetische Strahlung, die bei der optischen Bilddetektion, -Entstehung und Verarbeitung verwendet werden sollen. Dies umfaßt das, was ungefähr als zwei grundlegende Anwendungen der vorliegenden Erfindung bezeichnet werden kann:

- a) Quasi-ballistische Halbleiterkamera (Umwandlung von 2D-optischen Bildern/Signalen in elektrische Signalsequenzen)
- b) Ein System zur Helligkeits-/Kontrastverstärkung und räumlichen Verstärkung eines 2D-optischen Bildes/Signals

[0208] In diesem Absatz wird eine kurze Beschreibung einer QB-Halbleiterkamera a) und eines optischen Bild-/Signalverarbeitungssystems b) beschrieben. Der Klarheit und Einfachheit willen werden die beiden Anwendungen unter der Voraussetzung beschrieben, daß das optische Signal in der Form eines zweidimensionalen optischen Bildes vorliegt, das durch die Photonen aus dem sichtbaren Teil des elektromagnetischen Strahlungsspektrums gebildet wird. Dies darf natürlich nicht in irgendeiner Weise als ein begrenzender Faktor in Bezug auf die vorliegende Erfindung und ihrer Verwendung innerhalb dieser Klasse von Anwendungen betrachtet werden. Das optische Signal, das detektiert/bearbeitet werden soll, kann sehr wohl aus anderen Teilen des elektromagnetischen Strahlungsspektrum stammen und/oder es kann ein Signal sein, das durch andere Teilchen gebildet wird. Die räumliche Dimension des optischen Bildes kann außerdem von null bis drei variieren. Schließlich dient die Spezifizierung der beiden Anwendungsbeispiele der vorliegenden Erfindung, die im folgenden präsentiert werden sollen, rein veranschaulichenden/pädagogischen Zwecken und darf auch nicht als ein begrenzender Faktor in Bezug auf die Anwendungen der vorliegenden Erfindung innerhalb dieses Gebietes betrachtet werden.

#### a) Quasi-ballistische Halbleiterkamera.

[0209] **Fig. 21** ist ein schematisches Diagramm einer erfindungsgemäßen Vorrichtung für die Detektion und Aufzeichnung von zweidimensionalen optischen Signalen/Bildern. In dieser bevorzugten Ausführungsform ist der QB-Halbleiter zwischen einer Kathode **1** und einer Anode **4** angeordnet. Beide Elektroden sind in einer Weise gemustert, die ähnlich zu der x-y-Musterung ist, die in **Fig. 5** gezeigt wird. Die Metallkathode, der QB-Halbleiter und die Anode bilden eine zweidimensionale Anordnung von Schott-

ky-Barrierendioden, die einzeln und sequentiell angesprochen werden können, wie in **Fig. 5** dargestellt (Pixeldiode i, j – eingeschaltet).

[0210] Das optische Bild wird in der Umgebung der Oberfläche S2 gebildet und wird mit Hilfe der Vorrichtung transformiert und bearbeitet, um eine Sequenz elektrischer Signale in der folgenden Weise zeitlich zu steuern: ein optisches Bild erzeugendes Licht (Photonen) tritt in die in **Fig. 21** gezeigte Struktur durch geeignete Farbfilter R (Rot), Y (Gelb) und B (Blau) ein, und es wird innerhalb des Bereichs absorbiert, der aus Kathode – QB-Halbleitergrenzfläche und QB-Halbleiterverarmungsbereich besteht, wobei in diesem Prozeß eine Anzahl von Elektron-Loch-Paaren erzeugt wird.

[0211] Indem eine bestimmte Pixeldiode (i, j) durch Anlegen einer geeigneten elektrischen Spannung zwischen einem Kathodenstreifen „i“ und einem Anodenstreifen „j“ „eingeschaltet“ wird (Diode mit gelben Farbfilter „y“ in **Fig. 21**) werden die erzeugten quasi-ballistischen Elektronen innerhalb des QB-Halbleiterbereichs QB-Sem (**Fig. 21**) beschleunigt, und können, falls notwendig, durch Lawinenmultiplikation innerhalb des Lawinenmultiplikationsbereichs AMR (**Fig. 21**) weiter verstärkt werden. Der resultierende Stromimpuls bildet das elektrische Signal, das mit der Lichtintensität der „gelben“ Photonen zusammenhängt, die auf das in **Fig. 21** gezeigte Pixel (i, j) auftreffen.

[0212] Die Gesamtdicke (Dim2) der Vorrichtung (QB-Halbleiterkamera) liegt im Bereich weniger Millimeter, während die aktive Fläche der Vorrichtung (laterale Abmessung Dim1) mit der heutigen Technologie in der Größenordnung von bis zu einigen 30 Zentimeter liegen kann. Hohe Quanteneffizienz, hohe räumliche Auflösung, Robustheit und die Einfachheit der Konstruktion sind nur einige wenige der attraktiven Merkmale der vorgeschlagenen erfindungsgemäßen Vorrichtung.

#### b) Optische Signal-/Bildverarbeitungsvorrichtung.

[0213] In einer Anzahl von Anwendungen (wie in der Astrophysik, Infrarotsicht/Bildgebung und anderen) müssen sehr schwache, zweidimensionale optische Bilder detektiert, bearbeitet und aufgezeichnet werden, mit einer zusätzlichen Forderung nach einer hohen räumlichen Auflösung/Verstärkung und/oder extrahierbaren spektralen Information. Eine der möglichen erfindungsgemäßen Vorrichtungen, die diese Anforderungen erfüllt, wird schematisch in **Fig. 22** gezeigt. Sie besteht aus zwei Teilen, wobei Teil A der Verstärkungsteil des zweidimensionalen optischen Bildes/Signals ist, während der Teil B der Teil zur räumlichen Verstärkung des zweidimensionalen optischen Bildes/Signals ist.

[0214] Die ankommenden Photonen, die das optische Bild in der Ebene des primären optischen Bildes **25** bilden, werden innerhalb des Bereichs der Kathode, der Grenzfläche S2 und des Verarmungsbereichs

des QB-Halbleiters absorbiert, was schematisch in **Fig. 22** angezeigt wird, wobei auf diese Weise eine Anzahl von Elektron-Loch-Paaren erzeugt wird. Diese Anzahl hängt sowohl von der Energie der ankommenden Photonen (spektroskopische Information) als auch von der Anzahl der ankommenden Photonen (der Signalintensitätsinformation) ab. Die quasiballistischen Elektronen, die innerhalb der Ebene des primären optischen Bildes erzeugt werden, werden innerhalb des QB-Halbleiterbereichs QB-Sem beschleunigt (primäre Verstärkung), und aufgrund ihrer Eigenschaften können sie die grundlegende Planar-Elektronenemitterstruktur (Kathode, QB-Halbleiter und die Anode) durch die Oberfläche S4 verlassen. Gleichzeitig jedoch bilden sie auf diese Art auch ein elektronenoptisches Bild des ursprünglichen optischen Bildes in der Ebene des primären optischen Bildes.

[0215] Nach dieser Photon-Elektron-Umwandlung (Photon hinein – Elektron-Loch-Paar heraus) und primären Verstärkung (Beschleunigung der erzeugten Elektronen innerhalb des QB-Sem-Bereichs), kann das erhaltene elektronenoptische Bild, das in der Ebene der Oberfläche S4 gebildet wird, durch eine (nicht gezeigte) geeignete Elektronenoptik weiter bearbeitet werden. Es wird mit Hilfe der Beschleunigungselektrode (sekundäre Verstärkung) weiter verstärkt und kann, falls notwendig, räumlich vergrößert werden (elektronenoptische primäre räumliche Verstärkung).

[0216] Dieses räumlich vergrößerte und intensitätsverstärkte elektronenoptische Bild wird mit der Hilfe eines geeigneten Elektronenscintillators **17** in ein optisches Bild einer zweiten Stufe zurückgewandelt. Die Ebene **26** dieses optischen Bildes der zweiten Stufe wird dann die Objektebene des letzten optischen Verstärkungssystems **29**, um die sekundäre räumliche Verstärkung des ursprünglichen optischen Bildes sicherzustellen. Das endgültige optische Bild, das in Teil A Signal-/intensitätsverstärkt und in **29** räumlich vergrößert wird, wird dann in der Ebene **27** des endgültigen optischen Bildes gebildet, bereit zur Aufzeichnung durch eine geeignete optische Aufzeichnungsvorrichtung **28** (photographische Platte oder CCD). Abhängig von der benötigten räumlichen Auflösung kann der gesamte Aufbau (Teil A und Teil B) lateral innerhalb der Ebene des primären optischen Bildes bewegt werden.

[0217] Schließlich sollte betont werden, daß aufgrund der charakteristischen Eigenschaften des grundlegenden Planar-Elektronenemitters, der den unteren Abschnitt des Teils A der Vorrichtung bildet, der Planar-Elektronenemitter in Verbindung mit den elektronenoptischen Teilen innerhalb des Freiraumbereichs FS als eine spektroskopische Vorrichtung verwendet werden kann, die die notwendige Information über das Photonenenergiespektrum innerhalb des primären optischen Bildes gewinnt.

## Beispiel 5. Photo-voltaische Anwendungen

[0218] Infolge der sehr niedrigen inelastischen Streuungs- und Rekombinationsraten der quasi-ballistischen Elektronen ist eine erfindungsgemäße Schottky-Barrierendiode ein sehr effizienter Photoleiter und ihre Verwendung in photo-voltaischen Anwendungen ist offensichtlich. Eine der möglichen Konstruktionen einer erfindungsgemäßen Solarzelle wird schematisch in **Fig. 23** gezeigt.

[0219] Die Vorrichtung besteht aus einer QB-Halbleiterschicht **2**, die zwischen zwei Elektroden angeordnet ist – einer Kathode **1** und einer Anode **2**. Während die Kathode und der QB-Halbleiter einen Schottky-Gleichrichterkontakt bilden, bilden die Anode und der QB-Halbleiter einen ohmschen Kontakt. Wenn sie auf diese Weise aufgebaut ist (wobei ein p-leitender QB-Sem verwendet wird), weist das innere elektrische Feld  $E(x)$  innerhalb der Vorrichtung, das durch den elektrischen Ladungstransfer verursacht wird, der stattfindet, um ein thermodynamisches Gleichgewicht herzustellen, ein Profil auf, das im unteren Teil der **Fig. 23** gezeigt wird.

[0220] Das Sonnenlicht tritt in die Vorrichtung (erfindungsgemäße Solarzelle) von links (**Fig. 23**) durch die Kathode ein und wird innerhalb der Struktur absorbiert, wobei es ein einzelnes Elektron-Loch-Paar pro ankommenden Photon erzeugt. Drei räumlich getrennte Absorptionsprozesse können unterschieden werden. Der Prozeß D ist die Erzeugung eines Elektron-Loch-Paars an der Grenzfläche zwischen der Kathode und dem QB-Halbleiter. Der Prozeß E ist eine Erzeugung eines Elektron-Loch-Paars innerhalb des Verarmungsbereichs des QB-Halbleiters, und schließlich beschreibt der Prozeß F den Photonenabsorptionsprozeß, der ein Elektron-Loch-Paar innerhalb der Hauptmasse des QB-Halbleiters erzeugt (Bereich des QB-Sem, wo das innere elektrische Feld null ist). Infolge der Existenz von quasi-ballistischen Trajektorien innerhalb des QB-Halbleiters wird eine Mehrzahl von Elektronen, die insbesondere innerhalb des Verarmungsbereichs des QB-Halbleiters erzeugt werden, durch das innere elektrische Feld, das innerhalb des Verarmungsbereichs  $W_d$  vorhanden ist, ohne Rekombination und/oder inelastische Streuung zur Anode beschleunigt. Dieser Effekt erhöht erkennbar die Quanteneffizienz der Solarzelle. Durch Optimierung der Struktur der Vorrichtung durch Minimieren der Ausmaße des Hauptmassenbereichs und durch eine geeignete Wahl des Kathodenmaterials (transparentes leitendes Zinnoxid zum Beispiel), stellt die erfindungsgemäße Solarzelle eine sehr effiziente, einfache und robuste Licht-Elektrizitäts-Energieumwandlungsvorrichtung mit einer großen aktiven Fläche dar.

## Beispiel 6. Feldelektronenemissionsmikroskopie

[0221] Es gibt eine potentiell sehr wichtige Anwendung der vorliegenden Erfindung innerhalb des Ge-

biets der Untersuchungen von Defekten und/oder Störstellen in den „unbehandelten“ Halbleiterwafern, durch etwas, was hier als Feldelektronenemissionsmikroskopie (ECEM) bezeichnet wird. Dies wird in Beziehung auf **Fig. 24** erläutert.

[0222] In der Standardausführung der Elektronenemissionsmikroskopie wird eine zu untersuchende Probe auf Temperaturen aufgeheizt, wo die thermische Elektronenemission endlich wird. Diese Elektronen verlassen die Probe durch eine Oberfläche und werden anschließend elektronenoptisch bearbeitet, um ein elektronenoptisches Bild mit einer hohen räumlichen Auflösung jenes Bruchteils der Oberfläche zu bilden, durch die sie in das Vakuum ausgetreten sind. Jedoch ist die Information über die zu untersuchende Probe, die aus einer solchen Art Elektronenmikroskopie gewonnen werden kann, auf die Oberfläche und wenige Monolagen des Materials genau darunter beschränkt. Dies liegt daran, daß unter diesen Bedingungen die mittlere freie Weglänge der Elektronen (mit ausreichenden Energien, um in das Vakuum zu entweichen) äußerst klein ist (wohl unter einigen 50 Ångström).

[0223] In der vorgeschlagenen Ausführung dieses erfindungsgemäßen experimentellen Verfahrens sind die Elektronen, die die Probe (QB-Sem-Bereich in **Fig. 24**) durch die Oberfläche S3 verlassen, in den QB-Halbleiter schon an der Oberfläche S2 injiziert worden, und daher befördern sie die Information über die Bedingungen der Probe längs der Gesamtheit ihrer quasi-ballistischen Trajektorie innerhalb der Probe. Irgendwelche Störstellen und/oder Defekte (diese können aus einer ein-, zwei- und/oder dreidimensionalen Sorte bestehen) werden ihre Streuung (und ihre anschließende Thermalisierung) weg von ihren quasi-ballistischen geraden Trajektorien bewirken. Dies erzeugt eine projektionsartigen Kontrast in der elektronenoptischen Bildebene.

[0224] Eine der möglichen bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Feldelektronenemissionsmikroskopie wird schematisch in **Fig. 24** gezeigt. Die Grundstruktur der vorliegenden Erfindung (Kathode, QB-Halbleiter, Anode – siehe auch die **Fig. 1** und **2**) wird auch in diesem Fall beibehalten, nur bildet nun die Grundstruktur eine zu untersuchende Probe. Außerdem sind die Metallelektroden, die der QB-Halbleiteroberfläche S2 und S3 gegenüberliegen, nicht wirklich notwendig, vorausgesetzt, daß das elektrische Feld ausreichender Stärke innerhalb des QB-Halbleiterkörpers erzeugt werden kann und die Elektronen in den QB-Halbleiter durch die Oberfläche S2 injiziert werden können. In einer solchen Anordnung kann der gesamte Prozeß der Qualitätskontrolle der unbehandelten Defekte berührungslos durchgeführt werden. Diese injizierten Elektronen bewegen sich längs ihrer quasi-ballistischen Trajektorien und diejenigen, die nicht durch Störstellen, Verunreinigungen, Defekte und/oder anderen Unregelmäßigkeiten abgelenkt werden, werden schließlich durch die Oberfläche S3 des QB-Halblei-

ters in das Vakuum austreten. Die Oberflächendichte dieser Elektronen, ihre Energien und der Winkel ihres Austritts sind die Parameter (Quantitäten), die mit der genauen Wechselwirkung der quasi-ballistischen Elektronen mit der Oberfläche S2, mit der Hauptmasse des QB-Halbleiters längs ihrer Trajektorie und mit der Oberfläche S3 zusammenhängen.

[0225] Die Elektronen, die durch das Segment **32** der Oberfläche S4 austreten, werden dann durch eine Standard-Elektronenoptik **34** bearbeitet, um ein (vergrößertes) elektronenoptisches Bild **33** mit hoher räumlicher Auflösung des Segments in der elektronenoptischen Bildebene **30** zu bilden.

[0226] Indem der QB-Halbleiter auf einem Präzisions-XY-Objekttisch angeordnet wird, kann der gesamte Wafer auf diese Weise bis zu einer Standardauflösung von 10 bis 50 Ångström eines typischen Rasterelektronenmikroskops hinab untersucht werden.

#### Beispiel 7. Elektronenstrahlquellen im allgemeinen

[0227] Obwohl die vorliegende Erfindung (Planar-Elektronenemitter) hauptsächlich auf Anwendungen abzielt, die die zweidimensionale Beschaffenheit der Erfindung benötigen und/oder daraus Nutzen ziehen, machen die Eigenschaften der vorliegenden Erfindung (wie die niedrige Verlustleistung, Einfachheit der Konstruktion, hohe Elektronenemissionsstromdichte und Betrieb bei Raumtemperatur) die Verwendung der vorliegenden Erfindung bei der Konstruktion von mehr dem Standard entsprechenden Elektronenstrahlquellen ebenfalls sehr attraktiv. Spitze, gemusterte, quasi-planare und Elektronquellen mit einer allgemeinen Form können mit Leichtigkeit hergestellt werden und werden hier als „Kalte Schottky-Kathoden“ bezeichnet. Deren typische Verwendung wird als Elektronquellen für Kathodenstrahlröhren (CRT), Röntgenröhren, Elektronenmikroskope einschließlich Elektronkanonen zur Verdampfung, Schweißen, Bildgebung und möglicherweise andere Elektronenstrahlanwendungen stattfinden.

[0228] Da all diese Anwendungen als eine alltägliche Verwendung der vorliegenden Erfindung angesehen werden und da sie wohlbekannt sind und im entsprechenden Stand der Technik beschrieben werden, werden sie hier nicht detaillierter erläutert.

#### Patentansprüche

##### 1. Elektronen leitende Vorrichtung mit

- einem Element mit einer ersten und einer zweiten Oberfläche (S2 und S3) und einer die erste und zweite Oberfläche trennenden Materialschicht (**2**), wobei die erste Oberfläche zum Halten einer ersten elektrischen Ladung und die zweite Oberfläche zum Halten einer zweiten elektrischen Ladung ausgebildet sind, und
- einer Einrichtung (**1, 4**) zum Erzeugen eines elektrischen Felds über wenigstens einem Teil des Ele-

ments, wobei die Einrichtung aufweist:

- eine Einrichtung (**1**) zum Liefern der ersten elektrischen Ladung an die erste Oberfläche des Elements, und
- eine Einrichtung zum Liefern der zweiten elektrischen Ladung an die zweite Oberfläche des Elements, wobei sich die zweite elektrische Ladung von der ersten elektrischen Ladung unterscheidet, um mehrere Elektronen durch das Element hindurch in einer Richtung zumindest im wesentlichen senkrecht zu der ersten oder der zweiten Oberfläche zu bewegen, wobei die Vorrichtung **dadurch gekennzeichnet** ist, daß:
  - die Materialschicht (**2**) so präpariert ist, daß sie eine Elektronenstreuung innerhalb der Materialschicht (**2**) verringert, indem sie ein Einkristallmaterial mit einer vorbestimmten Kristallorientierung senkrecht zu der ersten oder zweiten Oberfläche bildet, und indem sie eine Verunreinigungskonzentration von weniger als  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$  aufweist, und
  - die Materialschicht (**2**) eine Dicke in einer Richtung zumindest im wesentlichen senkrecht zu der ersten oder der zweiten Oberfläche aufweist, welche gleich oder größer als  $0,2 \mu\text{m}$  ist.

2. Elektronen leitende Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Materialschicht (**2**) ein Halbleitermaterial, wie z. B. Silizium, Germanium, Siliziumcarbid, Galliumarsenid, Indiumphosphid, Indiumantimonid, Indiumarsenid, Aluminiumarsenid, Zinktellurid oder Siliziumnitrid oder irgendeine Kombination davon aufweist.

3. Elektronen leitende Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Präparation der Materialschicht (**2**) das Dotieren der Materialschicht (**2**) mit einem Dotierungsmittel aufweist, um so eine vorbestimmte Verunreinigungskonzentration zu erzielen.

4. Elektronen leitende Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei das Dotierungsmittel Phosphor, Lithium, Antimon, Arsen, Bor, Aluminium, Tantal, Gallium, Indium, Wismut, Silizium, Germanium, Schwefel, Zinn, Tellur, Selen, Kohlenstoff, Beryllium, Magnesium, Zink, oder Cadmium oder irgendeine Kombination davon aufweist.

5. Elektronen leitende Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Einrichtung (**1**) zum Liefern der ersten elektrischen Ladung an die erste Oberfläche (S2) ein wenigstens teilweise leitendes erstes Material oder Materialsystem aufweist.

6. Elektronen leitende Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Einrichtung (**4**) zum Liefern der zweiten elektrischen Ladung an die zweite Oberfläche (S2) ein wenigstens teilweise leitendes zweites Material oder Materialsystem aufweist.



7. Elektronen leitende Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei das wenigstens teilweise leitende erste Material oder Materialsystem eine Schicht mit einer ersten und zweiten Oberfläche (S2 und S1) bildet, wobei die zweite Oberfläche (S1) betrieblich mit einem ersten Anschluß eines Ladungsreservoirs verbunden ist, und wobei die erste Oberfläche (S2) in direktem Kontakt mit der ersten Oberfläche (S2) der Materialschicht (2) des Elements steht.

8. Elektronen leitende Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei das wenigstens teilweise leitende zweite Material oder Materialsystem eine Schicht mit einer ersten und zweiten Oberfläche (S4 und S3) bildet, wobei die erste Oberfläche (S4) betrieblich mit einem zweiten Anschluß eines Ladungsreservoirs verbunden ist, und wobei die zweite Oberfläche (S3) in direktem Kontakt mit der zweiten Oberfläche (S3) der Materialschicht (2) des Elements steht.

9. Elektronen leitende Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, wobei das wenigstens teilweise leitende erste und/oder zweite Material oder Materialsystem ein Metall oder ein hoch dotiertes Halbleitermaterial mit einem Dotierungspegel höher als  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  aufweist.

10. Elektronen leitende Vorrichtung nach Anspruch 9, wobei das wenigstens teilweise leitende erste und/oder zweite Material oder Materialsystem Gold, Chrom, Platin, Aluminium, Kupfer, Cäsium, Rubidium, Strontium, Indium, Praseodym, Samarium, Ytterbium, Francium oder Europium oder irgendeine Kombination davon aufweist.

11. Elektronen leitende Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die geleiteten Elektronen quasi-ballistische Elektronen aufweisen.

12. Elektronen leitende Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Materialschicht eine Verunreinigungskonzentration von weniger als  $10^{13} \text{ cm}^{-3}$  oder weniger als  $10^{12} \text{ cm}^{-3}$  aufweist.

13. Elektronenemitter, aufweisend eine Elektronen leitende Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Einrichtung (4) zum Liefern der zweiten elektrischen Ladung an die zweite Oberfläche dafür angepaßt ist, wenigstens einen Teil der von der Materialschicht (2) geleiteten Elektronen durchzulassen.

14. Elektronenemitter nach Anspruch 13, wobei die Einrichtung (4) zum Liefern der zweiten elektrischen Ladung an die zweite Oberfläche eine dünne Filmschicht aufweist, die wenigstens einen Teil der von der Materialschicht (2) geleiteten Elektronen durchläßt.

15. Verfahren zum Transportieren von Elektro-

nen, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:

- Bereitstellen eines Elements mit einer ersten und einer zweiten Oberfläche (S2 und S3), wobei
- die erste Oberfläche dafür angepaßt ist, eine erste elektrische Ladung zu halten, und die zweite Oberfläche dafür angepaßt ist, eine zweite elektrische Ladung zu halten, und die erste Oberfläche im wesentlichen parallel zu der zweiten Oberfläche ist, und wobei
- das Element eine Einkristall-Materialschicht (2) mit einer Dicke in einer Richtung im wesentlichen senkrecht zu der ersten oder zweiten Oberfläche aufweist, welche gleich oder größer als  $0,2 \mu\text{m}$  ist, wobei die Materialschicht (2) so präpariert ist, daß sie Trajektorien für einen ballistischen oder quasi-ballistischen Elektronentransport innerhalb der Materialschicht (2) erzeugt, indem sie eine vorbestimmte Kristallorientierung senkrecht zu der ersten oder zweiten Oberfläche aufweist, und die Materialschicht (2) so präpariert ist, daß sie Elektronenstreuung innerhalb der Materialschicht (2) reduziert, indem sie eine Verunreinigungskonzentration von weniger als  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$  aufweist,
- Liefern der ersten elektrischen Ladung an die erste Oberfläche des Elements, und
- Liefern der zweiten elektrischen Ladung an die zweite Oberfläche des Elements, wobei sich die zweite elektrische Ladung von der ersten elektrischen Ladung unterscheidet, um so ein elektrisches Feld innerhalb des Materials oder Materialsystems zu erzeugen, und
- Transportieren mehrerer Elektronen durch die Materialschicht (2) hindurch entlang ballistischer oder quasiballistischer Trajektorien in einer Richtung im wesentlichen senkrecht zu der ersten oder der zweiten Oberfläche.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei die Materialschicht (2) ein Halbleitermaterial, wie z. B. Silizium, Germanium, Siliziumcarbid, Galliumarsenid, Indiumphosphid, Indiumantimonid, Indiumarsenid, Aluminiumarsenid, Zinktellurid, oder Siliziumnitrid oder irgendeine Kombination davon aufweist.

17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, wobei die Präparation der Materialschicht (2) das Dotieren des Materials oder Materialsystems mit einem Dotierungsmittel aufweist, um so eine vorbestimmte Verunreinigungskonzentration zu erzielen.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei das Dotierungsmittel Phosphor, Lithium, Antimon, Arsen, Bor, Aluminium, Tantal, Gallium, Indium, Wismut, Silizium, Germanium, Schwefel, Zinn, Tellur, Selen, Kohlenstoff, Beryllium, Magnesium, Zink, oder Cadmium oder irgendeine Kombination davon aufweist.

19. Verfahren nach Anspruch 17, wobei der vorbestimmte Dotierungspegel kleiner als  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , wie z. B. kleiner als  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ , wie z. B. kleiner als

$1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ , wie z. B. kleiner als  $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ , wie z. B. kleiner als  $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$  ist.

20. Verfahren nach einem Ansprüche 15 bis 19, wobei die Einrichtung zum Liefern der ersten elektrischen Ladung an die erste Oberfläche (S2) ein wenigstens teilweise leitendes erstes Material oder Materialsystem (1) aufweist.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 19, wobei die Einrichtung zum Liefern der zweiten elektrischen Ladung an die zweite Oberfläche (S3) ein wenigstens teilweise leitendes zweites Material oder Materialsystem (4) aufweist.

22. Verfahren nach Anspruch 20, wobei das wenigstens teilweise leitende erste Material oder Materialsystem (1) eine Schicht mit einer ersten und zweiten Oberfläche (S2 und S1) bildet, wobei die zweite Oberfläche (S1) betrieblich mit einem ersten Anschluß eines Ladungsreservoirs verbunden ist, und wobei die erste Oberfläche (S2) in direktem Kontakt mit der ersten Oberfläche (S2) der Materialschicht (2) des Elements steht.

23. Verfahren nach Anspruch 21, wobei das wenigstens teilweise leitende zweite Material oder Materialsystem eine Schicht mit einer ersten und zweiten Oberfläche (S4 und S3) bildet, wobei die erste Oberfläche (S4) betrieblich mit einem zweiten Anschluß eines Ladungsreservoirs verbunden ist, und wobei die zweite Oberfläche (S3) in direktem Kontakt mit der zweiten Oberfläche (S3) der Materialschicht (2) des Elements steht.

24. Verfahren nach Anspruch 22 oder 23, wobei eine Potentialdifferenz zwischen den ersten und zweiten Anschlüssen des Ladungsreservoirs größer als 2 Volt ist.

25. Verfahren nach Anspruch 20 bis 23, wobei das wenigstens teilweise leitende erste und zweite Material oder Materialsystem ein Metall oder ein hoch dotiertes Halbleitermaterial mit einem Dotierungsspiegel höher als  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  aufweist.

26. Verfahren nach Anspruch 25, wobei das wenigstens teilweise leitende erste und zweite Material oder Materialsystem Gold, Chrom, Platin, Aluminium, Kupfer, Cäsium, Rubidium, Strontium, Indium, Praseodym, Samarium, Ytterbium, Francium oder Europium oder irgendeine Kombination davon aufweist.

27. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche 15 bis 26, wobei die Materialschicht eine Verunreinigungskonzentration von weniger als  $10^{13} \text{ cm}^{-3}$  oder weniger als  $10^{12} \text{ cm}^{-3}$  aufweist.

28. Verfahren zum Herstellen einer Elektronen leitenden Vorrichtung, wobei das Verfahren die

Schritte aufweist:

- Bereitstellen einer Halbleitermaterialschicht (2) mit einer ersten und einer zweiten Oberfläche (S2 und S3), wobei die zweite Oberfläche (S3) im wesentlichen parallel zu der ersten Oberfläche (S2) ist, und die Halbleitermaterialschicht (2) eine Dicke in einer Richtung zumindest im wesentlichen senkrecht zu der ersten und zweiten Oberfläche aufweist, welche gleich oder größer als  $0,2 \mu\text{m}$  ist, wobei die Materialschicht (2) so präpariert ist, daß sie Trajektorien für einen ballistischen oder quasi-ballistischen Elektronentransport innerhalb der Materialschicht (2) erzeugt, indem sie eine vorbestimmte Kristallorientierung senkrecht zu der ersten und zweiten Oberfläche aufweist, und die Materialschicht so präpariert ist, daß sie Elektronenstreuung innerhalb der Materialschicht (2) reduziert, indem sie eine Verunreinigungskonzentration von weniger als  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$  aufweist,

- Bereitstellen einer Oberflächenbehandlung für die ersten und zweiten Oberflächen, um so die Oberflächenrauigkeit zu verringern,

- Bereitstellen eines wenigstens teilweise leitenden ersten Material oder Materialsystem, wobei das erste Material oder Materialsystem eine Schicht mit einer ersten und zweiten Oberfläche (S2 und S1) bildet, wobei die zweite Oberfläche (S1) betrieblich mit einem ersten Anschluß des Ladungsreservoirs verbunden ist, und wobei die erste Oberfläche (S2) in direktem Kontakt mit der ersten Oberfläche (S2) der Materialschicht (2) des Elements steht,

- Bereitstellen eines wenigstens teilweise leitenden zweiten Materials oder Materialsystems, wobei das zweite Material oder Materialsystem eine Schicht mit einer ersten und zweiten Oberfläche (S4 und S3) bildet, wobei die erste Oberfläche (S4) betrieblich mit einem zweiten Anschluß des Ladungsreservoirs verbunden ist, und wobei die zweite Oberfläche (S3) in direktem Kontakt mit der zweiten Oberfläche (S3) der Materialschicht (2) des Elements steht.

29. Verfahren nach Anspruch 28, wobei das Halbleitermaterial Silizium, Germanium, Siliziumcarbid, Galliumarsenid, Indiumphosphid, Indiumantimonid, Indiumarsenid, Aluminiumarsenid, Zinktellurid oder Siliziumnitrid oder irgendeine Kombination davon aufweist.

30. Verfahren nach Anspruch 28 oder 29, wobei die vorbestimmte Kristallorientierung die  $\langle 111 \rangle$ ,  $\langle 110 \rangle$  oder  $\langle 100 \rangle$  Richtung ist.

31. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 30, wobei die Oberflächenbehandlung ein optisches Polieren aufweist.

32. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 31, welches ferner den Schritt des Dotierens der Materialschicht (2) mit einem Dotierungsmittel aufweist, um so eine vorbestimmte Verunreinigungskonzentration zu erzielen.

33. Verfahren nach Anspruch 32, wobei das Dotierungsmittel eines oder mehrere von den aus der Gruppe von Phosphor, Lithium, Antimon, Arsen, Bor, Aluminium, Tantal, Gallium, Indium, Wismut, Silizium, Germanium, Schwefel, Zinn, Tellur, Selen, Kohlenstoff, Beryllium, Magnesium, Zink, oder Cadmium oder irgendeine Kombination davon ausgewählten Materialien aufweist.

34. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 33, wobei das wenigstens teilweise leitende erste und zweite Material oder Materialsystem (**1** und **4**) ein Metall oder ein hoch dotiertes Halbleitermaterial mit einem Dotierungspegel höher als  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  aufweist.

35. Verfahren nach Anspruch 34, wobei das wenigstens teilweise leitende erste und zweite Material oder Materialsystem (**1** und **4**) Gold, Platin, Chrom, Aluminium oder Kupfer oder irgendeine Kombination davon aufweist.

36. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 bis 35, wobei die Materialschicht (**2**) eine Verunreinigungskonzentration von weniger als  $10^{13} \text{ cm}^{-3}$  oder weniger als  $10^{12} \text{ cm}^{-3}$  aufweist.

37. Plattenanzeigevorrichtung mit einem Elektronenemitter gemäß Anspruch 13 oder 14, wobei die Plattenanzeigevorrichtung ferner aufweist:

- eine lichtemittierende Schicht (**3**) zum Emittieren von Licht bei mehreren Wellenlängen bei Einwirkung von Elektronen, wobei die lichtemittierende Schicht in einer Ebene im wesentlichen parallel zu der ersten und zweiten Oberfläche des Elements eine zweidimensionale Matrix mit einem oder mehreren Oberflächenelementen (**5**, **11**, **18**) definiert, wovon jedes Element zum Emittieren von Licht bei einer vorbestimmten Wellenlänge geeignet ist, und
- eine Einrichtung (**1**, **4**) zum selektiven Liefern von Elektronen an die eine oder mehreren Oberflächenelemente (**5**, **11**, **18**) in der zweidimensionalen Matrix.

38. Plattenanzeigevorrichtung nach Anspruch 37, wobei die lichtemittierende Schicht (**3**) zum Emittieren der mehreren Wellenlängen geeignete Lumineszenzphosphore oder Standard-Farbfosphore aufweist.

39. Plattenanzeigevorrichtung nach Anspruch 37 oder 38, wobei das emittierte Licht wenigstens drei Wellenlängen, die wenigstens drei Farben entsprechen, aufweist.

40. Plattenanzeigevorrichtung nach Anspruch 39, wobei jede Farbe aus einer Kombination der von der Schicht emittierten wenigstens drei Farben abgeleitet werden kann.

41. Plattenanzeigevorrichtung nach einem der

Ansprüche 37 bis 40, wobei die emittierten Wellenlängen den Farben Rot, Gelb und Blau oder den Farben Rot, Grün und Blau entsprechen.

42. Plattenanzeigevorrichtung nach einem der Ansprüche 37 bis 41, wobei die Elektronen quasi-ballistische Elektronen aufweisen.

43. Plattenanzeigevorrichtung nach einem der Ansprüche 37 bis 42, wobei die selektive Einrichtung (**1**, **4**) ein Muster aufweist, um so in einer Ebene im wesentlichen parallel zu der ersten oder zweiten Oberfläche eine zweidimensionale Matrix von elektrisch steuerbaren Matrixelementen zu definieren, wobei das Muster aus einem wenigstens teilweise leitendem Material oder Materialsystem ausgebildet ist.

44. Verfahren zum Bestrahlen eines Films (**6**) mit mehreren Elektronen, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:

- Bereitstellen eines Elektronenemitters nach Anspruch 13 oder 14,
- Bereitstellen eines zweiten Elements, wobei das zweite Element dafür angepaßt ist, den von dem Elektronenemitter emittierten Elektronen zu bestrahlenden Film (**6**) zu halten,
- Positionieren einer strukturierten Absorptionsschicht (**19**) zwischen dem ersten und zweiten Element, wobei die Absorptionsschicht dafür angepaßt ist, Elektronen zu absorbieren, die von dem Elektronenemitter an von dem Muster bestimmten Positionen emittiert werden,
- Liefern der ersten elektrischen Ladung an die erste Oberfläche (S2) der Materialschicht (**2**) des Elektronenemitters,
- Liefern der zweiten elektrischen Ladung an die zweite Oberfläche (S3) der Materialschicht (**2**) des Elektronenemitters, wobei die zweite elektrische Ladung ein entgegengesetztes Vorzeichen im Vergleich zu der ersten elektrischen Ladung besitzt, um Elektronen von der ersten Oberfläche (S2) zu der zweiten Oberfläche (S3) zu bewegen, und
- Bestrahlen des Films (**6**) des zweiten Elements mit wenigstens einigen von dem Elektronenemitter emittierten Elektronen, die nicht von der strukturierten Absorptionsschicht (**19**) absorbiert werden.

45. Verfahren nach Anspruch 44, wobei die erste elektrische Ladung an die erste Oberfläche (S2) der Materialschicht (**2**) des Elektronenemitters von einem ersten Anschluß eines Ladungsreservoirs geliefert wird.

46. Verfahren nach Anspruch 44 oder 45, wobei die zweite elektrische Ladung an die zweite Oberfläche (S3) der Materialschicht (**2**) des Elektronenemitters von einem zweiten Anschluß eines Ladungsreservoirs geliefert wird.

47. Verfahren nach Anspruch 44, wobei eine Po-

tentialdifferenz zwischen den ersten und zweiten Anschlüssen des Ladungsreservoirs größer als 2 Volt ist.

48. Verfahren nach einem der Ansprüche 44 bis 47, wobei das zweite Element ein Metall oder ein Halbleitermaterial, wie z. B. Silizium, Germanium, Siliziumcarbid, Galliumarsenid, Indiumphosphid, Indiumantimonid, Indiumarsenid, Aluminiumarsenid, Zinktellurid, oder Siliziumnitrid oder irgendeine Kombination davon aufweist.

49. Verfahren nach einem der Ansprüche 44 bis 48, wobei der Film einen Abdecklack (Resist) aufweist.

50. Verfahren nach einem der Ansprüche 44 bis 49, wobei die von dem Elektronenemitter emittierten Elektronen aufweisen, welche innerhalb der Materialschicht (2) des Elektronenemitters quasi-ballistisch sind.

Es folgen 24 Blatt Zeichnungen

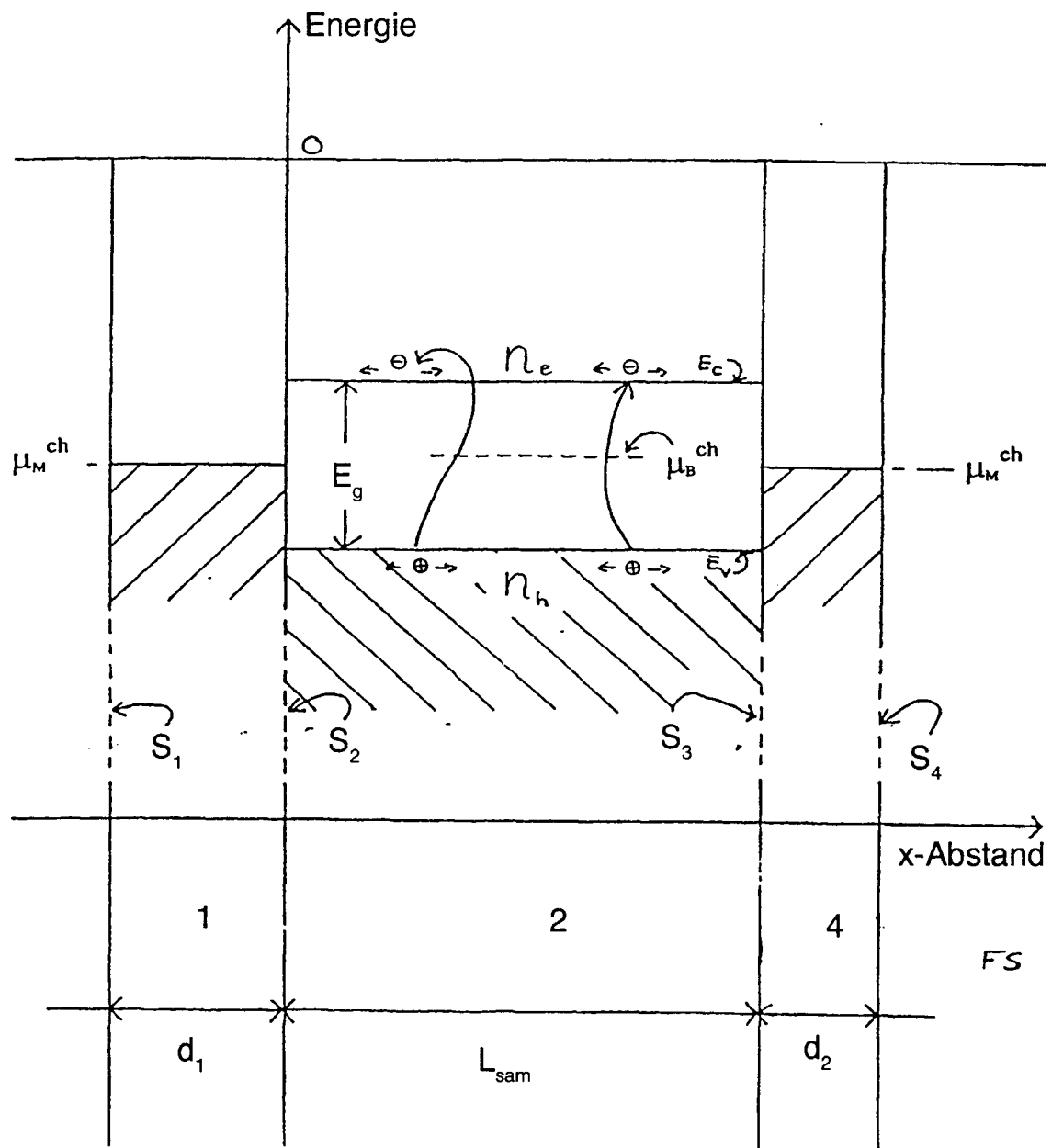


Fig. 1

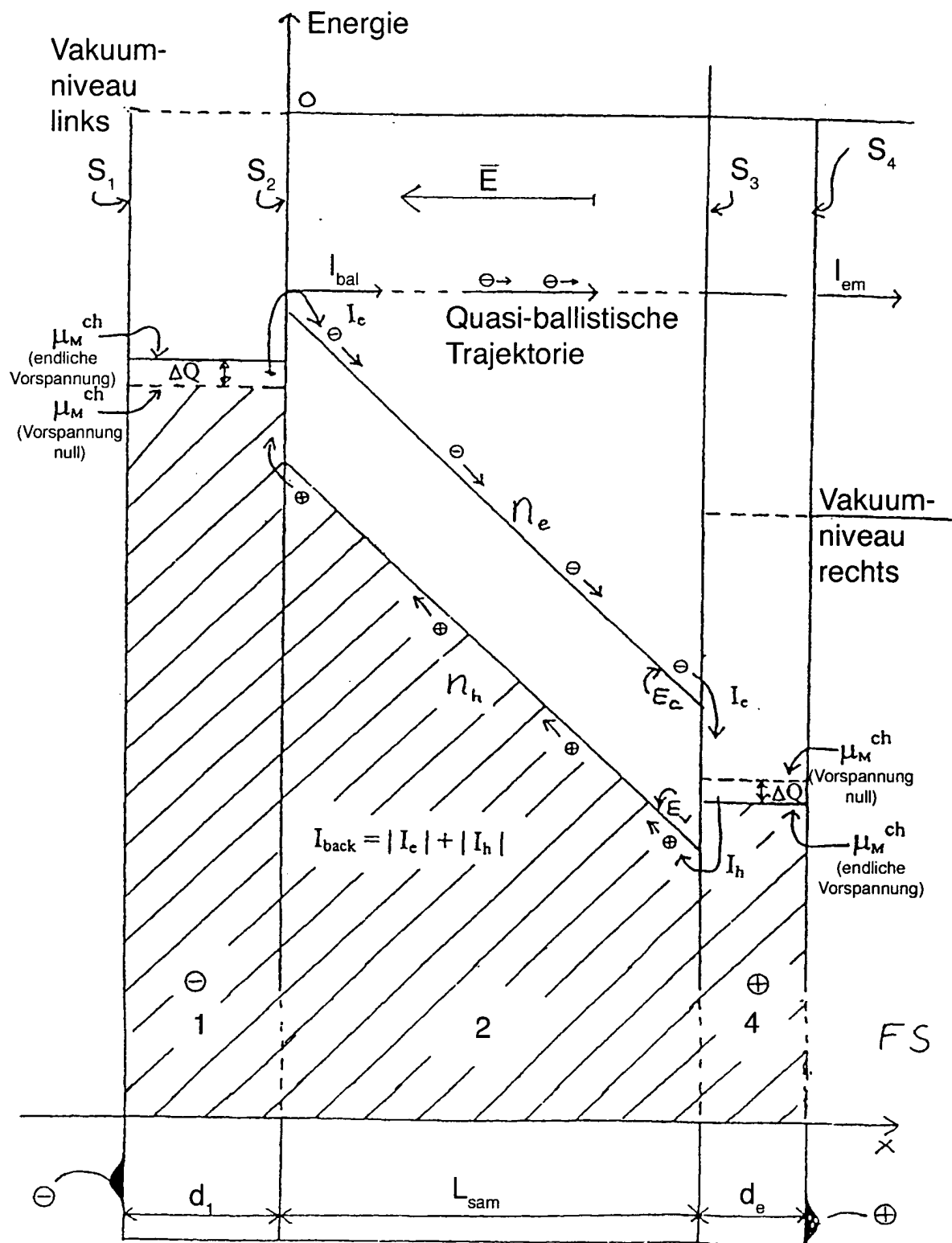


Fig. 2

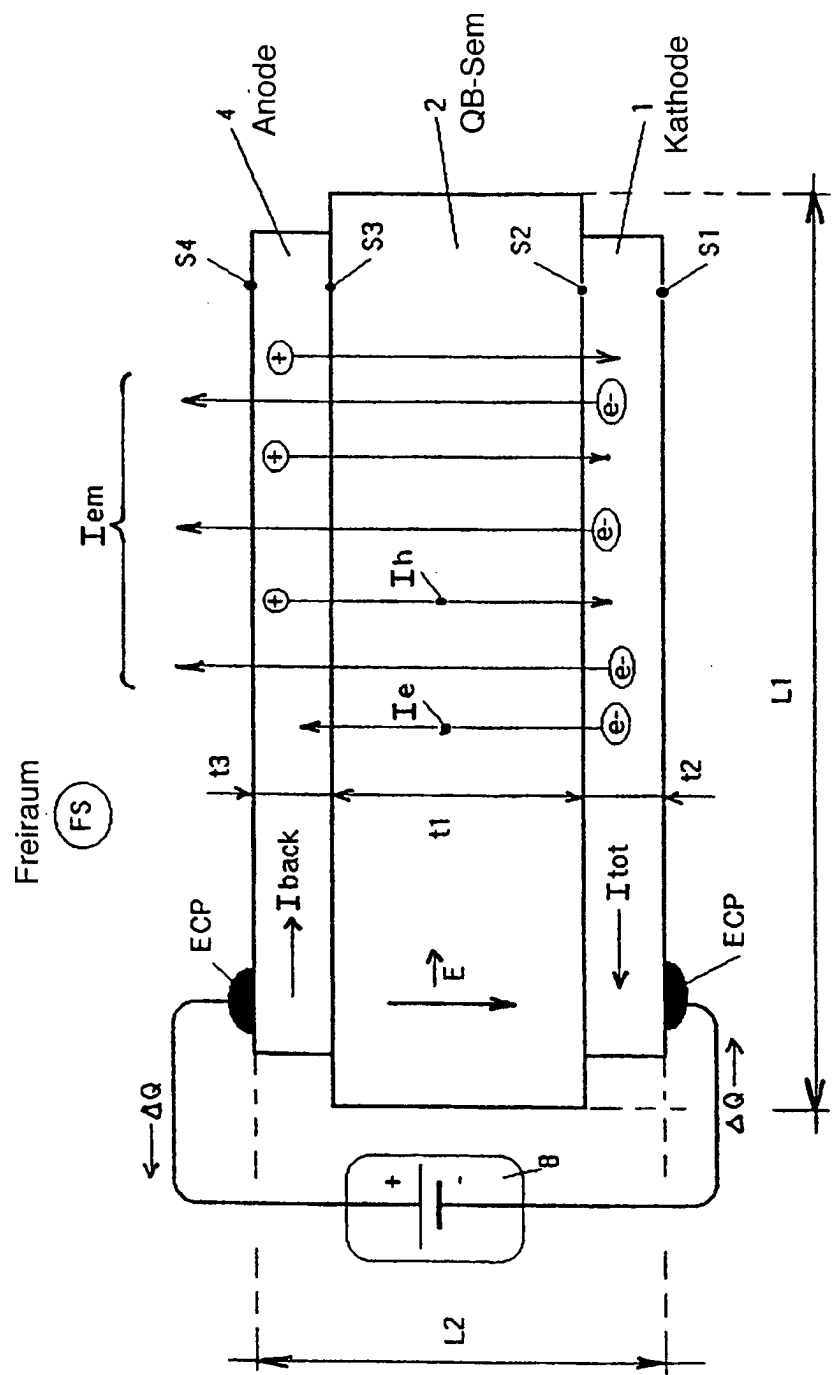
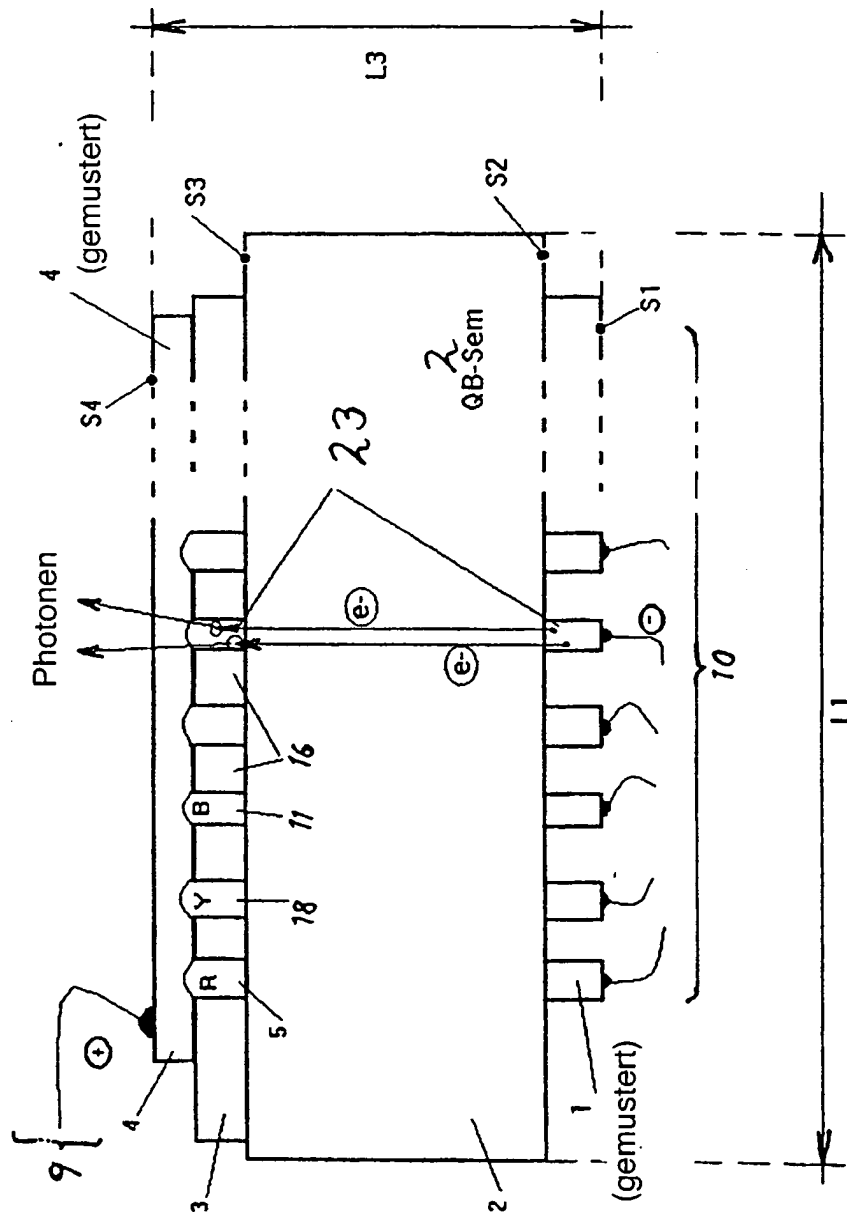


Fig. 3



**Fig. 4**



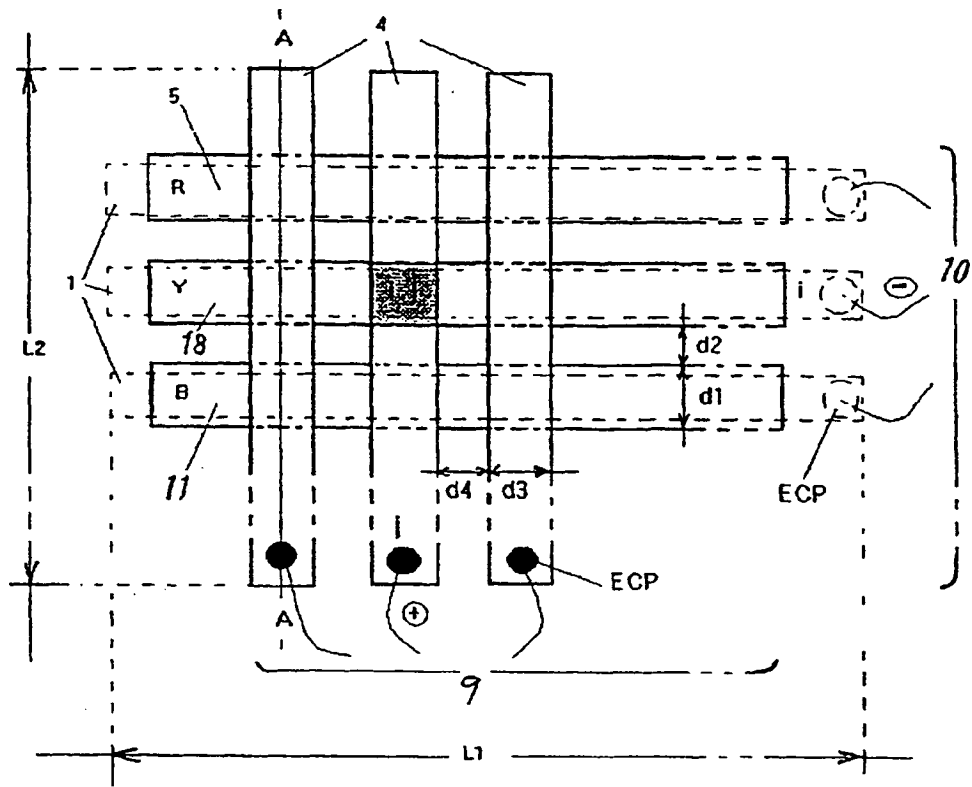
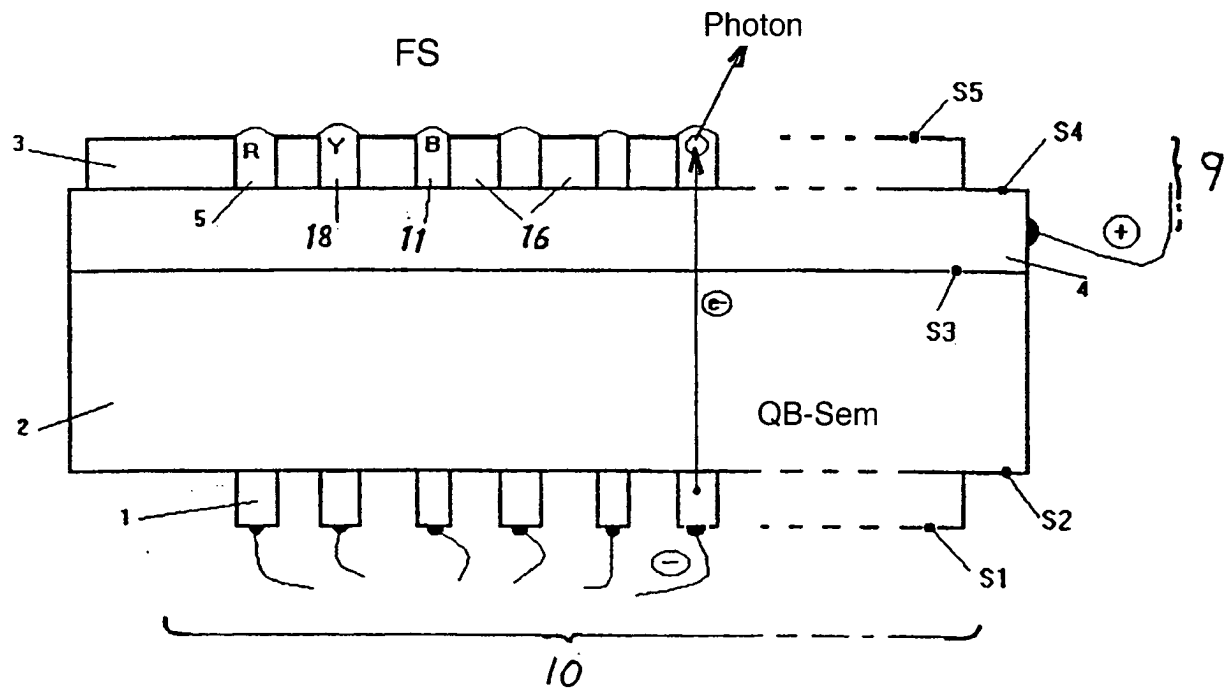
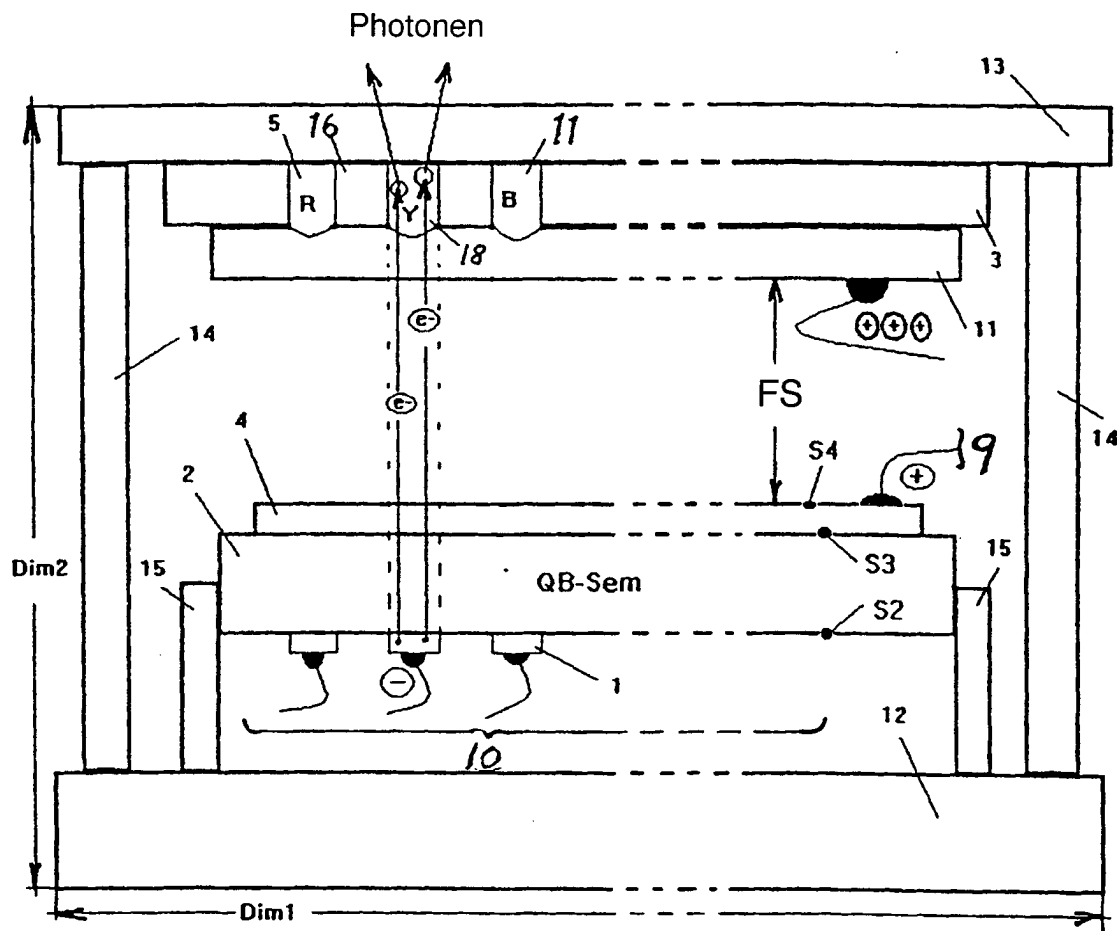


Fig. 5



**Fig. 6**



**Fig. 7**

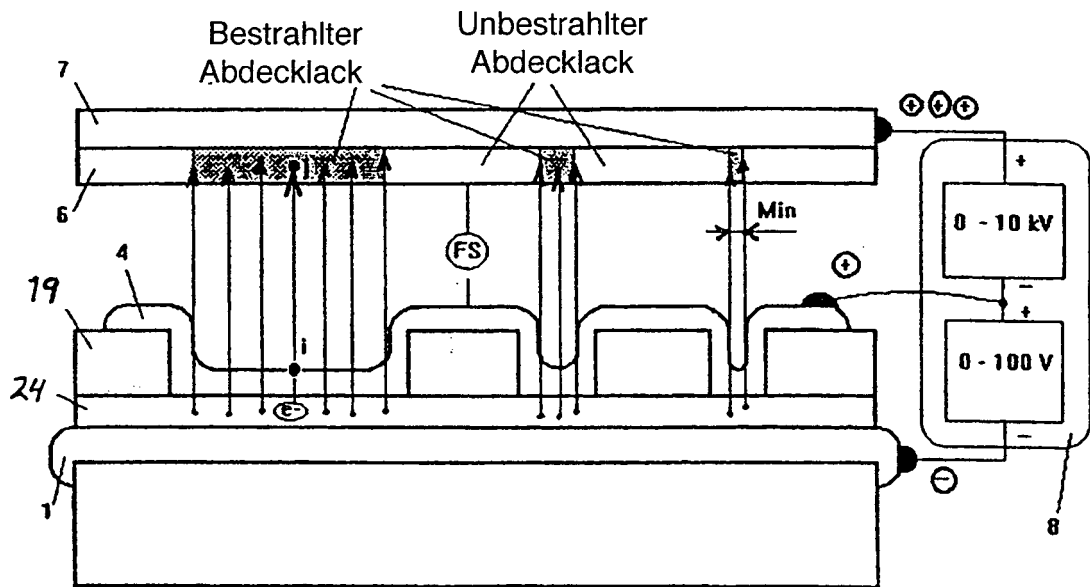


Fig. 8

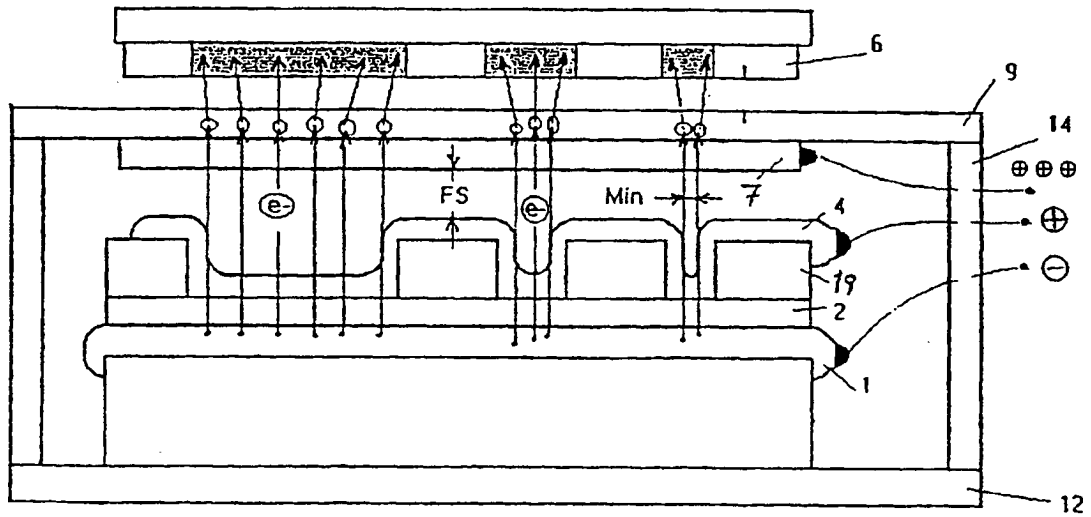


Fig. 9

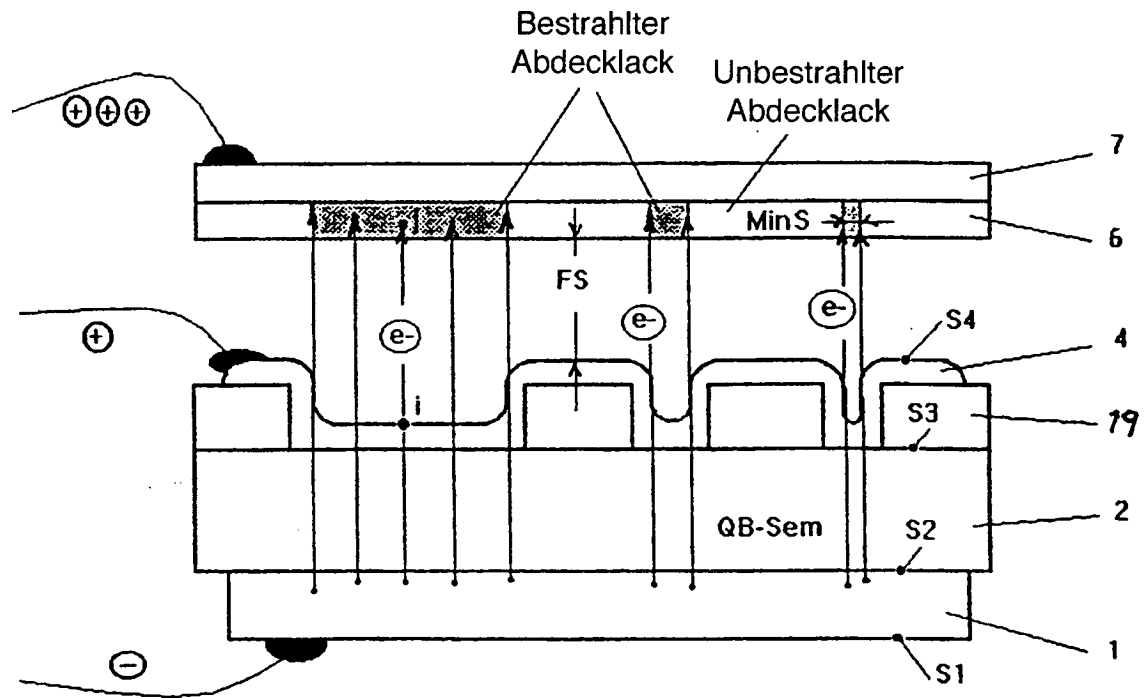


Fig. 10

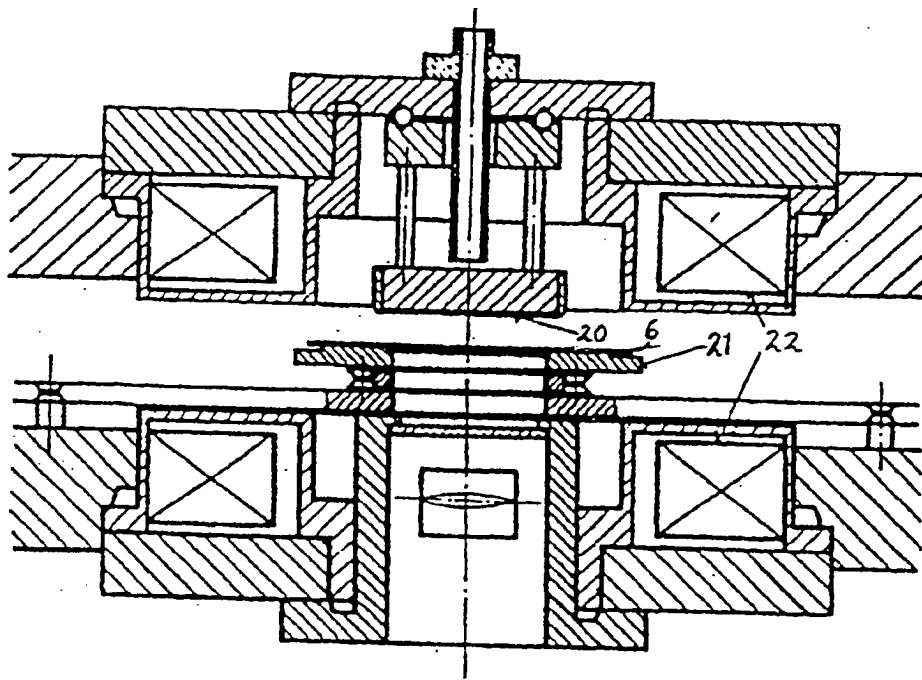


Fig. 11

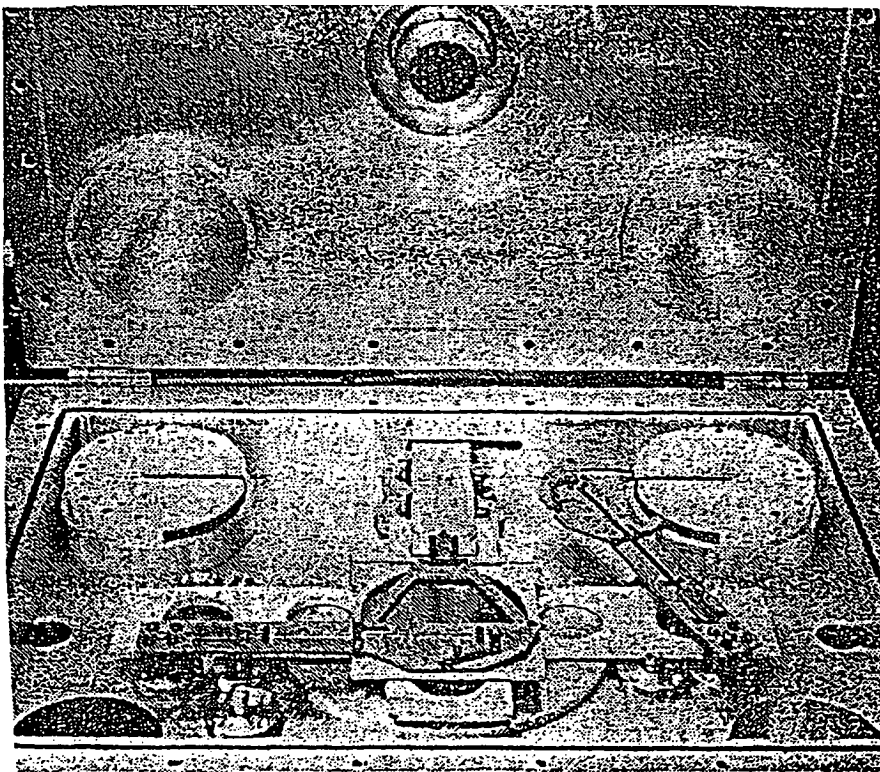
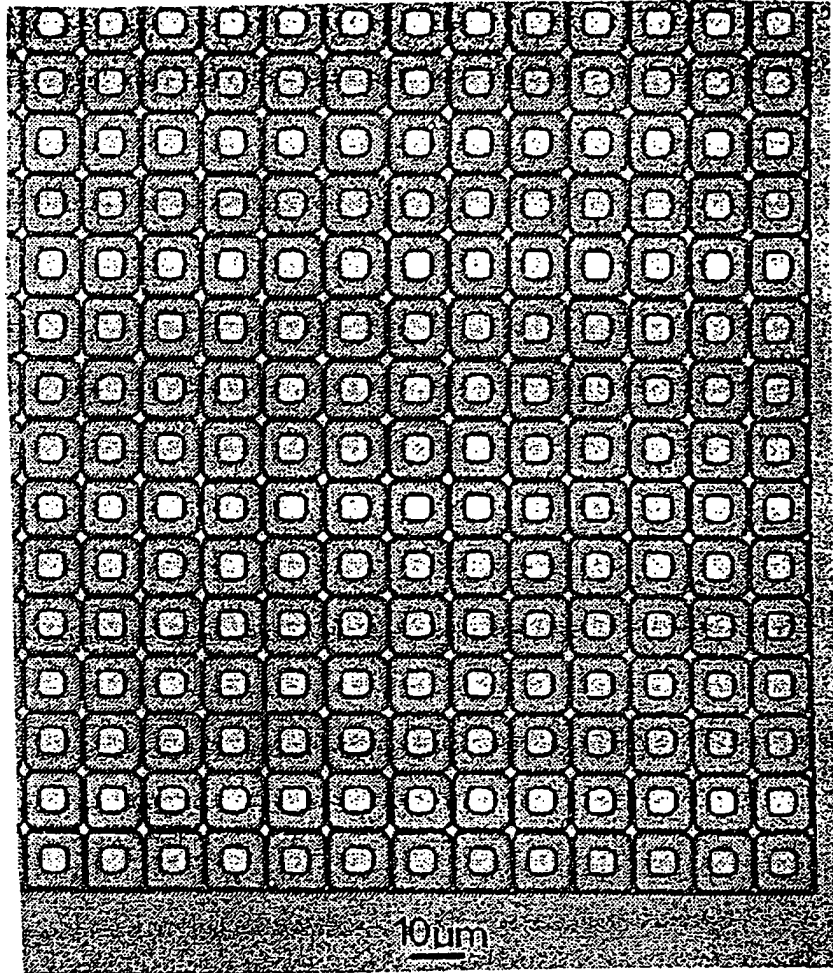
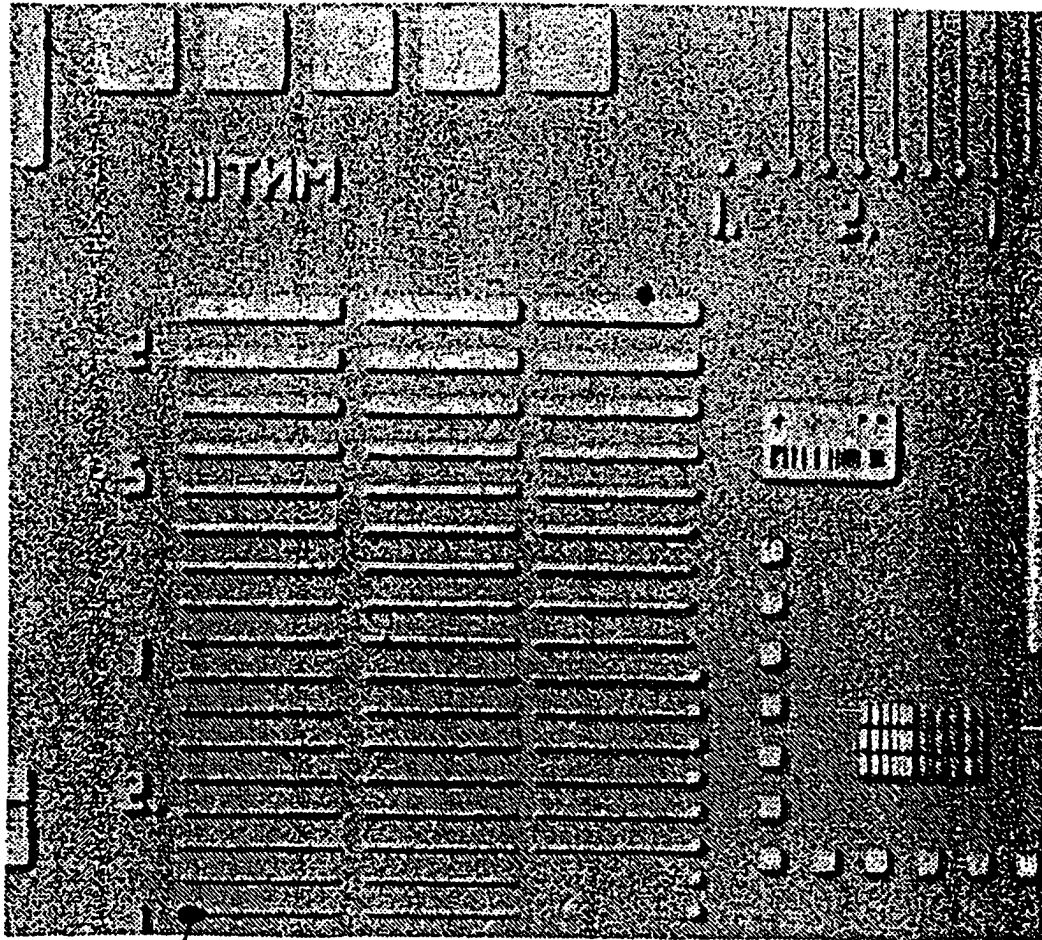


Fig. 12



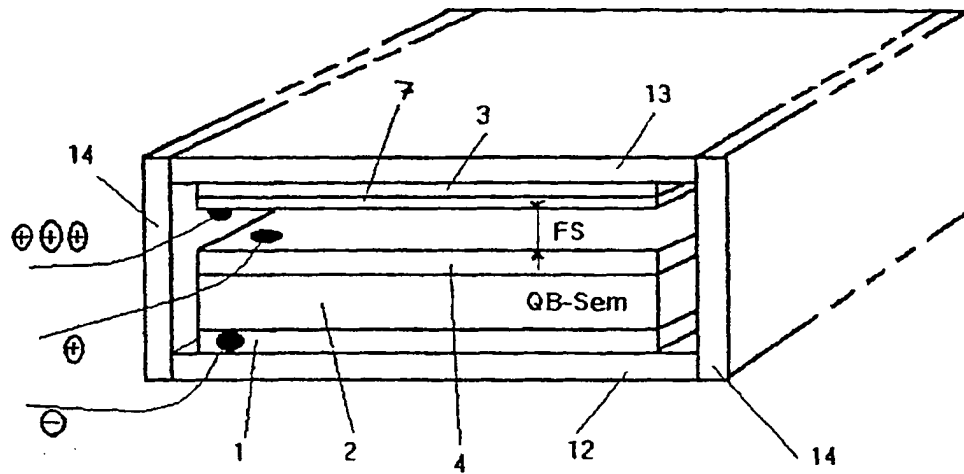


**Fig. 13**

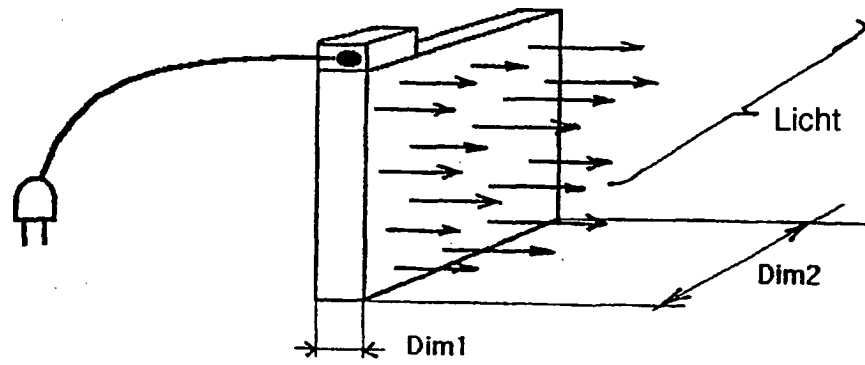


0,15  $\mu\text{m}$ -Merkmal

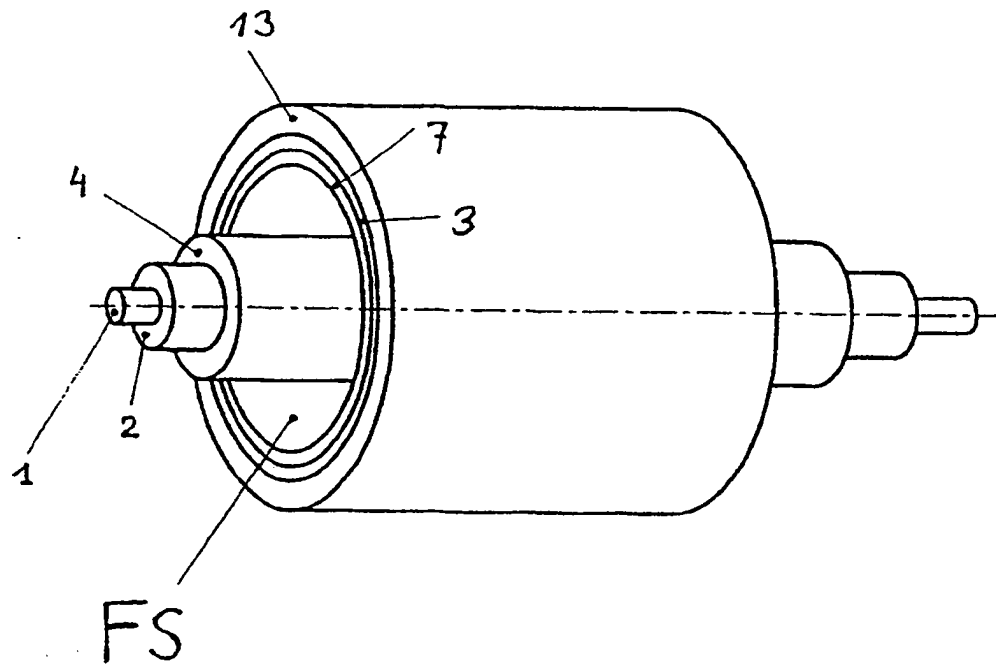
**Fig. 14**



**Fig. 15**



**Fig. 16**



**Fig. 17**

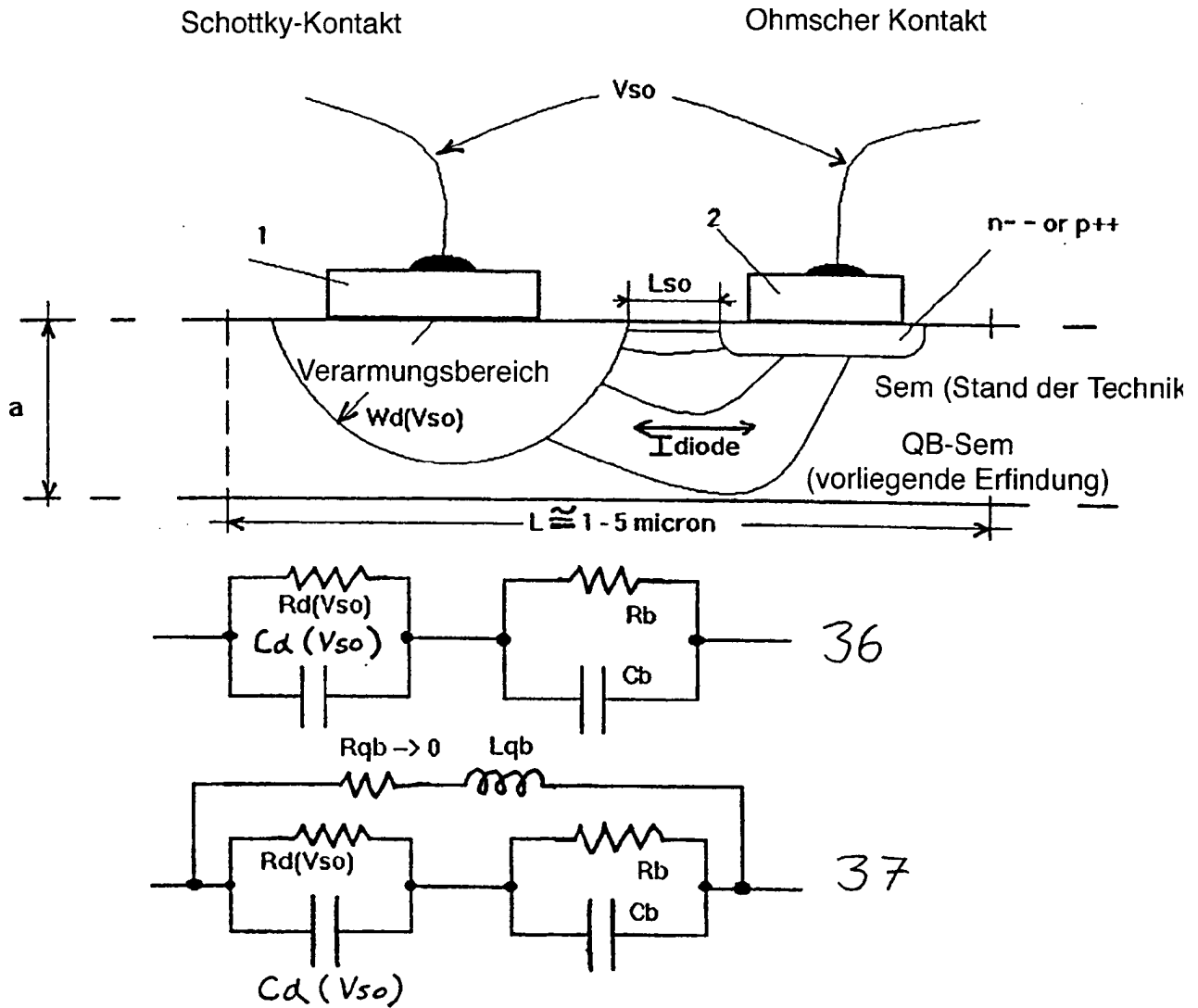


Fig. 18

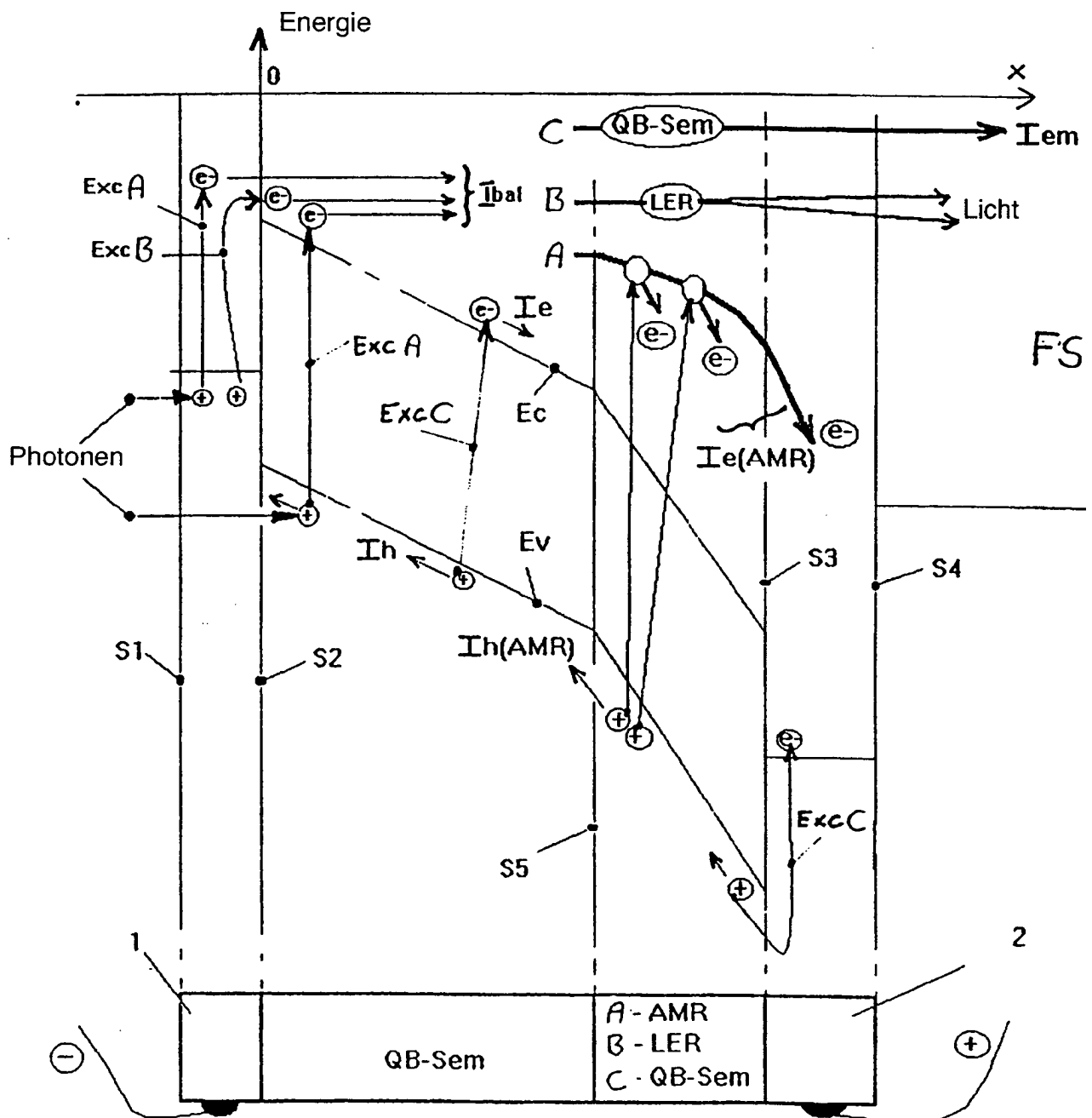


Fig. 19

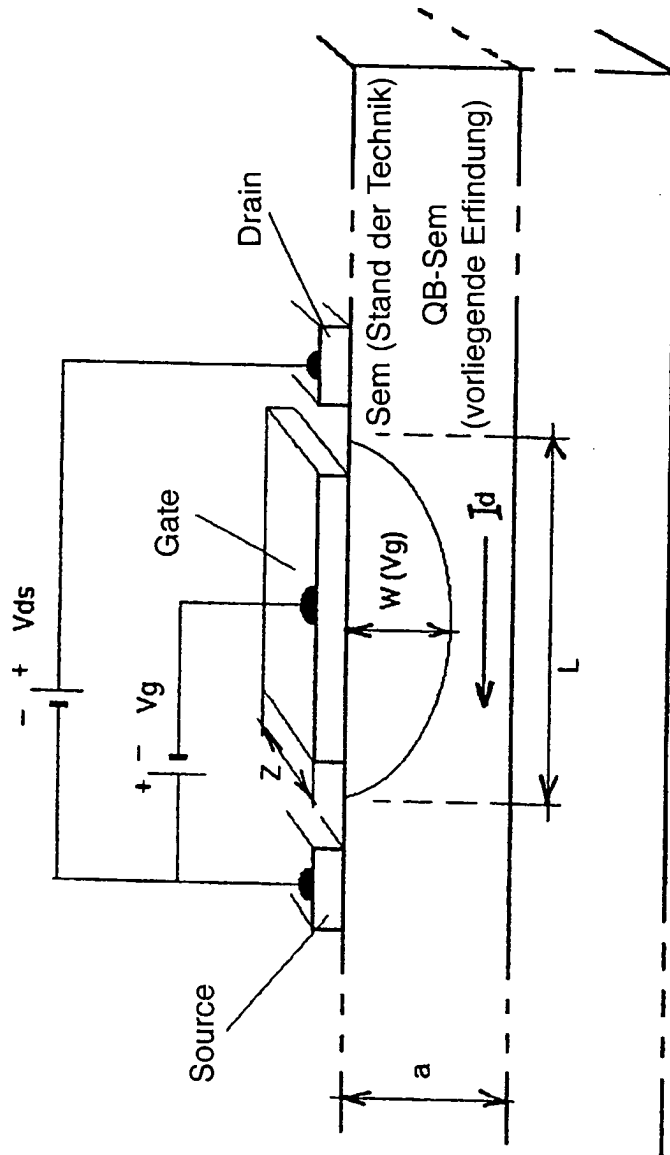


Fig. 20



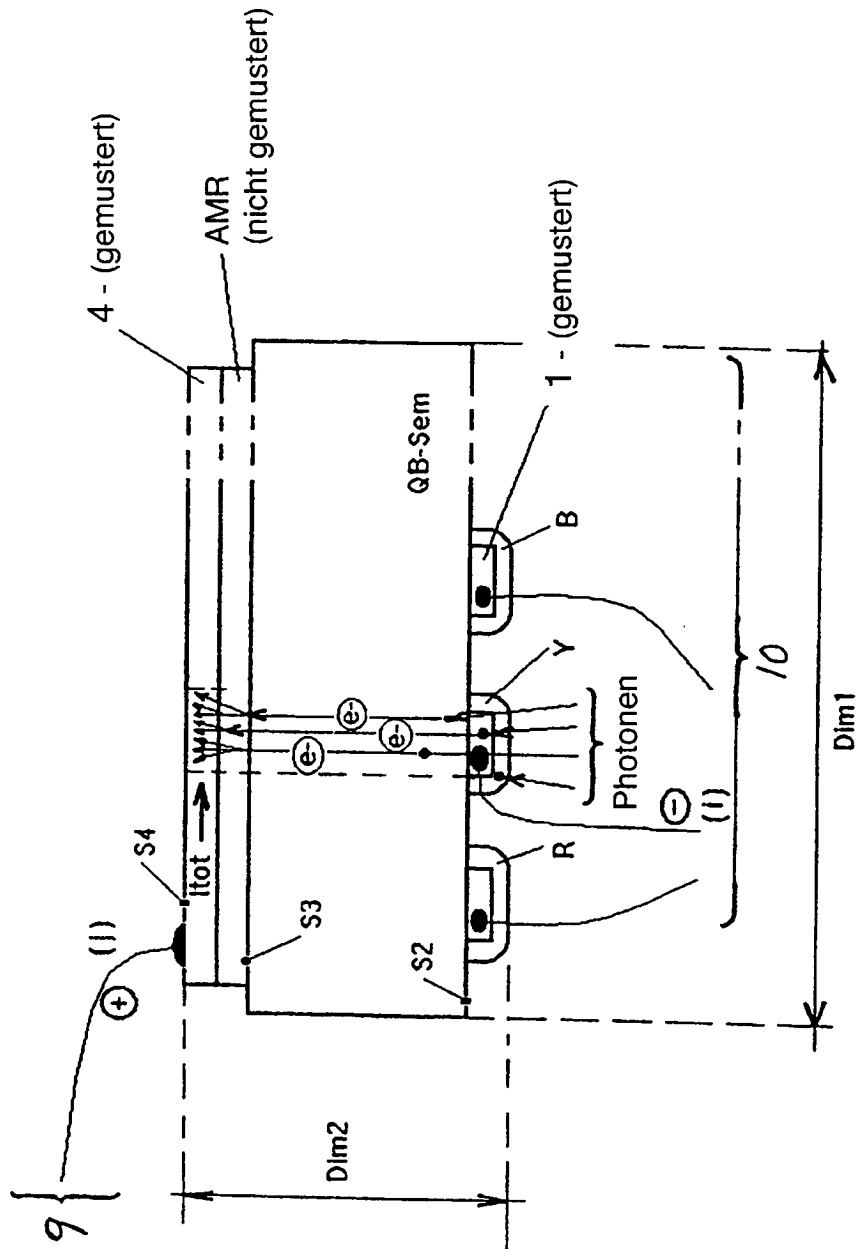
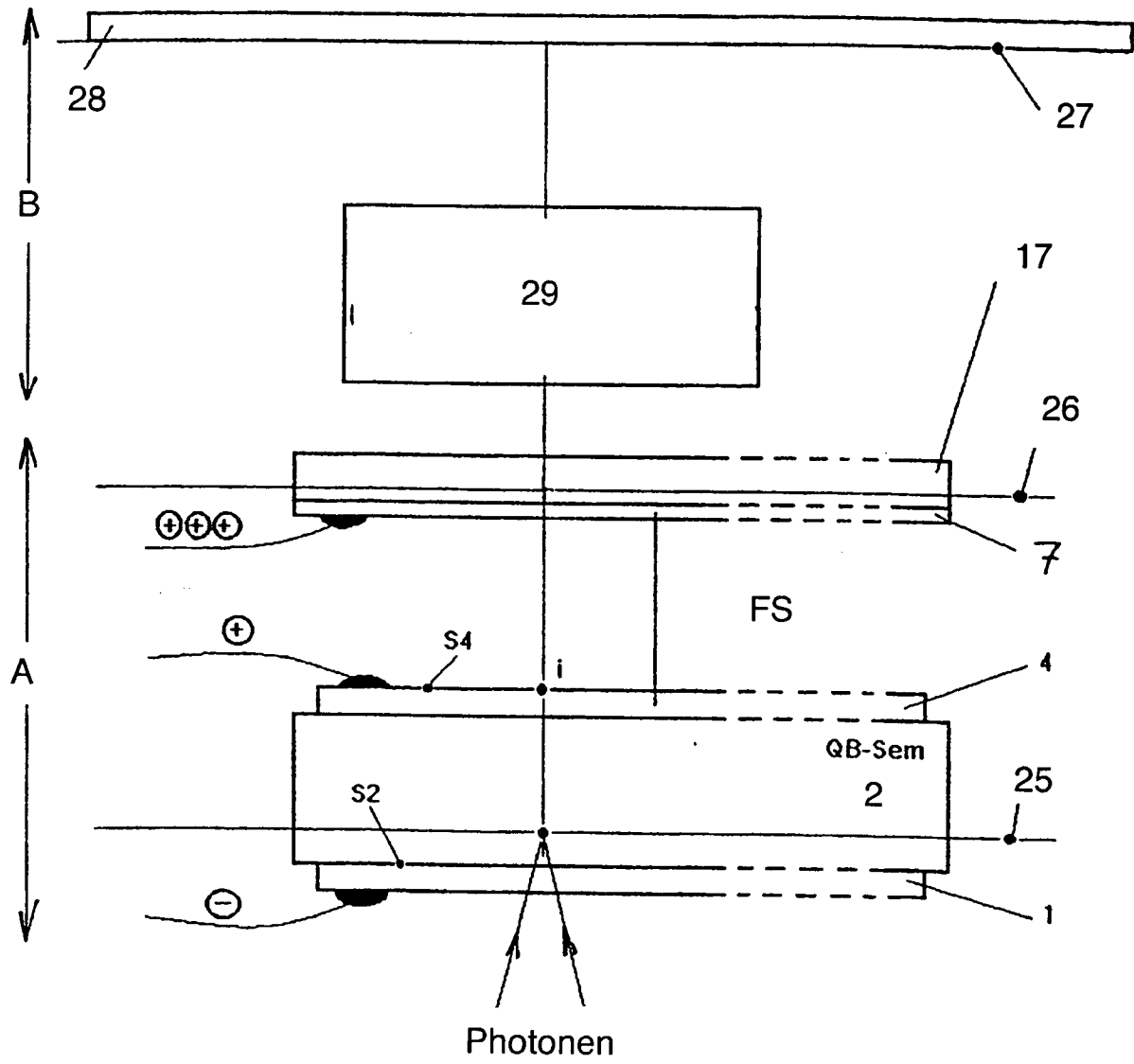
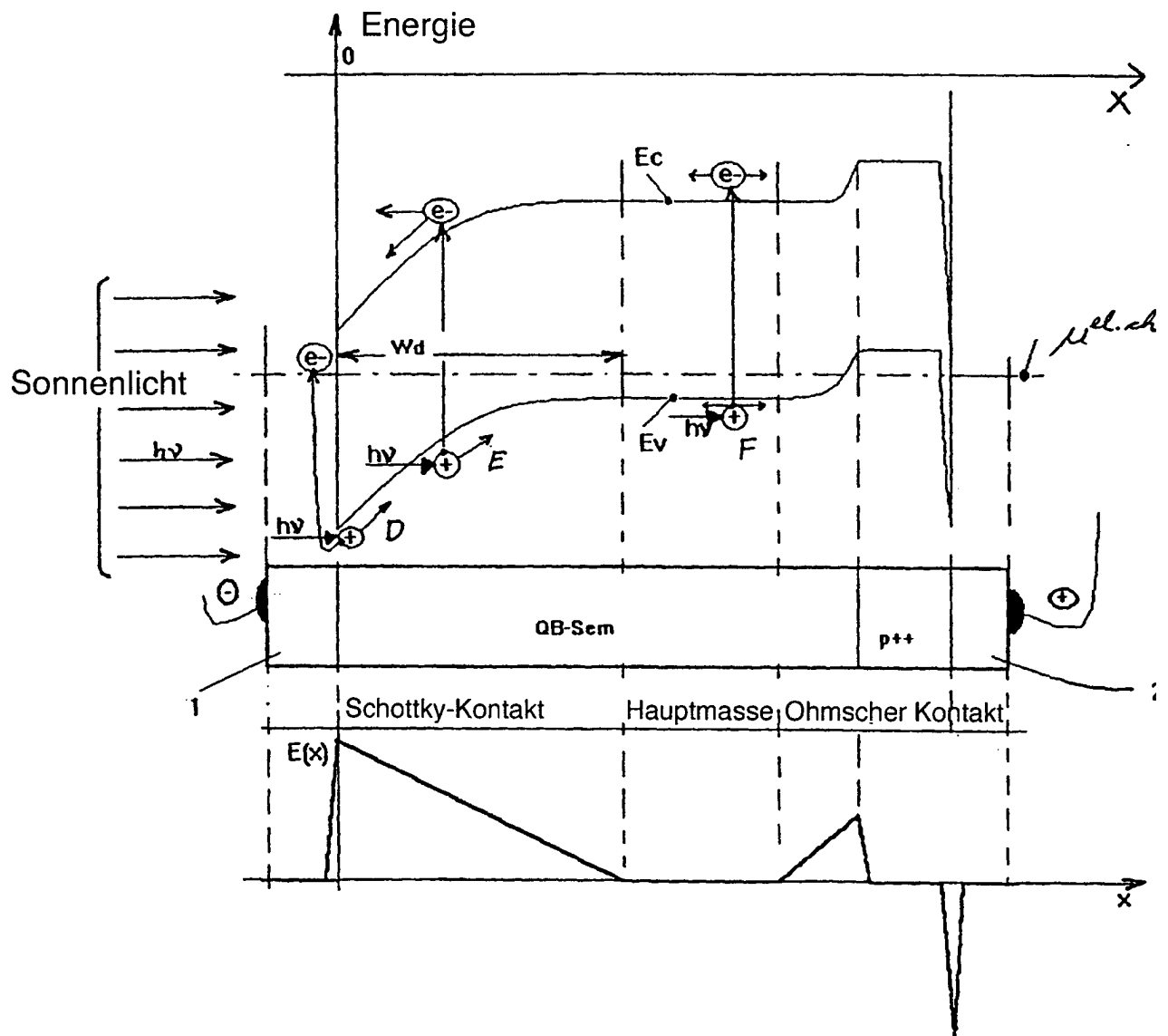


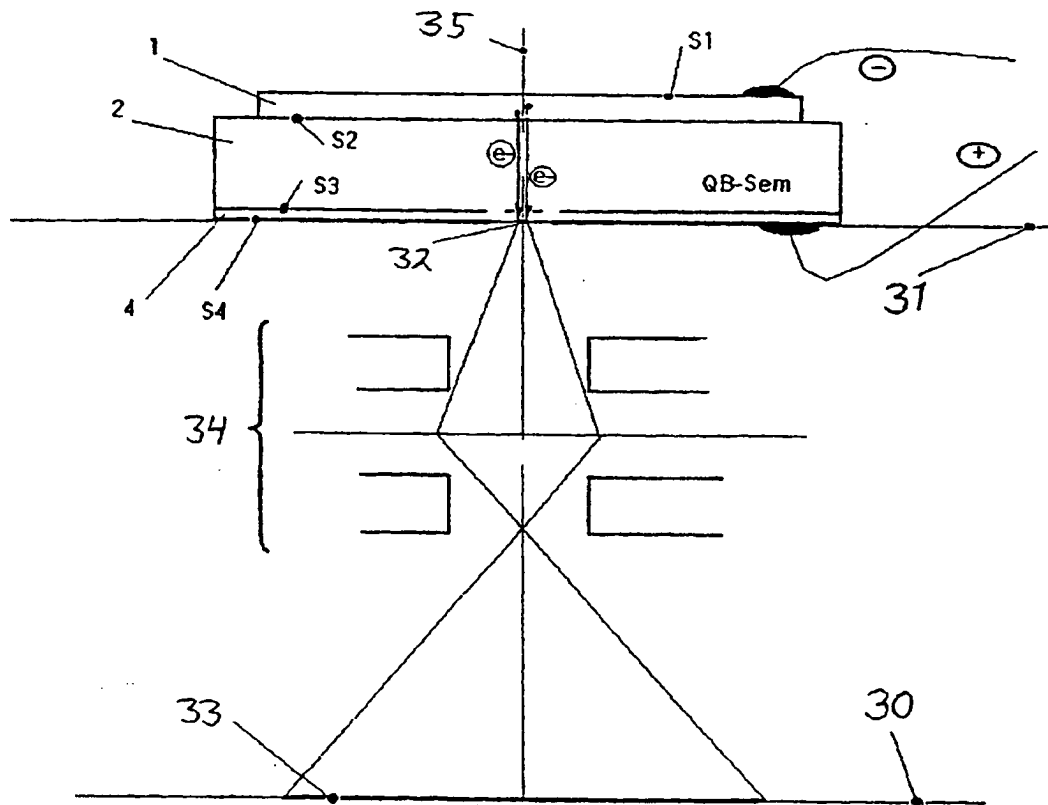
Fig. 21



**Fig. 22**



**Fig. 23**



**Fig. 24**