



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 36 177 T2** 2007.08.23

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 899 796 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 36 177.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 306 936.0**

(96) Europäischer Anmeldetag: **28.08.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **03.03.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **18.10.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **23.08.2007**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 33/00** (2006.01)

H01L 27/15 (2006.01)

H01L 31/12 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

23428497 **29.08.1997** **JP**

17827898 **25.06.1998** **JP**

(73) Patentinhaber:

Toshiba Corp., Kawasaki, Kanagawa, JP

(74) Vertreter:

HOFFMANN & EITLE, 81925 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

Fujita, Shinobu, Minato-ku Tokyo 105, JP; Kurobe,

Atsushi, Minato-ku Tokyo 105, JP

(54) Bezeichnung: **Lichtemittierende Halbleitervorrichtung, die Nanokristalle enthält**

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

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein Halbleitervorrichtungen und spezifischer Halbleitervorrichtungen, bei denen Halbleiter der Gruppe IV für die Lichtemission auf Aufbringen einer Spannung darauf verwendet werden.

[0002] Herkömmlicherweise werden lichtemittierende Halbleitervorrichtungen aus ausgewählten Materialien unter Anwendung von Halbleitern der Verbindungen der Spalten III–V hergestellt, die Arsenid (As) und Phosphor (P) umfassen. Jedoch sind die meisten Halbleitervorrichtungen für die typische Verwendung bei zentralen Prozessoreinheiten (ZPU) und Speichern so konstruiert, dass Silicium (Si) verwendet wird, was es wiederum schwierig macht, die lichtemittierenden Halbleitervorrichtungen monolithisch auf einem Si-Substrat zusammen mit einer ZPU und Speichern herzustellen. Auch besteht, da Si-Substrate billig sind, die Notwendigkeit der Entwicklung von lichtemittierenden Elementen, die auf einem Si-Substrat ausgeführt sind, das als Grundplatte verwendet wird.

[0003] Jedoch ist Si ein Halbleiter vom indirekten Übergangstyp, der eine geringe Lichtemissionseffizienz aufweist. Dies führt zu einer ungenügenden Lichtemission bei lichtemittierenden Halbleiterelementen, wobei die pn-Verbindung von Si einfach auf einem Si-Substrat gebildet wird.

[0004] Im Gegensatz dazu umfassen diejenigen Materialien, die auf Si-Substraten herstellbar sind, Silicium-Germanium (SiGe). Obwohl weiterhin Studien durchgeführt werden, während erwartet wird, dass SiGe vom direkten Übergangstyp ist, sind Vorrichtungen mit erhöhter Leuchteffizienz noch nicht entwickelt worden.

[0005] Poröses Si, das durch Ätzen der Oberfläche eines Si-Substrats mit Poren gefüllt ist, könnte bei Raumtemperaturen eine starke Fotolumineszenz-Lichtemission aufweisen. Jedoch ist die Leuchteffizienz im Vergleich mit der Menge der Strominjizierung relativ gering und von unbeständiger Charakteristik. Aus diesem Grund ist poröses Si in der Praxis nicht erfolgreich eingeführt worden.

[0006] Die Erreichbarkeit einer optisch gepumpten Lichtemission (Fotolumineszenzemission) ist bei X. Zhao et al., Japanese Journal of Applied Physics, Band 33, L649 (1994) besprochen worden. Dieses Dokument offenbart, dass eine relativ starke Fotolumineszenz in Bereichen des Spektrums von Ultraviolettstrahlen zu Blaulicht bei Raumtemperaturen aus Si-Mikrokristallen eines Durchmessers von 5 Nanometern (nm) oder weniger beobachtbar ist, die durch Erhitzen von amorphem Si hergestellt worden sind.

[0007] Ein anderer Bericht (Z.H. Lu et al., Nature, Band 378, 258 (1995)) zeigt, dass eine relativ starke Fotolumineszenzemission aus einer Supergitterstruktur bei Raumtemperatur beobachtet wurde. Die Struktur wurde durch abwechselndes Wachstum von amorphem Si einer Dicke von mehreren Nanometern und Si-Oxidfilmen gebildet.

[0008] Leider bieten die vorher bekannten Ansätze nur Vorrichtungsstrukturen mit ausschließlich einer Fotolumineszenzemissionsfähigkeit. Diese Strukturen bleiben unfähig, Licht durch Strominjizierung zu emittieren und es fehlt ihnen daher eine elektrische Regulierbarkeit.

[0009] Eine beispielhafte Lichtemissionsvorrichtung ist in einem Dokument, K. Chen et al., J. Non-Cryst. Solids, 198, 833 (1996) offenbart. Die offenbarte Vorrichtung wurde durch Bilden eines mehrschichtigen Supergitters mit einer Lamination von amorphen Si-Dünnschichten und nitrierten Si-Dünnschichten, Erhitzen des Laminats zur teilweisen Kristallisation und daraufhin einfaches Bereitstellen von Elektroden darauf erhalten. Bei diesem Ansatz stößt man auf zwei Probleme. Die Leuchteffizienz ist aufgrund einer steigenden Abweichung der Größe und Dichte von Mikrokristallen gering, weil eine gleichförmige Wärmeeufbringung unter Anwendung von Laserwärmeverarbeitung unerreichbar ist. Ein anderes Problem besteht darin, dass die Vorrichtung die Verwendung von Spannungen von hohem Potential wie beispielsweise 25 Volt oder mehr erforderlich macht, weil das mehrschichtige Laminat eine Dicke von 200 nm oder mehr aufweist.

[0010] Noch ein weiteres Beispiel einer lichtemittierenden Vorrichtung ist in der veröffentlichten japanischen Patentanmeldung Nr. 5-218499 (JP-A-S-218499) offenbart. Diese Vorrichtung ist so konstruiert, dass sie eine Lichtemission durch örtliches Verbessern des Quantum-Confinement-Effekts durch Verwendung von Si vom p-Typ und Si vom n-Typ bietet, die miteinander in Kontakt stehen, eines Größenmaßstabs von mehreren Nanometern. Ein weiteres Beispiel des Stands der Technik ist in der JP-A-6-140669 offenbart, wobei mit Verunreinigungen vom p- und n-Typ dotierte Schichten mit feinen Linien einer Breite von etwa 10 nm oder schmaler (Quantenmikrolinien) Seite an Seite miteinander in Kontakt stehen, was erlaubt, Löcher und Elektronen aus den Regionen jeweils vom p- und n-Typ zur Rekombination an einem Verbindungsabschnitt zu injizieren, was zur Emission von Lichtstrahlen (Elektrolumineszenz) führt.

[0011] Die oben angegebenen Ansätze des Stands der Technik sind inhärent darauf gerichtet, die Heteroverbindungsstruktur mit Halbleitermikrolinien bereitzustellen, die direkt mit anderen Halbleiterschichten kontaktiert werden. Ein mit diesem Typ von Struk-

tur assoziiertes Problem besteht darin, dass die umgebenden Halbleiterabschnitte einen wesentlich größeren Bandabstand aufweisen als die Halbleiterabschnitte. Dadurch wird es sehr schwierig gemacht, Elektronen und Löcher effizient in den Verbindungsabschnitt zu injizieren. Selbst dort, wo die Elektronen und Löcher injiziert werden können, können diese nach außen auslaufen, was zu einer ungenügenden Leuchteffizienz führt.

[0012] Wie oben beschrieben erreichen die lichtemittierenden Halbleitervorrichtungen des Stands der Technik auf der Basis von Si keine ausreichende Lichtemissionseffizienz.

[0013] Shcheglov et al, „Electroluminescence and photoluminescence of Ge implanted Si/SiO₂/Si structures (Elektrolumineszenz und Fotolumineszenz von Ge-implantierten Si/SiO₂/Si-Strukturen)“, Appl. Phys. Lett 66 Seiten 745 bis 747 (1995) beschreiben eine Elektrolumineszenzvorrichtung, die unter Anwendung eines, dicken (z.B. 70 nm dicken) SiO₂-Films, der Ge-Nanokristalle enthält, hergestellt worden ist. Die Vorrichtung gibt Strahlung ab, wenn sie im Umkehrvorspannungs-Versagungsmodus betrieben wird.

[0014] WO 96/30951 betrifft eine mit Silicium verträgliche, lichtemittierende oder -erfassende Vorrichtung umfassend mehrere Quantenpunkte, wobei jeder Quantenpunkt mehrere abwechselnde Silicium- und Silicium-Germaniumschichten umfasst. Die Regionen zwischen den Quantenpunkten sind mit dielektrischem Material gefüllt.

[0015] JP 8 307 011 betrifft ein lichtemittierendes Element, das mehrere Siliciummikrokristalle umfasst, die unter Anwendung des CVD-Verfahrens gebildet worden sind.

[0016] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht deshalb darin, eine neue und verbesserte Halbleitervorrichtung unter Anwendung von Si mit einer erhöhten Lichtemissionseffizienz bereitzustellen.

[0017] Eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine verbesserte Halbleitervorrichtung auf der Basis von Si bereitzustellen, die in der Lage ist, die Lichtemission elektrisch zu regulieren.

[0018] In einer ersten Ausgestaltung bietet die vorliegende Erfindung eine Halbleitervorrichtung umfassend eine erste leitfähige Schicht; eine zweite leitfähige Schicht; eine mikrokristalline Halbleiterschicht, die zwischen den ersten und zweiten leitfähigen Schichten eingebracht ist, wobei die mikrokristalline Halbleiterschicht Halbleitermikrokristalle und einen isolierenden oder dielektrischen Film umfasst, wobei der Film jedes Mikrokristall derart umgibt, dass die

Mikrokristalle in dem Film eingebettet sind, wobei die ersten und zweiten leitfähigen Schichten entweder: Halbleiterschichten der Gruppe IV mit entgegengesetzten Polaritäten sind; oder eine der ersten oder zweiten leitfähigen Schichten ein Halbleiter vom n-Typ oder p-Typ der Gruppe IV ist und die andere leitfähige Schicht eine Metallschicht ist; und wobei die Halbleitermikrokristalle Silicium umfassen und eine Größe von weniger als oder gleich 10 nm derart besitzen, dass sie einen Quantum-Confinement-Effekt aufweisen und der Film, der jedes Mikrokristall umgibt, dünn genug ist, um es Elektronen und Löchern auf das Aufbringen einer Spannung zwischen den ersten und zweiten leitfähigen Schichten hin zu erlauben, sich durch den Film zur Injizierung in die Halbleitermikrokristalle zu tunneln, derart, dass die Elektronen und Löcher für die Lichtemission erneut miteinander kombiniert werden.

[0019] Einer anderen bevorzugten Ausführungsform gemäß umfasst einer der Halbleiter der Gruppe IV vom p- oder n-Typ Silicium.

[0020] Die mikrokristalline Halbleiterschicht kann Löcher in einem Volumen enthalten, das gleich oder weniger als fünf Prozent des Volumens der Schicht ist.

[0021] Einer weiteren bevorzugten Ausführungsform gemäß wird eine Halbleitervorrichtung bereitgestellt, die als ihre lichtemittierende Schicht mehrere mikrokristalline Halbleiterschichten enthält. Jede Schicht ist der mikrokristallinen Halbleiterschicht äquivalent, wobei eine Gesamtdicke der Mikrokristallschichten 80 nm oder weniger beträgt.

[0022] In einer zweiten Ausgestaltung bietet die vorliegende Erfindung eine Halbleitervorrichtung umfassend eine erste leitfähige Schicht; eine zweite leitfähige Schicht; und eine Halbleiterfeinlinienschicht, die zwischen den ersten und zweiten leitfähigen Schichten eingebracht ist, wobei die Halbleiterfeinlinienschicht mindestens zwei Halbleiterfeinlinien und einen isolierenden oder dielektrischen Film umfasst, der eine Resistivität aufweist, die höher ist als diejenige der Halbleiterfeinlinien, wobei der Film jede der Halbleiterfeinlinien mit einer Filmdicke derart umgibt, dass jede der feinen Linien in dem Film eingebettet sind, wobei die ersten und zweiten leitfähigen Schichten entweder: Halbleiterschichten der Gruppe IV mit entgegengesetzten Polaritäten sind; oder eine der ersten oder zweiten leitfähigen Schichten ein Halbleiter vom n-Typ oder p-Typ der Gruppe IV ist und die andere leitfähige Schicht eine Metallschicht ist; und wobei die mindestens zwei Halbleiterfeinlinien Längs- und Querdimensionen von weniger als oder gleich 10 nm derart besitzen, dass sie einen Quantum-Confinement-Effekt aufweisen, wobei der Film, der jede Halbleiterfeinlinie umgibt, dünn genug ist, um es Elektronen und Löchern auf das Aufbringen ei-

ner Spannung zwischen den ersten und zweiten leitfähigen Schichten hin zu erlauben, sich durch den isolierenden Film zur Injizierung in die Halbleiterfeinlinien zu tunnelt zum erneuten Kombinieren darin für die Lichtemission, wobei die Halbleiterfeinlinien Silicium umfassen.

[0023] Die Halbleitervorrichtung kann eine Lichtemissionsschicht mit mehreren Halbleiterfeinliniensichten enthalten, wobei jede der Halbleiterfeinliniensicht äquivalent ist und eine Gesamtdicke von 80 nm oder weniger aufweist.

[0024] Die Halbleiterschicht der Gruppe IV kann Silicium umfassen.

[0025] In einer dritten Ausgestaltung bietet die vorliegende Erfindung eine Halbleitervorrichtung umfassend eine erste leitfähige Schicht (**31, 103, 127**); eine zweite leitfähige Schicht (**34, 105, 129**); und eine mehrschichtige Halbleiterstruktur (**104, 128**), die zwischen den ersten und zweiten leitfähigen Schichten eingebracht ist; wobei die Struktur eine abwechselnde Lamination mehrerer Halbleiterschichten (**32**) der zweiten Gruppe IV und mehrere isolierende oder dielektrische Filme (**33**) umfasst, wobei jede der Halbleiterschichten (**32**) der zweiten Gruppe IV eine Dicke von weniger oder gleich 10 Nanometern aufweist, wobei jeder Film (**33**) eine Dicke aufweist, die weniger oder gleich 5 Nanometern ist, wobei die abwechselnde Lamination von Schichten eine Dicke von weniger als oder gleich 80 Nanometern aufweist, wobei die ersten (**31, 103, 127**) und zweiten (**134, 105, 129**) leitfähigen Schichten entweder-Halbleiterschichten der Gruppe IV mit entgegengesetzten Polaritäten sind; oder eine der ersten (**31, 103, 127**) oder zweiten (**34, 105, 129**) leitfähigen Schichten ein Halbleiter vom n-Typ oder p-Typ der Gruppe IV ist und die andere leitfähige Schicht eine Metallschicht ist; wobei auf das Aufbringen einer Spannung zwischen den ersten (**31, 103, 127**) und zweiten (**34, 105, 129**) leitfähigen Schichten hin Elektronen und Löcher sich durch die Filme (**33**), die eine hohe Resistivität aufweisen, hindurchtunnelt zur Injizierung in die Halbleiterschichten (**32**) der zweiten Gruppe IV zur Rekombination der Elektronen und Löcher für die Emission von Licht und wobei die Halbleiterschichten der zweiten Gruppe IV Silicium umfassen.

[0026] Bei einer bevorzugten Ausführungsform werden eine Halbleitervorrichtung, die ein Lichtaufnahmeelement enthält, das aus Halbleiter der Gruppe IV hergestellt ist, und irgendeine der oben beschriebenen Halbleitervorrichtungen auf dem gleichen Halbleitersubstrat bereitgestellt.

[0027] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform werden eine Halbleitervorrichtung, die eine integrierte Schaltung mit Transistoren, die aus Halbleitern der Gruppe IV hergestellt sind, Wider-

stände und Kondensatoren, ein Lichtaufnahmeelement, das aus Halbleiter der Gruppe IV hergestellt ist und irgendeine der obigen Halbleitervorrichtungen auf demselben Halbleitersubstrat bereitgestellt.

[0028] [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) sind Querschnittsdiagramme, die Halbleitervorrichtungen der jeweiligen ersten bis vierten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

[0029] [Fig. 5](#) veranschaulicht in einer Querschnittsansicht eine Halbleiteranzeigetafel gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0030] [Fig. 6](#) zeigt eine vergrößerte Schnittansicht eines Lichtemissionselements der in [Fig. 5](#) gezeigten Anzeigetafel.

[0031] [Fig. 7](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer Halbleitervorrichtung gemäß einer sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0032] [Fig. 8](#) ist eine perspektivische Ansicht der Halbleitervorrichtung, die in [Fig. 7](#) gezeigt ist.

[0033] [Fig. 9](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer Halbleitervorrichtung einer siebten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gemäß.

[0034] [Fig. 10](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer Halbleitervorrichtung einer achten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gemäß.

[0035] [Fig. 11](#) zeigt eine Draufsicht der Halbleitervorrichtung aus [Fig. 10](#).

[0036] [Fig. 12](#) ist eine Querschnittsansicht einer Halbleitervorrichtung einer neunten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gemäß.

[0037] [Fig. 13](#) ist eine bildliche Querschnittsdarstellung einer Schnittstruktur einer Lichtemissionsschicht, die mehrere Mikrokristalle enthält, die die vorliegende Erfindung verkörpern.

[0038] [Fig. 14](#) ist eine Querschnittsansicht von porösem Silicium des Stands der Technik.

[0039] [Fig. 15](#) ist eine grafische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen einer Anschaltspannung und Lichtintensität in Abhängigkeit von einer Gesamtfilmdicke in einer Halbleitervorrichtung zeigt, die die vorliegende Erfindung verkörpert.

[0040] [Fig. 16](#) zeigt im Querschnitt eine Halbleitervorrichtung gemäß einer zehnten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0041] [Fig. 17](#) ist eine grafische Darstellung, die den Zusammenhang zwischen der Wellenlänge in

Abhängigkeit von der Intensität von emittiertem Licht in einer Halbleitervorrichtung, die in [Fig. 16](#) gezeigt ist, zeigt.

[0042] Die vorliegende Erfindung ist dargestellt, indem eine lichtemittierende Schicht so strukturiert ist, dass sie einen dünnen dielektrischen Film (oder einen Hochresistivitätsfilm) enthält, der Halbleitermikrokristalle der Gruppe IV umgibt oder „umwickelt“, die im Wesentlichen aus denjenigen Kristallen einer Größe von 10 nm oder weniger mit einer Fähigkeit bestehen, den Quantum-Confinement-Effekt (die Wirkung des Erlaubens von Quantum-Confinement-Erhöhen mit abnehmender Größe) aufzuweisen. Eine andere Charakteristik der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass eine Struktur mit Halbleitermikrokristallen der Gruppe IV entweder in einer dielektrischen Schicht oder einer Hochresistivitätsschicht eingegraben ist. Noch eine weitere Charakteristik der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass diese lichtemittierende Schicht zwischen Halbleitern vom p- und n-Typ eingebracht ist, um zu erlauben, dass auf das Aufbringen einer Spannung dazwischen, Löcher und Elektronen in den dünnen dielektrischen Film durch Tunnelwirkung zum Injizieren in die Halbleitermikrokristalle eindringen, wodurch die Emission von Licht durch Rekombination hervorgerufen wird. Das kann eine Leuchteffizienz ergeben, die über diejenige lichtemittierender Vorrichtungen des Stands der Technik hinausgeht.

[0043] Ebenfalls der vorliegenden Erfindung gemäß kann die Lichtemissionsschicht sich zwischen einem Metallfilm und einem Halbleiter vom p-Typ oder alternativ zwischen einem Metallfilm und einem Halbleiter vom n-Typ befinden.

[0044] Des Weiteren ist die Lichtemissionsschicht erfindungsgemäß so strukturiert, dass ein dünner dielektrischer Film (Oxidfilm oder Nitritfilm) die Si-Mikrokristalle, die typischerweise eine Größe von 10 nm oder weniger aufweisen, umgibt, was die Verbesserung des Quantum-Confinement-Effekts erlaubt und es dadurch ermöglicht, dass dieser Teil in einen pseudodirekten Halbleiter vom Übergangstyp umgewandelt wird, so dass sich die Leuchteffizienz erhöht.

[0045] Des Weiteren erlaubt die Verwendung der Struktur, bei der die Lichtemissionsschicht sich zwischen den Halbleitern vom p- und n-Typ befindet, der Struktur, bei der sich die Emissionsschicht zwischen dem Metall und dem Halbleiter vom p-Typ befindet oder der Struktur, bei der die Schicht sich zwischen dem Metall und dem Halbleiter vom n-Typ befindet, Löchern und Elektronen auf das Anschalten der Vorrichtung hin effizient in die Halbleitermikrokristalle injiziert zu werden, wodurch es ermöglicht wird, dass die beabsichtigte Rekombination nur am Mikrostrukturabschnitt stattfindet, was es wiederum ermöglicht, die Leuchteffizienz zu erhöhen. Gleichzeitig ist es

möglich, die Emission von Licht elektrisch zu regulieren.

[0046] Die vorliegende Erfindung ist auch dazu fähig, zu verursachen, dass die Lichtemissionswellenlänge je nach der Größe der Halbleitermikrokristalle variiert oder sich ändert. Das ermöglicht es, die Wellenlänge von emittiertem Licht durch geeignetes Einstellen der Größe derartiger Mikrokristalle zu regulieren.

[0047] Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass eine starke Lichtemission bei niedrigen Spannungspotentialen erreichbar ist. Das lässt sich deshalb sagen, weil zusätzliche Spannungen nicht mehr erforderlich sind, weil die Mikrokristallschicht, deren fester Teil eine Füllichte von 95 % oder mehr (im Wesentlichen 100 %) aufweist, weiterhin eine geringe Resistivität im Vergleich mit porösem Silicium aufweist, das aufgrund des Einschließens von Poren darin eine hohe Resistivität aufweist.

[0048] [Fig. 13](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer typischen Form der lichtemittierenden Vorrichtung, bei der das Prinzip der vorliegenden Erfindung ausgeführt ist. Wie gezeigt, weist die Struktur Halbleitermikrokristalle **1307** auf, die in einer Hochresistivitäts- oder dielektrischen Schicht **1302** eingegraben sind.

[0049] [Fig. 14](#) zeigt eine Querschnittsansicht eines porösen Siliciums des Stands der Technik. Das in [Fig. 14](#) gezeigte poröse Silicium ist so strukturiert, dass eine Halbleiterschicht **1401** geätzt wird, was zur Bildung einer erhöhten Anzahl von Poren **1402** darin führt.

[0050] Ein noch weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht aus der Möglichkeit, eine monolithische siliciumfunktionelle Vorrichtung herzustellen, die von dem integralen Bilden der vorgeschriebenen lichtemittierenden Halbleitervorrichtung zusammen mit anderen Halbleitervorrichtungskomponenten auf der Basis von Silicium einschließlich, jedoch nicht darauf beschränkt, Speicher und ZPU auf dem gleichen Siliciumsubstrat herrührt.

[0051] Mehrere bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden im Einzelnen unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben. Man sollte jedoch beachten, dass die Erfindung nicht ausschließlich auf die veranschaulichenden Ausführungsformen beschränkt sein sollte und in einer Vielfalt von Modifikationsformen in der Praxis durchgeführt werden kann.

Erste Ausführungsform

[0052] Unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) wird nun eine Querschnittsansicht einer lichtemittierenden Elektrolumineszenz-Halbleitervorrichtung einer ersten Aus-

führungsform der vorliegenden Erfindung gemäß gezeigt.

[0053] Wie gezeigt, weist ein Substrat **11** aus Silicium (Si) vom p-Typ eine obere Fläche auf, auf der eine Halbleitermikrokristallschicht **14** gebildet ist. Die Halbleitermikrokristallschicht **14** umfasst einen dielektrischen Film **13** und extrafeine Si-Mikrokristalle **12**, die in den dielektrischen Film **13** „eingegraben“ sind. Der dielektrische Film **13** kann beispielsweise aus SiO_2 hergestellt sein. Eine Schicht polykristallines Silicium (Poly-Si) vom n-Typ **15** wird auf der Halbleiter-Mikrokristallschicht **14** gebildet. Eine transparente Elektrode **16** wird auf der Schicht von Poly-Si vom n-Typ **15** gebildet. Eine Elektrode **17** wird auf der unteren Fläche des Si-Substrats vom p-Typ **11** gebildet, wodurch die Struktur der Halbleitervorrichtung, die eine erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verkörpert, fertiggestellt wird.

[0054] Eine Herstellungsmethode der in [Fig. 1](#) gezeigten Halbleitervorrichtung wird nun erklärt.

[0055] Zuerst wird ein thermischer Oxidfilm durch Oxidationstechniken auf der Oberfläche des Substrats von Si vom p-Typ **11** bis zu einer vorbestimmten Dicke von beispielsweise 1 Nanometer (nm) gebildet. Die angewendete Oxidation kann eine thermische Oxidation des Substrats in einem Sauerstoffgas – bevorzugt eine trockene Oxidation – sein. Daraufhin wird die dabei gebildete Struktur einem chemischen Aufdampf- (CVD-) Vorgang unter Anwendung von Disilan als Rohmaterialgas bei einem Druck von beispielsweise 133,3 Pa (1 Torr) unterworfen, was den Si-Mikrokristallen **12** erlaubt, auf dem Oxidfilm bei einer Temperatur von 700°C zwei Minuten lang zu wachsen. Die dabei gebildeten Si-Mikrokristalle **12** weisen einen Korndurchmesser oder eine Größe von etwa 5 nm auf. Als nächstes wird die Struktur nochmals in einem Sauerstoffgas bei einer Temperatur von 750°C oxidiert, um eine Oxidation von 1 nm des Teils der Struktur um die Mikrokristalle **12** herum zu erreichen. Auf diese Weise wird die Halbleiter-Mikrokristallschicht **14** so hergestellt, dass der SiO_2 -Film **13** sich auf der Oberfläche der Schicht **14** befindet.

[0056] Als nächstes werden sowohl Si als auch geringere Mengen an Arsenid (As) Dotiermittel gleichzeitig auf der Halbleiter-Mikrokristallschicht **14** abgesetzt, während das Substrat **11** auf eine Temperatur von 550°C eingestellt wird, um die Schicht von Poly-Si vom n-Typ **15** bis auf eine Dicke von beispielsweise mehreren hundert Nanometern wachsen zu lassen. Die Dicke dieses Poly-Si vom n-Typ wird sorgfältig bestimmt, um sicherzustellen, dass die Leuchteffizienz insignifikant reduziert wird.

[0057] Des Weiteren wird eine transparente Elektrode **16** durch Aufdampfen auf der Schicht **15** von Poly-Si vom n-Typ, die auf dem Substrat **11** aufliegt, ge-

bildet. Beispielsweise kann die Elektrode **16** aus Indiumzinnoxid (ITO) hergestellt sein. Eine Metallelektrode **17** wird auf die untere Fläche des Substrats **11** aufgedampft, wodurch eine PIN-Verbindungsdiodenstruktur fertiggestellt wird.

[0058] Nach Aufbringen einer Vorwärts-Vorspannung auf die so hergestellte PIN-Diode „tunneln“ Elektronen und Löcher durch den dielektrischen Film **13**, um in die Si-Mikrokristalle **12** injiziert zu werden, die in den dielektrischen Film **13** eingegraben sind, was zur Rekombination von Löchern und Elektronen in diesem Teil führt. Im Falle dieser Struktur umfasst die Wellenlänge des emittierten Lichts Regionen des Spektrums, die von Infrarot zu Rotlicht reichen.

[0059] Als Alternative neigen selbst auf das Aufbringen einer Umkehrvorspannung auf die PIN-Diode, solange das Potential der Vorspannung ausreichend stärker ist, Elektronen und Träger dazu, eine hohe elektrostatische potentielle Energie für das Tunneln durch den Oxidfilm von der Schicht vom p-Typ und der Schicht vom n-Typ auf eine Art und Weise aufzuweisen, die zu der im Falle der Vorwärtsvorspannung umgekehrt ist. Aus diesem Grund hat es sich erwiesen, dass das Aufbringen von Umkehr-Vorspannungen auch das Injizieren von Elektronen und Löchern in die Si-Mikrokristalle **12** für ihre Rekombination und die dabei entstehende Lichtemission erlaubt.

[0060] Bei der veranschaulichenden Ausführungsform ist die Effizienz der Elektronen-/Lochinjizierung etwas reduziert, weil die Energielücke der Si-Mikrokristalle **12** größer ist als die Bandlücke des Siliciumsubstrats vom p-Typ **11** und der Schicht aus Polysilicium vom n-Typ **15**. Um dies zu verbessern, kann eine Struktur gebildet werden, bei der die Siliciumschichten vom p- und n-Typ durch kristalline Siliciumcarbid-(SiC-) (oder amorphe) Schichten ersetzt werden. Dieser Ersatz kann erfolgen, weil SiC eine größere Bandlücke aufweist als Si, was eine effiziente Injizierung von Elektronen und Löchern ermöglicht. Diese Wirksamkeit kann auch bei anderen später noch beschriebenen Ausführungsformen angewendet werden. Außerdem werden ähnliche Wirkungen und Vorteile bei Vorrichtungsstrukturen erwartet, die unter Anwendung dieser Mikrokristalle außer dem reinen Si, einschließlich SiC oder SiGe hergestellt werden. Derartige Mikrokristalle lassen sich unter Anwendung zur Zeit verfügbarer CVD-Techniken herstellen.

[0061] Es ist zu bemerken, dass die PIN-Verbindungslichtemissionsdiode, die die vorliegende Erfindung verkörpert, in der Lage ist, ohne Weiteres eine Emission von Lichtstrahlen nach außen von den Seitenwänden der Vorrichtung zu bieten. Eine derartige Emission nach außen wird effizienzmäßig noch weiter dadurch erhöht, dass die Schicht, die über der Lichtemissionsschicht **14** (z.B. Schicht aus Poly-Sili-

cium vom n-Typ **15** in der veranschaulichenden Ausführungsform) liegt, dünn gemacht wird oder alternativ durch Anwendung ausgewählter Materialien, bei denen die optische Absorptionskante kürzer als die Wellenlänge von emittierten Lichtstrahlen ist. Man beachte auch, dass bei der Ausführungsform die Si-Mikrokristalle **12** durch CVD-Züchtungstechniken gebildet und dann einer thermischen Verarbeitung unterworfen werden zum Oxidieren der Oberfläche derselben unter Anwendung thermischer Trockenoxidationstechniken, wodurch der mikrokristallinen Halbleiterschicht **14** eine erhöhte Dichte verliehen wird.

Zweite Ausführungsform

[0062] [Fig. 2](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer lichtemittierenden Dioden-(LED-) Struktur einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gemäß.

[0063] Wie in [Fig. 2](#) gezeigt, weist ein Si-Substrat vom n-Typ **21** auf einer oberen Fläche eine mikrokristalline Halbleiterschicht **24** auf, die einen dielektrischen Film **23** und mehrere Si-Mikrokristalle **22** enthält, die in den dielektrischen Film **23** eingegraben sind. Der dielektrische Film **23** kann beispielsweise aus SiO_2 hergestellt sein. Die mikrokristalline Schicht **24** besitzt eine Oberfläche, auf der eine amorphe Siliciumschicht vom p-Typ **25** gebildet ist. Eine transparente Elektrode **26** wird auf der amorphen Siliciumschicht **25** gebildet. Eine Elektrode **27** wird an der unteren Fläche des Si-Substrats vom n-Typ **21** gebildet, wodurch die Halbleiter-LED-Struktur, die die zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verkörpert, fertiggestellt wird.

[0064] Ein Herstellungsverfahren für die Vorrichtung von [Fig. 2](#) ist wie folgt.

[0065] Zuerst wird das Si-Substrat vom n-Typ **21** auf einen Auflagetisch in einem Molekularstrahlepitaxie-(MBE-) Apparat, der verwendet wird, aufgebracht; dann wird amorphes Silicium bis zu einer Dicke von 10 nm gezüchtet, während das Substrat **21** bei Raumtemperatur gehalten wird. Daraufhin erfolgt das thermische Bearbeiten in der Sauerstoffgasatmosphäre zehn Minuten lang bei 500°C , wobei die Si-Mikrokristalle **22** einer Korngröße von mehreren Nanometern innerhalb des Siliciumoxidfilms gebildet werden. Die Korngröße derartiger Si-Mikrokristalle **22** ist durch Einstellen der Erhitzungszeitspanne gut regulierbar. So wird der dielektrische Film **23** so gebildet, dass er die Si-Mikrokristalle **22** umgibt oder „umwickelt“, wodurch die mikrokristalline Halbleiterschicht **24** gebildet wird.

[0066] Daraufhin werden sowohl Si- als auch Bor-(B) Dotiermittel gleichzeitig an die obere Fläche der mikrokristallinen Halbleiterschicht **24** geführt, wo-

durch gestattet wird, dass eine amorphe Siliciumschicht vom p-Typ **25** darauf bis zu einer Dicke von mehreren hundert Nanometern wächst. Wenn Lichtstrahlen aus der Oberfläche der dabei entstehenden Vorrichtungsstruktur entnommen werden sollen, kann durch Unterdrücken der optischen Absorption am amorphen Silicium das Durchlassvermögen erhöht werden. Das lässt sich durch Wasserstoffterminierung einer herunterbaumelnden Bindung von Silicium, die sich innerhalb der amorphen Schicht befindet, durch thermisches Bearbeiten der amorphen Siliciumschicht vom p-Typ **25** in einem Wasserstoffgas erreichen.

[0067] Als Nächstes werden die transparente Elektrode **26** und die Metallelektrode **27** auf ähnliche Weise wie bei der Ausführungsform von [Fig. 1](#) gebildet, wodurch die beabsichtigte Struktur der LED, die die zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ebenfalls verkörpert, fertiggestellt wird.

[0068] Der Betrieb dieser LED ist wie folgt. Auf Aufbringen einer Vorwärts-Vorspannung darauf Tunneln Löcher und Elektronen, die aus den Elektroden injiziert worden sind, durch den dünnen SiO_2 -Film **23** zum Injizieren in die Si-Mikrokristalle **22** zum Rekombinieren, das zur Emission von Licht führt. Die Wellenlänge von emittiertem Licht ist je nach der Kristallgröße oder -dimension bestimmbar. Ein Beispiel besteht darin, dass sichtbares Rotlicht aus denjenigen Si-Mikrokristallen emittierbar ist, die eine Korngröße von 3 nm aufweisen. Bei dieser LED-Struktur ist auch eine sichtbare Lichtemission selbst nach Anwendung einer Umkehrvorspannung, wie in der oben angegebenen Ausführungsform von [Fig. 1](#), erhältlich.

Dritte Ausführungsform

[0069] [Fig. 3](#) zeigt eine Querschnittsansicht, die eine LED-Vorrichtung veranschaulicht, die eine dritte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verkörpert.

[0070] Wie gezeigt, weist ein Si-Substrat vom p-Typ **31** auf einer Oberfläche eine mehrschichtige Struktur auf, bei der es sich um eine abwechselnde Lamination von Si-Kristallschichten **32** und Siliciumoxidfilmen **33** und eine dielektrische Schicht **38** zwischen den mehrschichtigen Strukturen handeln kann. Die dielektrische Schicht **38** kann beispielsweise aus Siliciumdioxid gebildet sein. Eine Poly-Siliciumschicht vom n-Typ **34** wird auf der Mehrschichtstruktur aufliegend gebildet. Eine transparente Elektrode **35** wird auf der Schicht **34** gebildet. Eine Metallelektrode **36** wird an der unteren Fläche des Si-Substrats vom p-Typ **31** gebildet, wodurch die LED-Struktur, die das Prinzip der vorliegenden Erfindung erfüllt, fertiggestellt wird. Bei dieser Ausführungsform werden Elektronen und Löcher in die Poly-Siliciumschichten **32** als Teil eines Supergitters **37** für die Emission von

Lichtstrahlen injiziert.

[0071] Die LED-Struktur von [Fig. 3](#) ist unter Anwendung des unten beschriebenen Verfahrens herstellbar.

[0072] Zuerst wird eine amorphe Siliciumschicht vom p-Typ durch MBE-Techniken auf der Oberfläche des Si-Substrats vom p-Typ **31** bis zu einer Dicke von einigen wenigen Mikrometern gebildet. Dann wird ein thermischer Oxidfilm typischerweise einer Dicke von 10 nm durch thermische Trockenoxidationstechniken gebildet. Die dabei gebildete Struktur wird dann mit einem Elektronenstrahl, der einen Sondendurchmesser von 2 nm aufweist und so fokussiert ist, dass er einen Punkt einer vorbestimmten Größe definiert, bestrahlt. Als Nächstes ätzt ein ausgewähltes Ätzmittel auf der Basis von Silicofluorwasserstoffsäure die Struktur für das selektive Ätzen von durch Strahl bestrahlten Teilen. Bei dieser Ausführungsform werden Si gegenüber ausgesetzte Regionen eines Durchmessers von 5 nm (Teile zur Verwendung beim Bilden des in [Fig. 3](#) gezeigten Supergitters **37**) gebildet.

[0073] Dann wird amorphes Si einer Dicke von 3 nm unter Anwendung von MBE-Techniken gezüchtet. Daraufhin wird ein ausgewählter Teil des Si, der seinem etwa 1 nm dicken Oberflächenteil entspricht, durch Trockenoxidationstechniken in einem Sauerstoffgas bei 750°C thermisch oxidiert unter Bildung eines Oxidfilms **33** einer Dicke von bis zu 2 nm (die dabei gebildete Dicke ist im Wesentlichen doppelt so groß aufgrund der volumetrischen Ausdehnung). Als Nächstes wird eine amorphe Si-Schicht **32** darauf bis zu einer Dicke von 3 nm gezüchtet, die dann zur Bildung eines typischerweise 2 nm dicken Si-Oxidfilms trocken oxidiert wird. Diese Struktur wird dann unter Vakuum bei etwa 1000°C mehrere dutzend Minuten lang erhitzt, was zur Umkristallisation des amorphen Si unter Bildung der in [Fig. 3](#) gezeigten Supergitterstrukturen führt.

[0074] Als Nächstes wird die dabei gebildete Struktur dem MBE-Verfahren bei niederen Temperaturen unterworfen, während gleichzeitig Molekularstrahlen von As und Si als Dotiermittel auf die Substratfläche aufgeliefert werden, so dass ein Poly-Siliciumfilm vom n-Typ **34** darauf bis zu einer Dicke von mehreren hundert Nanometern gezüchtet wird. Eine transparente Elektrode **35** von ITO wird auf den Poly-Si-Film vom n-Typ **34** aufgedampft, während eine Metallelektrode **36** auf der Unterseite des Si-Substrats vom p-Typ **31** aufgedampft wird.

[0075] Der Betrieb der so hergestellten PIN-Verbindungsdiode ist wie folgt. Auf das Aufbringen einer Vorwärts-Vorspannung darauf gehen injizierte Löcher und Elektronen durch Tunnelwirkung durch den Siliciumoxidfilm **33** einer Dicke von 2 nm in das Supergitter **37** hindurch und werden dann miteinander

an den Siliciumkristallschichten **32** innerhalb des Supergitters **37** rekombiniert, wodurch die Emission von Lichtstrahlen hervorgerufen wird. Die Peakwellenlänge von in diesem Fall emittiertem Licht beträgt circa 520 nm (im Bereich von Grünlicht). In der in [Fig. 3](#) gezeigten LED-Struktur ist die Lichtemission auch auf Aufbringen einer Umkehr-Vorspannung, wie in der Ausführungsform von [Fig. 1](#) erreichbar.

[0076] Im Falle der Laminationsstruktur von mehrfachen Filmen, wie bei der Ausführungsform von [Fig. 3](#), wird die geeignete Gesamtfilmdicke der Mikrokristallschichten, die als Lichtemissionsschicht wirken, beispielsweise durch Berechnen der Spannungsabhängigkeit der Lichtemissions- und Lichtintensitätscharakteristiken der Schichten bestimmt.

[0077] [Fig. 15](#) zeigt eine grafische Darstellung, die auf Berechnungswerten basierend einen Zusammenhang zwischen einer Spannung, die für die Lichtemission erforderlich ist (Anschaltspannung) in Abhängigkeit von der Gesamtdicke der Lichtemissionsschicht zusammen mit einem Verhältnis der emittierten Lichtintensität und der Gesamtdicke zeigt. Wie gezeigt, hat die durch eine Linie **1501** gezeigte Anschaltspannung die Tendenz, sich an einem Punkt, an dem die Gesamtdicke der Lichtemissionsschicht nicht mehr als 80 nm beträgt, schnell zu erhöhen. Der Grund dafür ist, dass ein Vorwiderstand der Vorrichtung wertmäßig mit einer Erhöhung der Dicke steigt. Das erfolgt auch, weil die Multiplizierung von Elektronen aufgrund eines Lawinenabbaus im Falle einer dünnen Schicht erfolgt. Umgekehrt wird die durch eine Linie **1502** gezeigte Lichtintensität gesättigt, wenn die Dicke etwa 80 nm beträgt. So ist die Gesamtdicke bevorzugt weniger als oder gleich 80 nm.

[0078] Die Dickenreduktion ist auch bei der Herstellung der Mikrokristalle wichtig. Wenn die Dicke signifikant ist, so kann eine Temperaturvariation während des thermischen Bearbeitens zum Herstellen von Mikrokristallen stattfinden, die die Kristallgröße und -dichte wiederum veränderlich macht. In dem oben in dem Abschnitt Besprechen des Hintergrunds besprochenen Artikel von Chen et al. ist die Gesamtdicke der Lichtemissionsschicht sogar 200 nm. Aus genau diesem Grund ist es schwierig, die beabsichtigte Kristallisation unter Anwendung einer thermischen Standardverarbeitung zu erreichen; im alternativen Fall ist der Ansatz im Artikel von Chen et al. dahingehend, eine Kristallisation unter Anwendung von Laserstrahlung zu erzielen. Die Anschaltspannung liegt sogar bei 25 Volt. Das ist der Variation der Mikrokristallgröße und -dichte zusätzlich zur Erhöhung des Vorwiderstands zuzuschreiben. Bei der die vorliegende Erfindung verkörpernden Struktur ist die Dicke ausreichend reduziert oder minimiert, um die thermische Leitfähigkeit zu erhöhen, was es wiederum möglich macht, die Herstellung gleichförmiger oder regelmäßiger Mikrokristalle zu erleichtern.

[0079] Es ist auch zu beachten, dass bei dieser Ausführungsform die mehrschichtigen Filme zwar aus SiO_2 hergestellt werden, dieses Material jedoch durch dielektrische Materialien niedriger Resistivität wie beispielsweise amorphes SiC oder amorphes Kohlenstoff (C) ersetzt werden kann. Bei derartigen Materialien ist die beabsichtigte Lichtemission bei sogar niedrigeren Spannungen erreichbar. Derartige Materialien sind in Form von Filmen mit erhöhter Genauigkeit durch Anwendung der zur Zeit verfügbaren Plasma-CVD- oder thermischen CVD-Techniken herstellbar.

Vierte Ausführungsform

[0080] [Fig. 4](#) ist eine Querschnittsansicht einer PIN-Verbindungs-LED einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gemäß.

[0081] Ein Si-Substrat vom n-Typ **41** weist auf einer oberen Fläche eine Anordnung von im Abstand gehaltenen Mikrokristallen **42** mit Oberflächen auf, die jeweils durch einen dielektrischen Film bedeckt sind. Ein Abstandsraum zwischen nebeneinander liegenden Mikrokristallen **42** wird mit einer dielektrischen Schicht **43** gefüllt, die beispielsweise aus Si_3N_4 bestehen kann. Eine amorphe Siliciumschicht vom p-Typ **44** wird auf den darüberliegenden dielektrischen Schichten **43** gebildet. Eine transparente Elektrode **45** wird auf der amorphen Siliciumschicht vom p-Typ **44** gebildet. Eine Metallelektrode **46** wird auf der Unterseite des Si-Substrats vom n-Typ **41** gebildet, wodurch die Halbleitervorrichtungsstruktur, die die vierte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verkörpert, fertiggestellt wird.

[0082] Die LED-Struktur von [Fig. 4](#) kann durch das Verfahren, das nun folgt, hergestellt werden.

[0083] Zuerst wird ein gestalteter Elektronenstrahl benutzt, um sich nach unten zu bewegen, um auf die Oberfläche des Si-Substrats vom n-Typ **41** aufzutreffen unter Verursachen von Residualkohlenstoffverunreinigung, die darauf durch Elektronenanregungsreaktion bis zu einer Dicke von 1 nm und mit einem Durchmesser von 10 nm abgesetzt wird. Dann wird eine Si_3N_4 -Schicht **43** auf dem Substrat **41** durch Plasma-CVD-Techniken bis zu einer Dicke von 10 nm so aufgebracht, dass Si_3N_4 sich nur auf ausgewählten Regionen befindet, die nicht auf der Kohlenstoffverunreinigung aufliegen.

[0084] Dann wird nur der Kohlenstoffverunreinigungsteil durch Anwendung von Sauerstoffplasma-Ätztechniken entfernt. Zu diesem Zeitpunkt wird der Si_3N_4 -Film **43** ebenfalls leicht weggeätzt, so dass seine Dicke auf 5 nm reduziert wird. Als Nächstes wird eine Schicht auf eine Art und Weise wie bei den Ausführungsformen von [Fig. 1](#) oder [Fig. 2](#) selektiv so gebildet, dass sie Silicium-Mikrokristalle **42** auf den-

jenigen Abschnitten ohne den Si_3N_4 -Film **43** enthält.

[0085] Als Nächstes werden Si- und Bor-(B-) Dotiermittelverunreinigungen auf die Silicium-Mikrokristalle **42** und den dielektrischen Film **43** aufgebracht, um die amorphe Siliciumschicht vom p-Typ **44** bis zu einer Dicke von mehreren hundert Nanometern zu züchten. Wenn Lichtstrahlen aus der Vorrichtungsoberfläche entnommen werden sollen, so wird die amorphe Siliciumschicht vom p-Typ **44** in einem Wasserstoffgas zur Wasserstoffterminierung einer herunterbaumelnden Bindung von Silicium innerhalb der amorphen Schicht erhitzt, wobei die optische Absorption am amorphen Silicium unterdrückt und dadurch das Durchlässigkeitsvermögen erhöht wird.

[0086] Als Nächstes wird wie bei der Ausführungsform von [Fig. 1](#) die transparente ITO-Elektrode **45** auf der amorphen Siliciumschicht vom p-Typ **44** gebildet und die Metallelektrode **46** wird auf der Unterseite des Siliciumsubstrats vom Endtyp **41** gebildet, wodurch die veranschaulichende LED-Struktur fertiggestellt wird.

Fünfte Ausführungsform

[0087] [Fig. 5](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer Anzeigetafel einer flachen Oberfläche einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gemäß. Die Anzeigetafel einer flachen Oberfläche umfasst eine Matrixanordnung von Reihen und Spalten von Bildelementen oder „Pixeln“, wobei bei jeder die PIN-Verbindungs-LED von [Fig. 1](#) angewendet wird.

[0088] Wie in [Fig. 5](#) gezeigt, weist die Anzeigetafel ein Siliciumsubstrat **51** auf, auf dem mehrere Siliciumkristalle vom p-Typ **52** so gebildet sind, dass nebeneinanderliegende Kristalle **52** elektrisch voneinander durch dielektrische Filme **58** isoliert sind. Eine integrierte Schaltanordnung (nicht gezeigt) wird ebenfalls auf dem Substrat **51** gebildet und umfasst Transistoren zum Regulieren der auf ein jeweiliges der Siliciumkristalle vom p-Typ **52** aufgetragenen Spannungen. Ein Rotlicht emittierendes Element **53**, ein Grünlicht emittierendes Element **54** und ein Blau-licht emittierendes Element **55** werden für jeden Pixel auf entsprechenden Siliciumkristallen vom p-Typ **52** bereitgestellt. Nebeneinanderliegende Elemente **53**, **54** und **55** werden voneinander durch eine dielektrische Schicht **56** isoliert. Eine gemeinsame Elektrode (nicht gezeigt), die aus ITO hergestellt ist, wird so gebildet, dass sie über den Lichtemissionselementen **53–55** liegt.

[0089] [Fig. 6](#) zeigt eine vergrößerte Querschnittsansicht der Lichtemissionselemente **53–55**. Jedes der Lichtemissionselemente **54–55** weist eine mehrschichtige Struktur auf, die eine „untere“ Schicht Siliciumkristall vom p-Typ **61**, eine „Zwischen“-Schicht **62** und eine „obere“ Siliciumschicht vom n-Typ **63**

umfasst. Die Zwischenschicht **62** enthält Silicium-Mikrokristalle, wie bei den Ausführungsformen von [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#), und wirkt so als Lichtemissionsschicht. Die Elektrode **64** weist auf einer Oberfläche eine gemeinsame Elektrode **64** auf, die zum Erden gekoppelt ist. Die obere Schicht **63** kann beispielsweise aus ITO hergestellt sein.

[0090] Die flache Anzeigetafel kann durch das Verfahren, das nun folgt, hergestellt werden.

[0091] Zuerst wird eine integrierte Schaltung (IS) aus Transistoren auf dem Siliciumsubstrat **51** unter Anwendung von Siliciumverfahrenstechnologien wie Lithografie- und Ätztechniken gebildet. Diese IS dient dem Regulieren von Spannungen, die auf eine Matrix von Lichtemissionselementen, wie später noch im Einzelnen beschrieben, aufgebracht werden. Dann wird eine Siliciumkristallschicht vom p-Typ durch CVD-Techniken abgesetzt. Als Nächstes wird die dabei gebildete Struktur durch ein Fotolithografieverfahren unter Bildung der Siliciumkristalle vom p-Typ **52** geätzt, wobei jedes Kristall **52** eine quadratische planare Gestalt einer Größe von $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$ aufweist. Die Kristalle **52** jedes Elements werden von den anderen Elementen durch den Siliciumoxidfilm **53** isoliert.

[0092] Ein Siliciumoxidfilm wird dann durch CVD-Techniken auf diesem Substrat bis zu einer Dicke von $1\ \mu\text{m}$ gezüchtet. Der Film wird zu einem dielektrischen Film. Die dabei gebildete Struktur wird durch Fotoexpositionsverfahren mit einem Muster versehen und dann geätzt, um ausgewählte Siliciumkristalle vom p-Typ nach außen bloßzulegen. Die Kristalle dienen der späteren Bildung der Rotlicht emittierenden Elemente **53**. Nach der Bildung eines Oxidfilms einer Dicke von etwa 2 nm durch thermische Oxidation werden Siliciumkristalle eines Durchmessers von 5 nm durch CVD-Techniken gezüchtet. Die Kristalle werden dann unter Bildung einer Lichtemissionsschicht **62**, die mit einem dünnen thermischen Oxidfilm beschichtet wird und Siliciummikrokristalle eines Durchmessers von 3 nm darin enthält, thermisch oxidiert. Zu diesem Zeitpunkt sind die Mikrokristalle dimensionsmäßig aufgrund der Dehnbeanspruchung zwischen dem Oxidfilm und Silicium „gesättigt“ und unterscheiden sich daher größenmäßig auf insignifikante Weise während des kontinuierlichen Ausführens von Oxidationsverfahren für eine vordefinierte Zeitspanne. Die dabei gebildeten Mikrokristalle können eine Elektrolumineszenz von Rotlichtstrahlen aufweisen.

[0093] Als Nächstes werden diejenigen Teile des Oxidfilms, die über anderen ausgewählten Regionen liegen, in denen die Grünlicht emittierenden Elemente gebildet werden sollen, durch Fotolithografiertechniken mit einem Muster versehen und zum Entfernen geätzt. Nach Abschluss der thermischen Oxidation

zur Bildung eines Oxidfilms einer Dicke von 2 nm werden Siliciummikrokristalle eines Durchmessers von 4 nm dann durch CVD-Techniken gezüchtet. Die dabei gebildete Struktur wird dann thermisch oxidiert unter Bildung einer Lichtemissionsschicht **62**, die Siliciummikrokristalle eines Durchmessers von 2 nm enthält. Während dieses thermischen Oxidationsvorgangs bleiben die vorher hergestellten Mikrokristalle eines Durchmessers von 3 nm unverändert, weil sie aufgrund des Vorliegens der Dehnspannung zwischen dem Oxidfilm und Silicium kein Fortschreiten der Reaktion aufweisen. Die so gebildeten Mikrokristalle verursachen aufgrund des Quantengrößeneffekts eine Elektrolumineszenz von Grünlichtstrahlen.

[0094] Als Nächstes werden diejenigen Teile des Oxidfilms, die über den verbleibenden ausgewählten Regionen liegen, in denen die Blaulichtemissionselemente gebildet werden sollen, durch Fotoexpositionstechniken mit einem Muster versehen und zur Entfernung geätzt. Nach der Bildung eines Oxidfilms einer Dicke von etwa 2 nm durch thermische Oxidation werden Silicium-Mikrokristalle eines Durchmessers von 3 nm durch CVD-Techniken gezüchtet. Die dabei gebildete Struktur wird dann unter Bildung einer Lichtemissionsschicht **62**, die Silicium-Mikrokristalle eines Durchmessers von 1,5 nm enthält, thermisch oxidiert. Die so gebildeten Mikrokristalle können durch den Quantengrößeneffekt eine Elektrolumineszenz von Blaulicht aufweisen.

[0095] Die Bildung von Regionen von Rot-(R), Grün-(G) und Blau-(B) Lichtemissionselementen **53–55** findet derart statt, dass diese sequentiell angeordnet sind (Streifenmusteranordnung); als Alternative können diese Elemente in einem dreieckigen Muster (Mosaikanordnung) vorliegen. Auf alle Fälle sind diese mit einer Gruppe von drei RGB-Elementen pro Pixel angeordnet.

[0096] Als Nächstes wird eine Poly-Siliciumschicht vom n-Typ durch CVD-Techniken auf den Lichtemissionsschichten **62** gezüchtet; daraufhin wird eine transparente ITO-Elektrode darauf abgesetzt. Die ITO-Elektrode wird zusammen mit entsprechenden Elementen bei einem Erdungspotential gehalten. Die dabei gebildete Vorrichtungsstruktur ist so angeordnet, dass sie eine vorgefertigte IS-Einheit begleitet, die dazu verwendet wird, einen Strom (oder eine Spannung), der (die) an die drei (RGB-) Typen von Emissionselementen geliefert wird, in zweiunddreißig (**32**) gleichen Schritten von Niveaus auf digitale Art und Weise variabel zu machen. Bei einer derartigen Anordnung bietet ein Emissionselement die Möglichkeit, 32 verschiedene Töne einer einzigen Farbe anzuzeigen; so ermöglicht das Kombinieren von drei Farblicht emittierenden Elementen das Anzeigen von Bildern mit $32 \times 32 \times 32 = 32,768$ verschiedenen Farbniveaus.

[0097] Wenn diese Elemente auf einem Siliciumsubstrat von 12 inch gebildet werden, das einen Bildschirmbereich von 20 cm × 15 cm einnimmt, so wird es möglich, eine Großbildschirm-Hochpräzisionsanzeigbarkeit mit einer gesamten Pixelzahl von 2000 × 1500 zu erreichen. Diese Anzeige kann auch mit erhöhten Geschwindigkeiten im Vergleich mit Standardflüssigkristallanzeige-(LCD-) Platten arbeiten, weil die Lichtemissionselemente direkt auf die IS auf dem Siliciumsubstrat aufgebracht sind, während die Plattendicke reduziert wird. Dies kann dazu führen, dass eine dünne Großbildschirm-Hochpräzisions-Flachflächenanzeigevorrichtung erreicht wird, die keinen zusätzlichen Platz für das Installieren, im Gegensatz zu herkömmlichen CRT-Fernsehgeräten, erfordert.

Sechste Ausführungsform

[0098] [Fig. 7](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer Halbleitervorrichtung einer sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gemäß. [Fig. 8](#) zeigt eine entsprechende perspektivische Ansicht der Halbleitervorrichtung von [Fig. 7](#).

[0099] Die Halbleitervorrichtung umfasst ein Si-Substrat vom p-Typ **71**. Mehrere parallele Halbleiterfeinlinien oder -mikrolinien **72** werden auf dem Si-Substrat vom p-Typ **71** gebildet, wobei die Oberfläche jeder Linie **72** mit einem dielektrischen Film beschichtet wird. Ein dielektrischer Film **73** wird zwischen nebeneinander liegende Halbleitermikrolinien **72** auf dem Substrat **71** gebildet oder „eingegraben“. Der Film **73** kann beispielsweise aus SiO₂ hergestellt sein. Eine amorphe Siliciumschicht vom n-Typ **74** wird so gebildet, dass sie vollständig auf den Mikrolinien **72** und dem SiO₂-Film **73** aufliegt. Eine transparente Elektrode **75** wird auf der amorphen Siliciumschicht vom n-Typ **74** gebildet. Eine Metallelektrode **76** wird auf der Unterseite des Si-Substrats vom p-Typ **71** gebildet, wodurch die Halbleitervorrichtungsstruktur, die die sechste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verkörpert, fertiggestellt wird.

[0100] Die in [Fig. 7-Fig. 8](#) gezeigte Vorrichtungsstruktur wird durch das Verfahren wie folgt hergestellt.

[0101] Es wird ein Siliciumsubstrat vom p-Typ **71** hergestellt. Ein thermischer Oxidfilm wird durch thermische Trockenoxidation auf dem Substrat bis zu einer Dicke von 1 nm gebildet. Dann wird die Oberfläche des Oxidfilms selektiv in linearen Regionen darauf unter Anwendung von Elektronenstrahl-Lithografiertechniken freigelegt. Dann wird die dabei gebildete Struktur bei einer Temperatur von 750°C in einer Vakuumkammer zum Entfernen oder Abziehen ausschließlich der bloßgelegten Teile erhitzt, was zum teilweisen Bloßlegen des Siliciumsubstrats **71** bei streifenförmigen Teilen einer Breite von etwa 7 nm

führt. Silicium wird dann durch MBE-Techniken bis auf eine Dicke von 1 nm darauf gezüchtet, während das Substrat **41** bei einer Temperatur von 550°C gehalten wird. Die dabei gebildeten Feinlinienmikrokristalle sind höhen- und breitenmäßig wesentlich kleiner, wodurch der Quantumgrößenefekt erfolgen kann.

[0102] Dann wird die Substrattemperatur auf Raumtemperatur gesenkt. Silicium und eine geringe Menge Arsenid-(As-) Verunreinigung werden dann gleichzeitig abgesetzt, das amorphe Silicium vom n-Typ **74** lässt man auf eine Dicke von mehreren hundert Nanometern derart wachsen, dass emittierte Lichtstrahlen erhältlich sind, während die Intensität derselben reduziert wird. Eine transparente ITO-Elektrode **75** wird durch Aufdampfen auf der oberen Fläche des amorphen Siliciums vom n-Typ **74** gebildet, während eine Metallelektrode **76** durch Verdampfen auf der Unterseite des Substrats **71** gebildet wird.

[0103] Der Betrieb der so hergestellten PIN-Verbindungs-LED-Struktur ist wie folgt. Auf das Aufbringen einer Vorwärts-Vorspannung hin werden Löcher und Elektronen in die Silicium-Mikrokristalle **72** zum Rekombinieren so emittierter Lichtstrahlen injiziert.

[0104] Bei dieser Ausführungsform wird die Wellenlänge von emittiertem Licht über ein Spektrum ausbreitet, das an oder in der Nahe der Peripherie der Rotlichtregion des Spektrums einen Peak aufweist.

Siebte Ausführungsform

[0105] [Fig. 9](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer lichtemittierbaren Halbleitervorrichtung der sieben Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gemäß.

[0106] Ein Si-Substrat vom p-Typ **91** weist eine obere Fläche auf, auf der eine Halbleiter-Mikrokristallschicht **93** zusammen mit einer standardgroßintegrierten (LSI-) Schaltungsanordnung gebildet wird. Die Mikrokristallschicht **93** enthält Silicium-Mikrokristalle **92** mit Oberflächen, die mit einem dielektrischen Film beschichtet sind. Auf dieser Halbleiter-Mikrokristallschicht **93** ist eine Poly-Siliciumschicht vom n-Typ **94** gebildet, auf der eine geerdete Elektrode **95** gebildet und an das Erdungspotential gekoppelt wird, wodurch die Halbleitervorrichtung mit der LSI-Einheit und integral darauf hergestelltem Licht emittierendem Element bereitgestellt wird. Wie in [Fig. 9](#) gezeigt, ist ein assoziatives im Abstand gehaltenes „externes“ Schaltbrett mit einem fotoempfindlichen Element **97** der Halbleitervorrichtung gegenüber angeordnet, wobei das Element **97** als Lichtaufnahmeelement zum Aufnehmen von Strahlen von aus der Halbleitervorrichtung emittiertem Licht funktioniert.

[0107] In der Ausführungsform von [Fig. 9](#) ist die ge-

zeigte Halbleiterstruktur zur Verwendung als lichtemittierende Vorrichtung mit irgendeinem der in [Fig. 1-Fig. 8](#) gezeigten lichtemittierenden Elemente, die an der Peripherie der LSI gebildet werden, adaptierbar. Die Halbleitervorrichtung ist so konstruiert, dass eine Ausgangsspannung der LSI zum lichtemittierenden Element geführt wird, wodurch dessen Signal durch Anschalten/Abschalten der Lichtemission regelbar gemacht wird. Das gegenüberliegende fotoempfindliche Element **97** nimmt ein derartiges Abschalt-/Anschaltsignal vom lichtemittierenden Element zur Umwandlung in ein entsprechendes elektrisches Signal auf, das dann an die Schaltanordnung des Bretts **96** weitergegeben wird. Bei einer derartigen Anordnung können elektrische Signale der LSI optisch transmittiert werden, wodurch Probleme, denen man sich bei elektrischen Substrat-zu-Substrat-Signaltransmissionsschemen des Stands der Technik unter Anwendung von Metalleitungen, wie Onlinesignalverzögerung und unerwünschte Wärmezeugung gegenübersehen, eliminiert werden.

[0108] Obwohl bei dieser Ausführungsform die lichtemittierenden und -aufnehmenden Elemente getrennt bereitgestellt werden, können beide als Alternative auf einem einzigen Siliciumsubstrat gebildet werden. Da das Lichtaufnahmelement eines der Standard-pn-Siliciumverbindungsphotodioden sein kann, wird das Element auf dem Siliciumsubstrat hergestellt.

[0109] Außerdem kann ein einziges Siliciumsubstrat so konstruiert sein, dass es eine Oberfläche aufweist, die in Unterbereiche aufgeteilt ist, wobei ein Unterbereich derselben für die Bildung von Kraftvorrichtungskomponenten, die einen hoch bemessenen Spannungsabbau erfordern, und wobei der andere für durch Niedrigspannung getriebene Digitalelemente bestimmt ist. Die Unterbereiche können räumlich voneinander isoliert sein, während sie die Signalübertragung zwischen ihnen durch Anwendung einer Kombination der oben beschriebenen lichtemittierenden und -aufnehmenden Elementen gestatten. Ist dies der Fall, so wird es möglich, die Vorrichtung im Vergleich mit Vorrichtungen des Stands der Technik, bei denen getrennte Substrate, eines für die Kraftelemente und das andere für Digitalelemente verwendet werden, noch weiter zu miniaturisieren oder „zu verkleinern“.

[0110] Die obigen Ausführungsformen, die in [Fig. 1](#) bis [Fig. 9](#) gezeigt sind, sind aufgezeichnet, um lichtemittierende Vorrichtungen des Mehrschichttyps zu zeigen, bei dem ein Strom in einer zur Substratoberfläche senkrechten Richtung fließt. Als Nächstes erfolgt eine Erklärung der lichtemittierenden Vorrichtungen des „planaren“ Typs, bei dem ein Stromfluss mit Bezug auf die Substratoberfläche waagrecht ermöglicht wird, die die Prinzipien der vorliegenden Erfindung ebenfalls umfassen. Die unten aufgeführten

Vorrichtungsstrukturen sind selbst dort herstellbar, wo das Substrat ein dielektrisches Substrat ist, und aus diesem Grund werden sie insbesondere in dem Fall vorgezogen, wo diese funktionsfähig mit Hochspannungsvorrichtungskomponenten gekoppelt sind.

Achte Ausführungsform

[0111] [Fig. 10](#) ist eine Querschnittsansicht einer Halbleitervorrichtung, die eine „planare“ Struktur einer achten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gemäß verwirklicht. [Fig. 11](#) ist eine Draufsicht der Halbleitervorrichtung aus [Fig. 10](#).

[0112] Ein Siliciumsubstrat **101** weist eine Oberfläche auf, auf der ein Siliciumoxid-(SiO_2 -) Film **102** gebildet ist. Eine Siliciumschicht vom n-Typ **103** und eine Supergitterschicht **104** und eine Siliciumschicht vom p-Typ **105** werden auf dem SiO_2 -Film **102** auf nebeneinandergereihte Weise gebildet. Die Supergitterschicht **104** kann eine mehrschichtige Lamination von Siliciumfilmen und SiO_2 -Filmen, wie in [Fig. 10](#) gezeigt, sein.

[0113] Die Vorrichtungsstruktur von [Fig. 10-Fig. 11](#) kann durch das Verfahren wie unten beschrieben hergestellt werden.

[0114] Zuerst wird das Siliciumsubstrat **101** unter Bildung eines Siliciumoxid-(SiO_2 -) Films einer Dicke von etwa $1\text{ }\mu\text{m}$ thermisch oxidiert. Eine nicht dotierte amorphe Siliciumschicht wird auf der dabei gebildeten Oberfläche durch MBE-Techniken bis zu einer Dicke von mehreren Nanometern bei Raumtemperaturen gebildet. Dann wird die Struktur in eine Sauerstoffgasumgebung zur Bildung eines typischerweise 1 nm dicken thermischen Oxidfilms durch thermische Trockenoxidation bei einer Temperatur von 750°C eingegeben. Es wird auf der dabei gebildeten Fläche ein amorpher Siliciumfilm typischerweise einer Dicke von 3 nm unter Anwendung von MBE-Züchtungstechniken gebildet. Daraufhin wird ein Oberflächenanteil einer Dicke von 1 nm des Siliciums durch Trockenoxidationstechniken bei 750°C unter Bildung eines Oxidfilms einer Dicke von 2 nm (die Dicke wird aufgrund der Volumen- oder Massenausdehnung praktisch doppelt sein) oxidiert. Das amorphe Silicium wird noch weiter bis zu einer Dicke von 3 nm darauf gezüchtet; dann wird durch Anwendung von Trockenoxidation ein Siliciumoxidfilm einer Dicke von etwa 2 nm gebildet. Dieser Vorgang wird zwanzigmal wiederholt, um eine Silicium-/Siliciumoxid-Supergitterstruktur herzustellen. In diesem Fall wird das Verfahren so gestaltet, dass ein Siliciumoxidfilm sich auf der oberen Fläche eines derartigen Supergitters befindet. Als Nächstes wird die Struktur in einem Stickstoffgas mehrere dutzend Minuten lang auf circa 1000°C erhitzt, wodurch das amorphe Silicium dazu gebracht wird, teilweise eine Umkristallisation unter

Bildung von Mikrokristallen darin aufzuweisen, so dass die Leuchteffizienz erhöht wird.

[0115] Als Nächstes wird eine mit einem Muster versehene Resistmaske mit einer Linienbreite von 1 µm durch ein Bemusterungsverfahren unter Anwendung von schrittweisen Expositionstechniken gebildet. Die Maske wird verwendet, um ein reaktives Ionenätz-(RIÄ-) Verfahren zum Entfernen der Außen-seitenteile des Supergitters durchzuführen. Dann wird ein Plasma-CVD-Vorgang durchgeführt, um Silicium vom p-Typ bis auf eine Dicke von etwa 80 nm auf den bloßgestellten Bereichen, die aus der Ätzentfernung herrühren, zu züchten. Als Nächstes wird nur eine Seite der Außenregionen des Supergitters durch Feldionenimplantation mit einer ausgewählten Verunreinigung zum Ändern oder „Umkehren“ der Leitfähigkeit vom n-Typ dotiert. Es werden Elektroden auf der Oberfläche der Regionen vom p-Typ und n-Typ gebildet. Versuche haben gezeigt, dass auf das Anschalten hin die dabei gebildete Struktur eine Emission von infraroten Lichtstrahlen aufweist. Dies erfolgt, weil die Wirkung des Elektronen-/Lochconfinements innerhalb des Supergitters steigt. Diese Struktur ist deshalb vorteilhaft, weil sich die Resistivität im Gegensatz zu denjenigen Strukturen des senkrechten Stromflusstyps, erhöht.

[0116] Wahlweise kann während der Herstellung des Supergitters die Struktur, auf der das amorphe Silicium abgesetzt worden ist, in Sauerstoffgasen auf etwa 800°C zur Bildung von Silicium-Mikrokristallen, die mit einem Oxidfilm beschichtet sind, erhitzt werden. Das Wiederholen dieses Vorgangs führt zur Herstellung einer mehrschichtigen Struktur von isolierten Mikrokristallen. Eine niedrige Resistivität ist durch Einengen des Supergitters derart, dass es eine Breite von weniger 1 µm, erhältlich. Dazu wird das stufenweise Expositionsverfahren durch ein Elektronenstrahl-Expositionsverfahren ersetzt. Zusätzlich dazu besteht der Grund für die Verwendung der mehrschichtigen Struktur für die Mikrokristalle darin, die Resistivität zu verringern. Wenn eine derartig niedrige Resistivität nicht kritisch ist, werden mehrschichtige Mikrokristalle nicht notwendigerweise verwendet und können durch eine nur einschichtige Struktur ersetzt werden, um eine ausreichende Lichtemissionsleistung zu erreichen.

[0117] Man beachte auch, dass bei dieser Ausführungsform die mehrschichtigen dielektrischen Filme zwar aus SiO₂ hergestellt werden, diese jedoch alternativ aus amorphem SiC oder amorphem Kohlenstoff (C) einer niedrigen Resistivität bestehen können. Im derartigen Fall lässt sich eine effiziente Lichtemission mit geringeren Spannungen erreichen.

Neunte Ausführungsform

[0118] [Fig. 12](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer

Halbleiterfotokupplungsvorrichtung einer neunten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gemäß.

[0119] Wie gezeigt, enthält ein Siliciumsubstrat **121** eine Siliciumregion vom n-Typ **122** und eine Siliciumregion vom p-Typ **123** auf einer nebeneinanderliegenden Art und Weise. Das Substrat **121** weist eine Oberfläche auf, auf der Elektroden **124**, **125** derart gebildet werden, dass die Elektrode **124** ein Ende aufweist, das die Region vom n-Typ **122** überlappt und die Elektrode **125** weist ein Ende auf, das die Region vom p-Typ **123** überlappt. Die veranschaulichende Struktur ist zur Verwendung als pn-Verbindungs-fotodiode geeignet, die als fotoempfindliches oder lichtaufnehmendes Element dient. Eine untere Fläche des Substrats **121** wird mit einem Siliciumoxidfilm **126** beschichtet. Eine Siliciumschicht vom n-Typ **127**, eine Silicium-/Siliciumoxid-Supergitterschicht **128** und eine Siliciumschicht vom p-Typ **129** werden auf planare Art und Weise auf der unteren Fläche des Films **126** gebildet. Nicht dotierte Si-Schichten **130**, deren Dicke größer ist als die Schichten **127–129** befinden sich auf den entgegengesetzten Seiten einer derartigen planaren Struktur auf der unteren Substratfläche, wie in [Fig. 12](#) gezeigt.

[0120] Elektroden **131**, **132** befinden sich auf den entgegengesetzten Si-Schichten **130** derart, dass die Elektrode **131** elektrisch mit der Schicht vom n-Typ **127** verbunden ist, und die Elektrode **132** mit der Schicht vom p-Typ **129** elektrisch verbunden ist, wodurch die beabsichtigte Lichtemissionsvorrichtung fertiggestellt wird.

[0121] Die Vorrichtungsstruktur von [Fig. 12](#) kann durch folgendes Verfahren hergestellt werden.

[0122] Zuerst wird ein Substrat aus Silicium auf der Isolator-(SOI-) Struktur gebildet, wobei Silicium- und dielektrische Substrate aufeinander laminiert und miteinander verbunden werden. Das SOI-Substrat kann alternativ eine SIMOX-Struktur (Trennung durch Implantation von Sauerstoff) sein. Unter Anwendung des SOI-Substrats wird eine Standard-pn-Verbindungs-fotodiode bekannter Struktur auf einem Siliciumsubstrat **121** hergestellt. Die untere Fläche des Siliciumsubstrats **121** wird geätzt, um eine Öffnung an einer Stelle direkt unterhalb des Transistors zu definieren. Ein lichtemittierendes Element wird auf eine Art und Weise ähnlich der in [Fig. 10–Fig. 11](#) gezeigten Ausführungsform hergestellt. Dann werden jeweils Elektroden auf den oberen und unteren Flächen der dabei gebildeten Struktur unter Anwendung von Standardherstellungstechniken gebildet, wodurch ein Fotokoppler fertiggestellt wird, bei dem der Siliciumoxidfilm **126** dazwischen eingeschlossen ist.

[0123] Ein typischer Fotokoppler des Stands der Technik ist so beschaffen, dass er ein lichtemittierendes Element enthält, bei dem ein Verbindungshalbleiter wie Galliumarsenid (GaAs) verwendet wird, und eine Silicium-pn-Verbindungsfotodiode oder einen Silicium-npn-Fototransistor, die unabhängig voneinander hergestellt werden, zusammen mit jeweiligen Dioden, auf denen die Elemente montiert sind, während ein ausgewähltes dielektrisches Material, wie beispielsweise ein transparentes Harz oder dergleichen, zwischen den Elementen angeordnet ist. Die veranschaulichende Ausführungsformstruktur ist dem Stand der Technik überlegen, da das angewendete Herstellungsverfahren vereinfacht ist, während die Struktur verkleinert ist aufgrund einer Erhöhung der Abbauspannung, ungeachtet einer Abnahme der Dicke des verwendeten Siliciumoxidfilms. Ein anderer Vorteil der Ausführungsform besteht darin, dass der veranschaulichende Fotokoppler auf dem SOI-Substrat zusammen mit anderen Silicium-IS-Komponenten herstellbar ist.

[0124] Es ist zu beachten, dass bei einer der obigen Ausführungsformen die Halbleiter-Mikrokristalle und das Supergitter zwar so strukturiert sind, dass sie zwischen den Halbleitern vom n-Typ und p-Typ vorliegen, die p-n-Kombination jedoch durch eine Kombination eines Metalls und entweder eines der Halbleiter vom p- und n-Typ ersetzt werden können. Bei einer derartigen Änderung können auch ähnliche Auswirkungen und Vorteile wie bei einer unten aufgeführten Ausführungsform erhalten werden.

Zehnte Ausführungsform

[0125] [Fig. 16](#) ist eine teilweise Querschnittsansicht einer Halbleitervorrichtung vom Metallisolatorhalbleiter-(MIS-) Typ einer zehnten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gemäß.

[0126] Ein Si-Substrat vom p-Typ **161** weist eine Oberfläche auf, auf der eine Lichtemissionsschicht **165** gebildet wird. Die Lichtemissionsschicht **165** kann aus amorphem Silicium hergestellt werden, das Silicium-Mikrokristalle **165** enthält, die verteilungsmäßig darin „vergraben“ sind. Die Si-Mikrokristall-Lichtemissionsschicht **162** weist auf einer Oberfläche eine dünne Metallelektrode (halbopake Elektrode) **163** auf. Das Si-Substrat vom p-Typ **161** weist eine Elektrode **164** auf einer unteren Fläche des Substrats **161** auf, wodurch die Vorrichtungsstruktur fertiggestellt wird.

[0127] Die Struktur wird durch das unten angegebene Verfahren hergestellt.

[0128] Es wird ein Si-Substrat vom p-Typ **161** hergestellt. Amorphes Si wird auf dem Substrat **161** bis zu einer Dicke von 3 nm unter Anwendung von MBE-Methoden aufgebracht. Es werden in dem

amorphen Si bei Temperaturen von 700 bis 800°C eine Minute lang Mikrokristalle **165** gebildet. Der Korndurchmesser der Si-Mikrokristalle kann beispielsweise etwa 2 nm betragen. In diesem Fall weist das amorphe Si eine höhere Resistivität auf als Si.

[0129] Dann wird Vakuumaufdampfen unter Bildung eines Titanfilms typischerweise einer Dicke von 5 nm und eines Goldfilms einer ungefähren Dicke von 50 nm auf der Si-Mikrokristallschicht **162** durchgeführt, wodurch eine Metallelektrode **163** gebildet wird. Daraufhin wird eine Metallelektrode **164** auf die untere Fläche des Substrats **161** aufgedampft, wodurch die MIS-Dodenstruktur fertiggestellt wird.

[0130] Durch Versuche ist bestätigt worden, dass auf das Aufbringen einer potentiell ausreichenden Umkehrvorspannung auf die MIS-Diode hin Elektronen und Löcher höhere elektrostatische Potentialenergien aufweisen, was dazu führt, dass die Elektronen und Löcher durch das amorphe Si aus der Schicht vom p-Typ **161** bzw. der Metallelektrode **163** auf eine Art und Weise injiziert werden, die derjenigen im Fall des Einbringens der Vorwärtsspannung entgegengesetzt ist, um dadurch die Emission von Lichtstrahlen aufzuweisen. Während die Mikrokristallschicht **165**, die als Lichtemissionsschicht wirkt, eine Dicke von nur 3 nm aufweisen kann, war die Intensität des emittierten Lichts signifikant genug, um sicherzustellen, dass eine ausreichende Sichtbarkeit auf das Aufbringen einer Spannung von 4 bis 5 Volt bei Raumtemperaturen hin verbleibt. Das emittierte Licht ist orange gefärbt. Das Spektrum des emittierten Lichts ist in [Fig. 17](#) gezeigt.

[0131] Es ist beschrieben worden, dass die vorliegende Erfindung die Möglichkeit bietet, Elektronen und Löcher durch Tunnelwirkung effizient in die Siliciumregion einer ausgewählten Größe zu injizieren, die einen erwarteten Quanteneffekt ergibt, was wiederum eine Halbleitervorrichtung mit verbesserter Leuchteffizienz bereitstellt. Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht aus der Möglichkeit, ein lichtemittierendes Element unter Anwendung eines Siliciumsubstrats herzustellen, das zu einer Verbesserung der Leistung und Verlässlichkeit und dabei zu einer Reduzierung der Dimension führt, während gleichzeitig das Zusammenpassen mit anderen Halbleitervorrichtungskomponenten auf der Basis von Silicium verbessert wird.

[0132] Obwohl die Erfindung unter Bezugnahme auf spezifische Ausführungsformen offenbart und veranschaulicht worden ist, sind die dabei involvierten Prinzipien zur Verwendung bei zahlreichen anderen Ausführungsformen, Modifikationen und Änderungen geeignet, die mit dem Stand der Technik, auf den die Erfindung zutrifft, vertrauten Fachleuten offensichtlich sein werden. Die Erfindung ist deshalb nur wie durch den Umfang der angehängten Ansprüche angege-

ben beschränkt.

Patentansprüche

1. Halbleitervorrichtung umfassend:
eine erste leitfähige Schicht (**11, 21, 41, 91, 161**);
eine zweite leitfähige Schicht (**15, 25, 44, 94, 163**);
und
eine mikrokristalline Halbleiterschicht (**14, 24, 93, 162**), die zwischen den ersten und zweiten leitfähigen Schichten (**11**) eingebracht ist, wobei die mikrokristalline Halbleiterschicht (**14, 24, 93**) Halbleitermikrokristalle (**12, 22, 42, 92, 165**) und einen isolierenden oder dielektrischen Film umfasst, wobei der Film (**13, 23, 43**) jedes Mikrokristall derart umgibt, dass die Mikrokristalle in dem Film eingebettet sind, wobei die ersten (**11, 21, 41, 91**) und zweiten (**15, 25, 44, 94**) leitfähigen Schichten entweder: Halbleiterschichten der Gruppe IV mit entgegengesetzten Polaritäten sind; oder eine der ersten (**11, 21, 41, 91, 161**) oder zweiten (**15, 25, 44, 94, 163**) leitfähigen Schichten ein Halbleiter vom n-Typ oder p-Typ der Gruppe IV ist und die andere leitfähige Schicht eine Metallschicht ist; und wobei die Halbleitermikrokristalle (**12, 22, 42, 92**) Silicium umfassen und eine Größe von weniger als oder gleich 10 nm derart besitzen, dass sie einen Quantum-Confinement-Effekt aufweisen und der Film, der jedes Mikrokristall umgibt, dünn genug ist, um es Elektronen und Löchern auf das Aufbringen einer Spannung zwischen den ersten und zweiten leitfähigen Schichten (**11, 15, 21, 25, 41, 44, 91, 163**) hin zu erlauben, sich durch den Film (**13, 23, 43**) zur Injizierung in die Halbleitermikrokristalle (**12, 22, 42, 92**) zu tunneln, derart, dass die Elektronen und Löcher für die Lichtemission erneut miteinander kombiniert werden.

2. Halbleitervorrichtung umfassend:
eine erste leitfähige Schicht (**71**);
eine zweite leitfähige Schicht (**74**); und
eine Halbleiterfeinlinienschicht, die zwischen den ersten und zweiten leitfähigen Schichten (**71**) eingebracht ist, wobei die Halbleiterfeinlinienschicht mindestens zwei Halbleiterfeinlinien (**72**) und einen isolierenden oder dielektrischen Film umfasst, der eine Resistivität aufweist, die höher ist als diejenige der Halbleiterfeinlinien, wobei der Film jeder der Halbleiterfeinlinien mit einer Filmdicke derart umgibt, dass jede der feinen Linien in dem Film eingebettet sind, wobei die ersten (**71**) und zweiten (**74**) leitfähigen Schichten entweder: Halbleiterschichten der Gruppe IV mit entgegengesetzten Polaritäten sind; oder eine der ersten (**71**) oder zweiten (**74**) leitfähigen Schichten ein Halbleiter vom n-Typ oder p-Typ der Gruppe IV ist und die andere leitfähige Schicht eine Metallschicht ist; und wobei die mindestens zwei Halbleiterfeinlinien (**72**) Längs- und Querdimensionen von weniger als oder gleich 10 nm derart besitzen, dass sie einen

Quantum-Confinement-Effekt aufweisen, wobei der Film, der jede Halbleiterfeinlinie umgibt, dünn genug ist, um es Elektronen und Löchern auf das Aufbringen einer Spannung zwischen den ersten (**71**) und zweiten (**74**) leitfähigen Schichten hin erlaubt, sich durch den isolierenden Film (**73**) zur Injizierung in die Halbleiterfeinlinien (**72**) zu Tunneln zum erneuten Kombinieren darin für die Lichtemission, wobei die Halbleiterfeinlinien Silicium umfassen.

3. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei der Halbleiter der Gruppe IV Silicium umfasst.

4. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die erste leitfähige Schicht (**11, 21, 41, 91, 161, 71**) eine Halbleiterschicht vom p-Typ der Gruppe IV und die zweite leitfähige Schicht (**15, 25, 44, 94, 163, 74**) eine Halbleiterschicht vom n-Typ der Gruppe IV ist.

5. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die erste leitfähige Schicht (**11, 21, 41, 91, 161, 71**) eine Halbleiterschicht vom n- oder p-Typ der Gruppe IV und die zweite leitfähige Schicht (**15, 25, 44, 94, 163, 74**) eine Metallschicht ist.

6. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die mikrokristalline Halbleiterschicht (**14, 24, 93**) Löcher in einem Volumen umfasst, das gleich oder weniger als fünf Prozent eines Volumens der mikrokristallinen Schicht ist.

7. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, des Weiteren eine lichtemittierende Schicht umfassend, die mindestens eine zusätzliche mikrokristalline Halbleiterschicht (**14, 24, 93**) umfasst und wobei die Gesamtdicke der mikrokristallinen Schichten weniger als oder gleich 80 Nanometern ist.

8. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 2, des Weiteren umfassend eine lichtemittierende Schicht, die mindestens eine zusätzliche Halbleiterfeinlinienschicht umfasst, wobei jede zusätzliche Halbleiterfeinlinienschicht der Halbleiterfeinlinienschicht (**72, 73**) äquivalent ist, wobei die Lichtemissionsschicht eine Dicke von weniger als oder gleich 80 Nanometern aufweist.

9. Halbleitervorrichtung umfassend:
eine erste leitfähige Schicht (**31, 103, 127**);
eine zweite leitfähige Schicht (**34, 105, 129**); und
eine mehrschichtige Halbleiterstruktur (**104, 128**), die zwischen den ersten und zweiten leitfähigen Schichten (**11**) eingebracht ist, wobei die Struktur eine abwechselnde Lamination mehrerer Halbleiterschichten (**32**) der zweiten Gruppe IV und mehrere isolierende oder dielektrische Filme (**33**) umfasst, wobei jede der Halbleiterschichten (**32**) der zweiten Gruppe

IV eine Dicke von weniger oder gleich 10 Nanometern aufweist, wobei jeder Film (33) eine Dicke aufweist, die weniger oder gleich 5 Nanometern ist, wobei die abwechselnde Lamination von Schichten eine Dicke von weniger als oder gleich 80 Nanometern aufweist, wobei die ersten (31, 103, 127) und zweiten (134, 105, 129) leitfähigen Schichten entweder: Halbleiterschichten der Gruppe IV mit entgegengesetzten Polaritäten sind; oder eine der ersten (31, 103, 127) und zweiten (34, 105, 129) leitfähigen Schichten ein Halbleiter vom n-Typ oder p-Typ der Gruppe IV ist und die andere leitfähige Schicht eine Metallschicht ist; wobei auf das Aufbringen einer Spannung zwischen den ersten (31, 103, 127) und zweiten (34, 105, 129) leitfähigen Schichten hin Elektronen und Löcher sich durch die Filme (33), die eine hohe Resistivität aufweisen, hindurchtunneln zur Injizierung in die Halbleiterschichten (32) der zweiten Gruppe IV zur Rekombination der Elektronen und Löcher für die Emission von Licht und wobei die Halbleiterschichten der zweiten Gruppe IV Silicium umfassen.

10. Eine Halbleitervorrichtung umfassend ein Lichtaufnahmeelement, das aus Halbleiter der Gruppe IV hergestellt ist und eine Halbleitervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche werden auf demselben Halbleitersubstrat bereitgestellt.

11. Eine Halbleitervorrichtung umfassend eine integrierte Schaltung mit mindestens zwei Transistoren, die aus Halbleiter der Gruppe IV hergestellt sind, einen Widerstand, einen Kondensator und ein Lichtaufnahmeelement, das aus Halbleiter der Gruppe IV hergestellt ist und eine Halbleitervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche werden auf demselben Halbleitersubstrat bereitgestellt.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

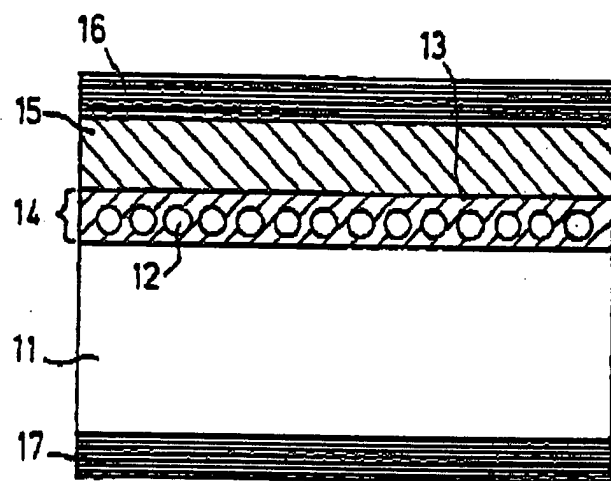


FIG. 1

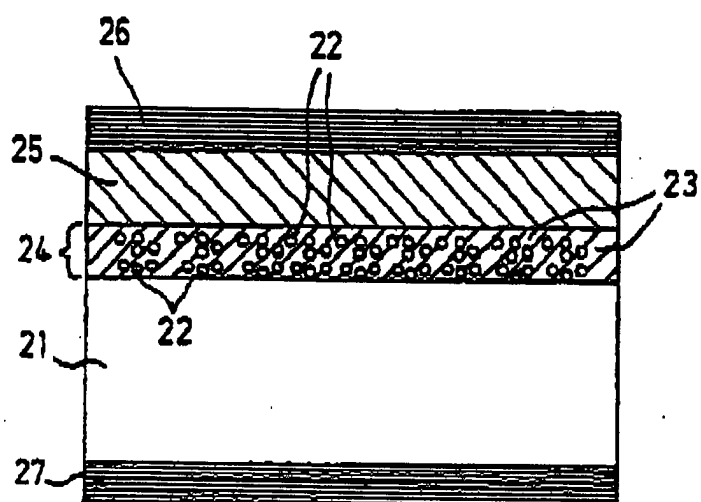


FIG. 2

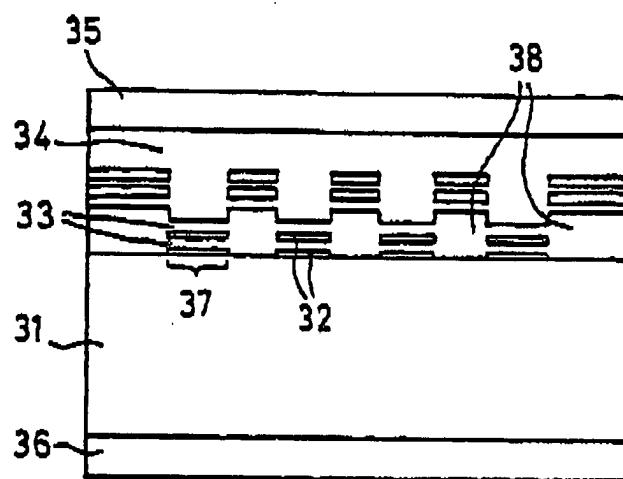


FIG. 3

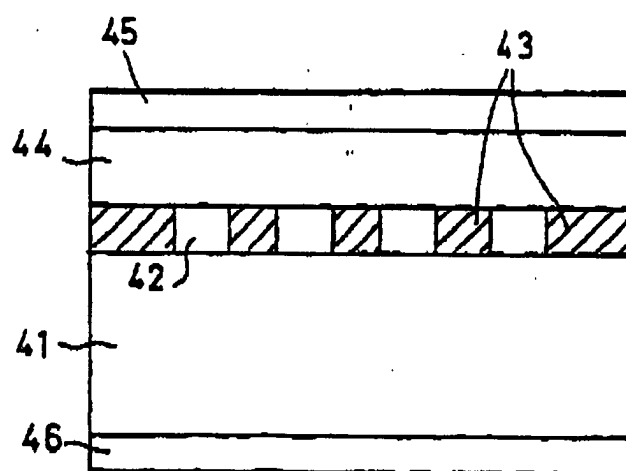
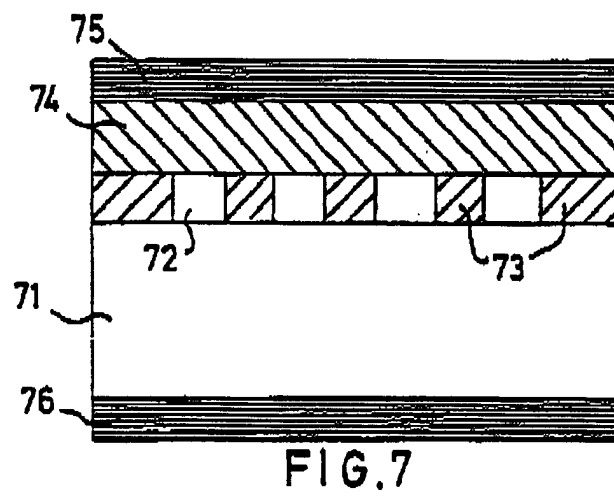
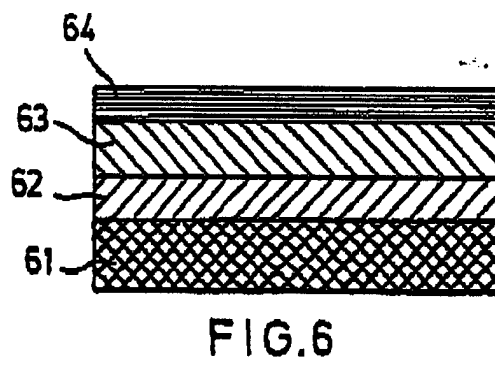
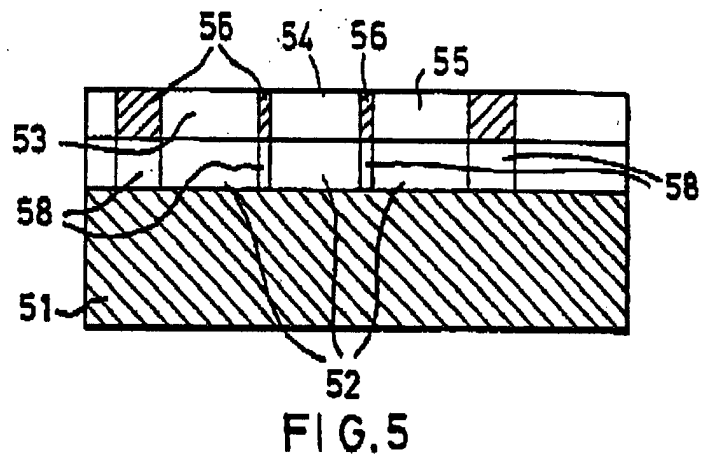
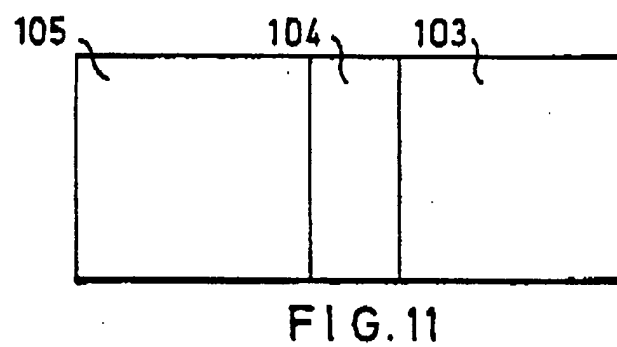
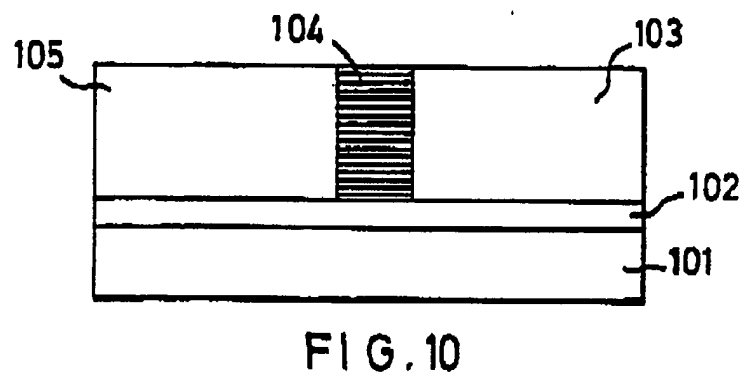
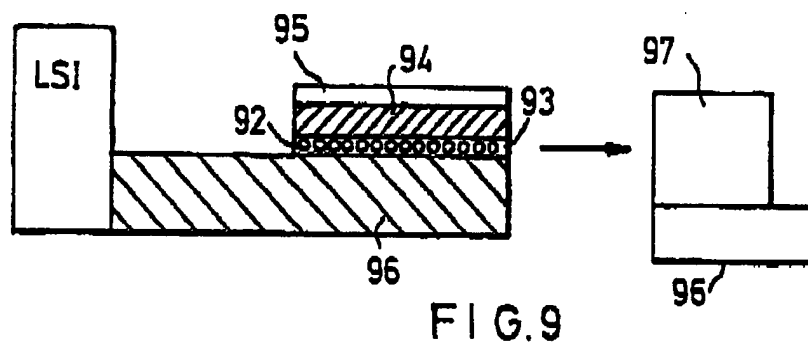
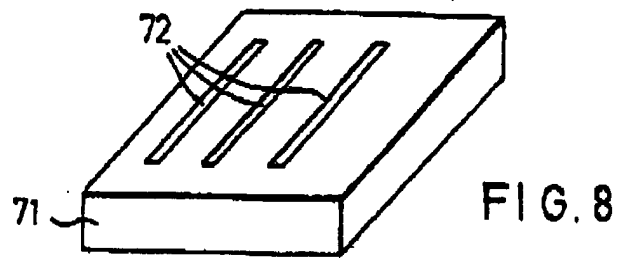


FIG. 4





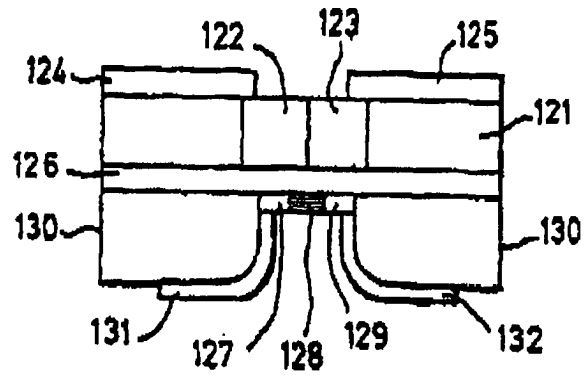


FIG. 12

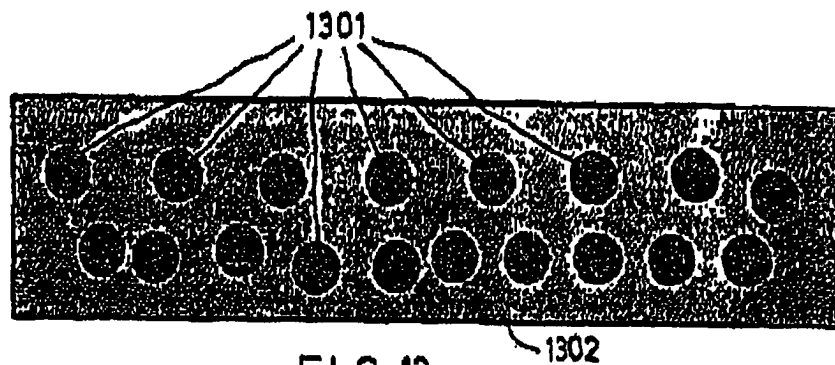
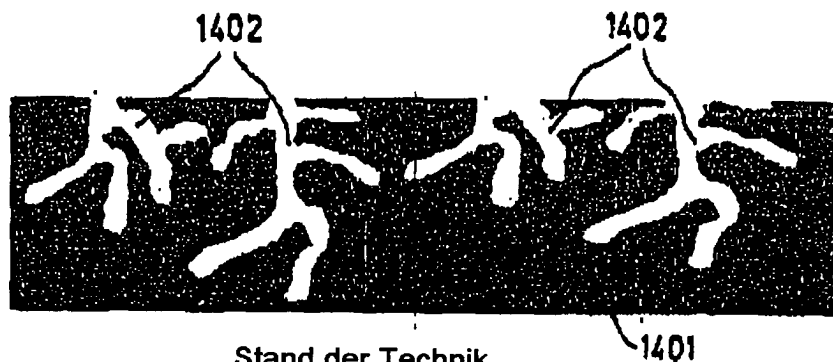


FIG. 13



Stand der Technik

FIG. 14

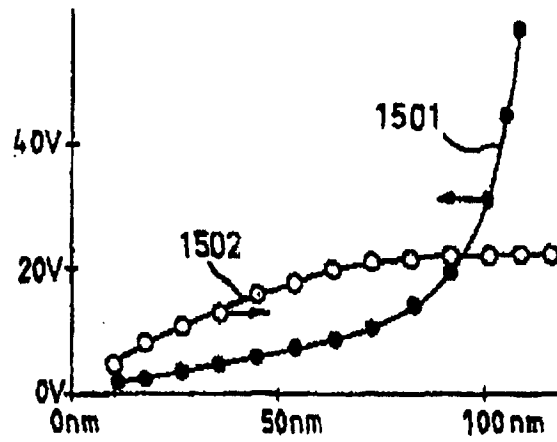


FIG. 15

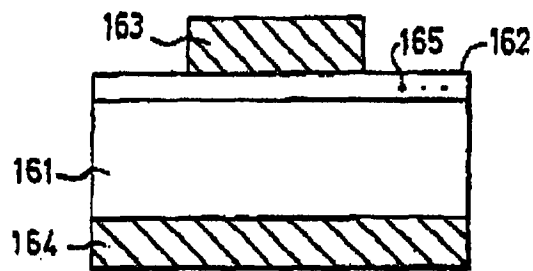


FIG. 16

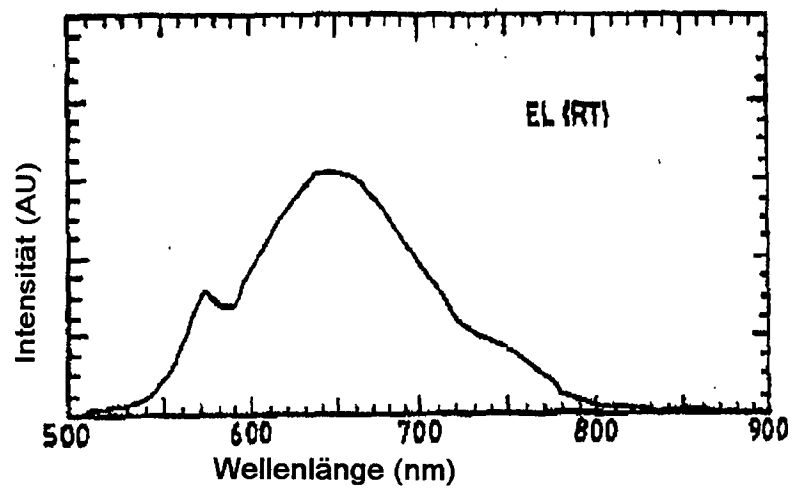


FIG. 17