(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 694 33 361 T2** 2004.09.16

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 734 586 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **694 33 361.1**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US94/14152**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **95 904 304.3**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 95/017005**
(86) PCT-Anmeldetag: **07.12.1994**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **22.06.1995**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.10.1996**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **26.11.2003**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **16.09.2004**

(51) Int Cl.[7]: **H01L 25/16**
H01L 25/075, H01L 21/58, H01L 23/13, H01L 21/78, B81C 3/00

(30) Unionspriorität:
169298 **17.12.1993** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
The Regents of the University of California, Oakland, Calif., US

(74) Vertreter:
PAe Reinhard, Skuhra, Weise & Partner GbR, 80801 München

(72) Erfinder:
SMITH, S., John, Berkeley, US; YEH, J., Hsi-Jen, Covina, US

(54) Bezeichnung: **Herstellungsmethode von selbstmontierenden Mikrostrukturen**

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

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

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf den Bereich elektronischer integrierter Schaltkreise. Die Erfindung wird an einem Beispiel mit Bezug auf das Herstellen von Galliumarsenid-Mikrostrukturen auf einem Siliciumsubstrat erklärt, aber man wird erkennen, dass die Erfindung einen breiteren Anwendungsbereich haben wird. Die Erfindung kann allein beispielsweise für das Herstellen von Vorrichtungen hergenommen werden, welche auf Silicium basierende elektrische Vorrichtungen beinhalten, welche aus auf Galliumarsenid basierenden Mikrostrukturen (oder -vorrichtungen) zusammengesetzt sind, wie z. B. Licht emittierenden Dioden (LEDs), Lasern, Tunneltransistoren, Gunn-Oszillatoren, integrierten Schaltkreisen, Solarkollektoren und anderen.

[0002] Die Industrie benötigt aktuell ein kosteneffizientes, effizientes und praktisches Verfahren zum Anordnen einer kostspieligeren Mikrostruktur auf einem kommerziell erhältlichen Substrat niedrigerer Kosten. Speziell besitzt ein Material wie z. B. Galliumarsenid wesentlich bessere Charakteristika für einige spezifische elektronische und optoelektronische Anwendungen als Materialien wie z. B. Silicium. Jedoch werden bei der Herstellung von Galliumarsenid-Vorrichtungen im Wesentlichen Bereiche eines Galliumarsenidwafers typischerweise nicht benutzt und vergeudet. Derartige nicht benutzte Bereiche erzeugen im Allgemeinen ein ineffizientes Gebrauchen von kostbarer Chipfläche. Zusätzlich erfordert das Bearbeiten von Galliumarsenid typischerweise spezielle Techniken, Chemikalien und Geräte und ist deshalb sehr kostenaufwändig.

[0003] Andere Anwendungen, wie z. B. integrierte Schaltkreise großen Ausmaßes (VLSI), können besser in Silicium als in Galliumarsenid hergestellt werden. Außerdem kann es bei weiteren Anwendungen wünschenswert sein, integrierte Schaltkreise herzustellen, welche Charakteristika beider Materialtypen besitzen. Entsprechend muss die Industrie ein effektives Verfahren zum Herstellen einer Galliumarsenid-Vorrichtung entwickeln, welche aus einem auf Silicium basierendem integriertem Schaltkreis zusammengesetzt ist. Die daraus hervorgehende Struktur eines derartigen Verfahrens beinhaltet die Vorteile von sowohl auf Galliumarsenid als auch auf Silicium basierenden Vorrichtungen.

[0004] Verfahren, wie z. B. das Flip-Chip-Bonden bzw. Kontakte-Anbringen, Abhebeverfahren und andere, beanspruchen im Allgemeinen große Flächen eines Substrates und sind mit einer Mikrostruktur entsprechend dem Stand der Technik, welche Abmessungen im µm-Bereich besitzt, nicht kompatibel. Derartige Verfahren erzeugen häufig Schwierigkeiten beim Positionieren eines Partikels auf einem Substrat. Demzufolge muss die Industrie ein effektives Verfahren zum Herstellen von kostspieligen Materialien, wie z. B. einer Galliumarsenid-Mikrostruktur auf einem Substrat niedrigerer Kosten, wie z. B. Silicium, entwickeln.

[0005] Die Industrie nutzt oder hat verschiedene Verfahren für das Herstellen individueller elektronischer Komponenten (oder allgemein von Mikrostrukturen) und für das Anordnen derartiger Strukturen auf einem Substrat vorgeschlagen. Eine Vorgehensweise besteht darin, Galliumarsenid-Vorrichtungen direkt auf einem Siliciumsubstrat zu ziehen. Diese Vorgehensweise ist jedoch eingeschränkt, da die Gitterstruktur von Galliumarsenid nicht an die von Silicium angepasst ist. Zusätzlich ist das Ziehen von Galliumarsenid auf Silicium von Natur aus schwierig und daher kostspielig. Demzufolge kann Galliumarsenid nicht effizient auf einem Siliciumsubstrat gezogen werden.

[0006] Ein anderes Verfahren wird von Sliwa im US-Patent Nr. 4,990,462 beschrieben, in welchem ein Verfahren zur koplanaren Integration von Halbleiter-IC-Vorrichtungen beschrieben wird, welche Segmente in perfekter dreidimensionaler Ausrichtung und in perfekter partikulärfreier Weise mit einem hohen Durchsatz zusammenbringen, und eine hohe Reproduzierbarkeit wird bei geringen Kosten erreicht, indem eine flüssige Oberflächenspannung angewendet wird, welche durch einen Schwebe- bzw. Schwimm- und Montagemechanismus in Gang gehalten wird. Im Wesentlichen ziehen sich die Segmente selbst zusammen, um die Oberflächenspannung zu minimieren, und durch diesen Vorgang begrenzt die Flüssigkeit selbst und dämpft hydrodynamisch die Maximalkräfte, welchen die Segmente ausgesetzt sind.

[0007] Ein anderes Verfahren, welches im US-Patent Nr. 4,949,148 von Bartelink veröffentlicht ist, handelt von einer sich selbst justierenden integrierten Schaltkreisanordnung. Darin ist die Mikrostruktur, welche mit einem Substrat integriert ist, welches einen Substrat- oder einen Trägerwafer aufweist, welcher eine Vielzahl von Aussparbereichen oder Öffnungen auf demselben besitzt, und eine Vielzahl von geformten Blöcken oder Stiftblöcken aufweist, welche mit den Aussparbereichen integriert sind, wobei die geformten Blöcke eine integrierte Schaltung oder einen IC-Chip darauf beinhalten.

[0008] Ein andere Vorgehensweise wird von Yando im US-Patent Nr. 3,439,416 beschrieben. Yando beschreibt Komponenten oder Strukturen, welche auf einem Feld von Magneten platziert, eingefangen oder in Schwingung versetzt werden. Derartige Magnete beinhalten magnetisierte Schichten, welche sich mit nicht-magnetisierten Schichten abwechseln, um eine Laminatstruktur zu bilden. Die Komponenten werden auf die Anordnung der Magnete angepasst, welche eine Baugruppe daraus bilden. Jedoch bestehen strenge Grenzen bezüglich der Form, der Abmessung und der Verteilung der Komponenten. Die Komponentenbreite muss dem Abstand der magnetischen Schichten angepasst sein, und die Verteilung

der Komponenten ist auf parallele Geometrie der Laminatbildung beschränkt. Zusätzlich erfordert das Selbstjustieren der Komponenten das Vorhandensein der laminierten Struktur. Außerdem besitzen die Strukturen, welche von Yando veröffentlicht werden, Abmessungen im Millimeterbereich und sind deshalb nicht kompatibel mit integrierten Schaltkreisstrukturen im Mikrometerbereich. Demzufolge sind das Verfahren und die Struktur, welche von Yando veröffentlicht werden, zu groß und zu kompliziert, um für die Montage einer Mikrostruktur oder einer Komponente entsprechend dem Stand der Technik auf dem Substrat effektiv zu sein.

[0009] Eine andere Vorgehensweise beinhaltet das Paaren physikalischer Eigenschaften zwischen einer betriebsfertigen Oberflächenmontiervorrichtung und einem Substrat, wie es im US-Patent Nr. 5,034,802 von Liebes, Jr. et al. beschrieben wird. Der beschriebene Montagevorgang erfordert den Arm eines Menschen oder Roboters, um physikalisch eine betriebsfertige Oberflächenmontiervorrichtung mit Zentimetergröße auf einem Substrat aufzunehmen, auszurichten und zu befestigen. Ein derartiger Vorgang ist mit Einschränkungen verbunden, da der Arm eines Menschen oder Roboters benötigt wird. Der Arm des Menschen oder des Roboters ordnet jede betriebsfertige Vorrichtung auf dem Substrat nacheinander und nicht gleichzeitig an, wodurch die Effizienz und Effektivität des Vorgangs eingeschränkt ist. Außerdem nutzt das Verfahren Vorrichtungen mit Abmessungen im Zentimeterbereich (oder betriebsfertige, oberflächenmontierte integrierte Schaltkreise) und würde nur eine geringe Anwendungsmöglichkeit bei integrierten Schaltungen mit Mikrometerabmessungen in Chipform erbringen.

[0010] Eine andere Vorgehensweise, wie z. B. eine, welche im US-Patent Nr. 4,542,397 von Biegelsen et al. beschrieben wird, beinhaltet ein Verfahren zum Platzieren von Strukturen in Parallelogrammform durch mechanische Schwingung auf einem Substrat. Alternativ kann das Verfahren auch das Pulsieren von Luft über Öffnungen in der Stützoberfläche (oder dem Substrat) anwenden. Eine Einschränkung des Verfahrens liegt in dem Gerät, welches in der Lage ist, die Strukturen in Schwingung zu versetzen oder auf einem Gerät zum Pulsieren der Luft durch die Öffnungen. Außerdem bezieht sich das beschriebene Verfahren auf Chips im Zentimeterbereich und würde nur eine geringe Anwendbarkeit auf Strukturen mit Mikrometerabmessungen entsprechend dem Stand der Technik besitzen.

[0011] Eine weitere Vorgehensweise, wie sie im US-Patent Nr. 4,194,668 von Akyurek beschrieben wird, beschreibt ein Gerät zum Justieren und Löten von Elektrodenfüßchen auf lötbaren Ohmschen Anodenkontakten. Die Anodenkontakte sind Teile der individuellen Halbleiterchips, welche auf einem Wafer angeordnet sind. Das Montieren der Strukturen erfordert Techniken des Aufstreuens der Füßchen auf einer Maske und dann des elektromagnetischen In-Schwingung-Versetzens dieser Füßchen zur Justierung. Das Verfahren ist eingeschränkt, da die Notwendigkeit für ein Shaker-Gerät für den Schritt des elektromagnetischen In-Schwingung-Versetzens besteht. Zusätzlich erfordert das Verfahren eine Zuführoberfläche, welche leicht gegenüber der Maske geneigt ist, um die elektronischen Füßchen auf die Maske zu übertragen. Außerdem steht das Verfahren nur im Kontext für Elektrodenfüßchen und Siliciumwafer, wodurch es das Anwenden dieses Verfahrens auf diese Strukturen begrenzt.

[0012] Noch eine andere Vorgehensweise erfordert die Montage integrierter Schaltungen auf einem Substrat über elektrostatische Kräfte, wie es in der Anmeldung mit der Seriennummer 07/902,986 mit Datum vom 23. Juni 1992 von Cohn beschrieben wird, welche am 18. Oktober 1994 als US 5,355,577 veröffentlicht wurde. Die elektrostatischen Kräfte bringen die Partikel so in Schwingung, dass die Partikel in einem Zustand minimaler potenzieller Energie angeordnet werden. Eine Einschränkung eines derartigen Verfahrens besteht im Bereitstellen eines Gerätes, welches in der Lage ist, die Partikel mit elektrostatischen Kräften in Schwingung zu versetzen. Außerdem fügt das Verfahren von Cohn einem Teil der integrierten Schaltungen durch das mechanische In-Schwingung-Versetzen dieser gegeneinander Schaden zu, und es ist auch im Allgemeinen ineffektiv. Entsprechend ist das Verfahren typischerweise nicht kompatibel für eine Mikrostruktur entsprechend dem Stand der Technik.

[0013] Aus Obigem kann ersehen werden, dass ein Verfahren des Montierens einer Mikrostruktur auf einem Substrat, welches kompakt ist, niedrige Kosten hat, effizient, zuverlässig ist und geringe Wartung benötigt, wünschenswert ist.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0014] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine daraus resultierende Struktur zum Bilden bzw. Aufbringen einer Mikrostruktur auf einem Substrat. Speziell beinhaltet das Verfahren das Überführen geformter Blöcke oder allgemein von Strukturen mittels eines Fluids auf der oberen Oberfläche eines Substrates, welches ausgesparte Bereiche oder allgemein Verbindungsstellen oder Rezeptoren aufweist. Beim Überführen richten sich die Blöcke aufgrund ihrer Form auf den ausgesparten Bereichen selbst aus und gliedern sich darauf ein. Die sich ergebende Struktur kann eine Vielfalt nützlicher elektronischer integrierter Schaltkreise beinhalten, welche aus auf Galliumarsenid basierenden Mikrostrukturen zusammengesetzt sind, wie z. B. Licht emittierenden Dioden (LEDs), Lasern, Tunneltransistoren, Gunn-Oszillatoren, integrierten Schaltungen, Solarkollektoren und anderen integriert sind.

[0015] In einer spezifischen Ausführungsform liefert das Verfahren das Bilden einer Mikrostruktur, wie z. B. eines Blockes in Mikrometergröße auf einem Sub-

strat. Das Substrat beinhaltet eine obere Oberfläche mit wenigstens einem ausgesparten Bereich auf dieser und kann entweder ein Siliciumwafer, ein Galliumarsenidwafer ein Glassubstrat, ein Keramiksubstrat oder etwas anderes sein. Das Substrat kann auch eine Plastikplatte sein, welche mit einer Technik, wie z. B. Stanzen, Spritzgießen u. a., hergestellt wird. Die Schritte des Bildens beinhalten das Bereitstellen von geformten Blöcken und das Überführen der Blöcke in ein Fluid, um eine Mischung daraus oder allgemein eine Aufschlämmung zu bilden. Eine derartige Aufschlämmung wird dann gleichmäßig über dem Substrat mit einer Geschwindigkeit verteilt, bei welcher wenigstens einer der geformten Blöcke in einem ausgesparten Bereich angeordnet wird. Das Verteilen tritt im Wesentlichen bei einem laminaren Fließen auf und gestattet einem Teil der geformten Blöcke, sich selbst in dem ausgesparten Bereich auszurichten.

[0016] Das Verfahren liefert geformte Blöcke, welche ein trapezförmiges Profil, aus einem verbesserten Herstellprozess aufweisen. Die Herstellung beinhaltet das Bereitstellen eines zweiten Substrats, welches eine obere Oberfläche besitzt, und das Ziehen einer Opferschicht, welche über der oberen Oberfläche liegt. Ein Schritt des Bildens einer Blockschicht, welche über der oberen Oberfläche liegt, wird dann durchgeführt. Das Maskieren und Ätzen der Blockschicht bis hinauf zur Opferschicht erzeugt trapezförmige geformte Blöcke auf dieser. Ein Schritt des bevorzugten Ätzens der Opferschicht hebt jeden der trapezförmigen geformten Blöcke auf. Derartige Blöcke werden dann gespült und in eine Lösung überführt, welche die Aufschlämmung bildet.

[0017] Der geformte Block weist eine abgestumpfte Galliumarsenid-Pyramidenstruktur auf. Die abgestumpfte Pyramidenstruktur beinhaltet eine Grundfläche mit vier Seiten, welche sich von da zu einer oberen Oberfläche erstrecken. Jede Seite erzeugt einen Winkel zwischen ungefähr 50° und ungefähr 70° von der Grundfläche zu einer Seite hin. Jede Seite kann auch eine Höhe zwischen ungefähr 5 μm und ungefähr 15 μm besitzen. Die Grundfläche kann eine Länge zwischen ungefähr 10 μm und ungefähr 50 μm besitzen und eine Breite zwischen 10 μm und ungefähr 50 μm.

[0018] Das verbesserte Verfahren steht im Zusammenhang mit einem trapezförmigen Block, welcher aus Galliumarsenid hergestellt ist, welcher, nur für erläuternde Zwecke, auf einem Siliciumsubstrat gebildet wird. Die geformten Blöcke können auch eine zylindrische Form, eine Pyramidalform, rechteckige Form, quadratische Form, T-Form, Nierenform oder ähnliche (symmetrische und asymmetrische Formen und deren Kombinationen beinhalten). Im Allgemeinen gestattet die Form des Blocks, dass er dicht in einem ähnlich geformten ausgesparten Bereich oder Rezeptor auf einem Substrat eingeführt werden kann. Die geformten Blöcke weisen auch ein Material, wie z. B. Galliumaluminiumarsenid, Silicium, Diamant, Germanium, andere Komponenten der Gruppe III-V und II-VI, und vielschichtige Strukturen, neben anderen, auf. Eine derartige vielschichtige Struktur kann Metalle, Isolatoren, wie z. B. Siliciumdioxid, Siliciumnitrid u. Ä. und Kombinationen davon beinhalten.

[0019] Ein weiteres Verständnis der Beschaffenheit und der Vorteile der Erfindung wird aus dem Bezug auf die verbleibenden Teile der Spezifikation und der Zeichnungen offensichtlich.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0020] **Fig.** 1 ist ein Galliumarsenidwafer, welcher eine mit Molekularstrahlepitaxie (MBE) gezogene Galliumarsenidschicht für das verbesserte Herstellverfahren aufweist;

[0021] **Fig.** 2 ist eine Darstellung von trapezförmigen Galliumarsenidblöcken, welche aus einer MBE-gezogenen Galliumarsenidschicht geätzt sind;

[0022] **Fig.** 3 ist eine Darstellung eines Abhebschrittes der Galliumarsenidblöcke;

[0023] **Fig.** 4 ist eine Darstellung eines Teils eines alternativen Abhebschrittes, wobei ein dazwischen liegendes Substrat benutzt wird;

[0024] **Fig.** 5 ist eine Darstellung eines anderen Teils des alternativen Abhebschrittes der **Fig.** 4;

[0025] **Fig.** 6 ist eine Darstellung des jeweiligen Selbstjustierens des Galliumarsenidblockes auf einem Siliciumsubstrat;

[0026] **Fig.** 7 ist eine Ausführungsform einer Mikrostruktur, welche auf dem Siliciumsubstrat entsprechend dem optimierten Verfahren, welches in den **Fig.** 1–3 und 6 gezeigt wird, angeordnet ist;

[0027] **Fig.** 8 ist eine alternative Ausführungsform einer Mikrostruktur, welche auf dem Substrat angeordnet ist;

[0028] **Fig.** 9 ist eine Ausführungsform einer Mikrostruktur, welche auf einem Substrat angeordnet ist, welches eine Galliumarseniddiode bildet;

[0029] **Fig.** 10 ist eine alternative Ausführungsform einer Mikrostruktur, welche auf einem Substrat angeordnet ist, welche eine Galliumarseniddiode bildet;

[0030] **Fig.** 11 ist eine weitere alternative Ausführungsform einer Mikrostruktur, welche auf einem Substrat angeordnet ist, welche eine Galliumarseniddiode bildet;

[0031] **Fig.** 12 ist eine Darstellung von Beispielen geformter Blöcke;

[0032] **Fig.** 13 ist eine Photographie einer angeordneten Mikrostruktur entsprechend dem Experiment; und

[0033] **Fig.** 14 ist eine Photographie einer Photodiode in Funktion entsprechend dem Experiment;

[0034] **Fig.** 15 ist eine Photographie einer metallisierten Ringschicht, welche einen Galliumarsenidblock überdeckt;

[0035] **Fig.** 16 ist eine Strom-/Spannungskennlinie für eine Galliumarseniddiode entsprechend dem Experiment; und

[0036] **Fig.** 17 ist eine Strom-/Spannungsdarstel-

lung für eine Galliumarsenid/Aluminiumarsenid-Resonanztunneldiode entsprechend dem Experiment.

BESCHREIBUNG DER SPEZIELLEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0037] Mit Bezug auf die **Fig.** 1–17 liefert die vorliegende Erfindung ein verbessertes Verfahren zum Herstellen einer Mikrostruktur auf einem Substrat. Die **Fig.** 1–17 stehen z. B. in Zusammenhang mit dem Herstellen und Anordneneines geformten Galliumarsenidblocks auf einem Siliciumsubstrat, dies nur für erläuternde Zwecke.

[0038] Beim Anordnen eines Galliumarsenidblocks auf einem Siliciumwafer richten sich trapezförmige Blöcke in invers geformten, trapezförmigen ausgesparten Bereichen, welche sich auf der oberen Oberfläche des Siliciumwafers befinden, selbst aus. Die Schritte für ein derartiges Verfahren beinhalten das Bilden der Galliumarsenidblöcke, das Überführen der Blöcke in eine Lösung, welche eine Aufschlämmung bildet, und das gleichmäßige Ausbreiten der Aufschlämmung über die obere Oberfläche eines Siliciumsubstrates, welches ausgesparte Bereiche besitzt. Während der Schritte des Ausbreitens richten sich die Blöcke selbst aus und setzen sich in den ausgesparten Bereichen fest, während sie über den Fluid auf der oberen Oberfläche transportiert werden. Die Details für das Herstellen des Siliciumsubstrates, welches ausgesparte Bereiche besitzt, wird detailliert nachfolgend nach einer kurzen Diskussion des Bildens der Galliumarsenidblöcke diskutiert.

[0039] In einer speziellen Ausführungsform liefert das Verfahren als ein Beispiel einen Schritt des Bildens trapezförmiger Blöcke aus einem Galliumarsenidwafer. Ein derartiger Schritt beinhaltet das Liefern eines Galliumarsenidwafers **10**, wie dies in **Fig.** 1 dargestellt wird. Das Verfahren liefert auch das Bilden einer Opferschicht **13** durch chemische Dampfabscheidung, Sputtern o. Ä., wodurch die Oberfläche **15** des Galliumarsenidwafers **10** bedeckt wird. Eine derartige Opferschicht **13** beinhaltet z. B. Galliumarsenid. Andere Opferschichten können Indiumphosphat, Siliciumdioxid, Photoresist neben anderen Materialien beinhalten, welche in der Lage sind, selektiv geätzt zu werden. Natürlich hängt die benutzte Opferschicht von der speziellen Anwendung ab. Für eine Aluminiumarsenid-Opferschicht beträgt die Dicke für eine derartige Schicht zwischen ungefähr 0,1 μm und ungefähr 5,0 μm, und vorzugsweise ungefähr 1 μm. Vor dem Bilden der Opferschicht **13** entfernt ein Ätzenschritt der oberen Oberfläche **15** irgendwelche nativen Oxide durch Verfahren wie Nassätzen, Plasmaätzen oder reaktives Ionenätzen. Alternativ entfernt ein Schritt der Desorption in Gegenwart von Arsen die native Oxidschicht. Ein nachfolgender bevorzugter Ätzschritt (wird im Detail später diskutiert) entfernt die Opferschicht **13**, um das Abheben jedes Galliumarsenidblocks (auch einer so genannten mesageformten oder trapezförmig geformten oder abgeschnitten-pyramidenförmigen Struktur), welcher auf der darüber liegenden Opferschicht **13** gebildet ist, zu erleichtern.

[0040] In **Fig.** 1 bildet sich die Galliumarsenidschicht **17** so, dass sie über der Opferschicht **13** liegt. Eine derartige Galliumarsenidschicht kann mit Verfahren hergestellt werden, welche die molekulare Strahlepitaxie, chemisches Gasphasenabscheiden und andere beinhaltet. Die Dicke (T) der Galliumarsenidschicht beträgt wenigstens 10 nm und mehr, und vorzugsweise ungefähr 10 μm und mehr, abhängig von der speziellen Anwendung.

[0041] Um die gewünschten Abmessungen des Blockes herzustellen, liefert das verbesserte Verfahren die Schritte des Maskierens und Ätzens der Galliumarsenidschicht **17**. **Fig.** 2 stellt das Galliumarsenidsubstrat **10** nach derartigen Maskier- und Ätzschritten dar und beinhaltet die Galliumarsenidblöcke **19** und eine Photoresistschicht **21**, welche oberhalb der Galliumarsenidschicht **17** (nicht gezeigt) liegt. Im Allgemeinen werden unbelichtete Bereiche der Galliumarsenidschicht **17** bis hinauf zur Opferschicht **13** geätzt, wie dies in **Fig.** 2 gezeigt wird. Ein derartiger Ätzschritt liefert eine Vielzahl von geformten Galliumarsenidblöcken **19**. Für das vorliegende Beispiel beinhalten die geformten Blöcke ein trapezförmiges Profil oder die Form einer abgeschnittenen Pyramide. Ein derartiges trapezförmiges Profil kann mit den Methoden des Nassätzens, des Plasmaätzens, des Ionenfräsens, des Reaktivionenätzens neben anderen hergestellt werden, abhängig von der Anwendung.

[0042] Im Allgemeinen erzeugt ein nasses Ätzen ein abgedachtes Profil entlang der Seiten oder Ränder jedes Galliumarsenidblocks. Für die Maskierränder parallel zur (110)-Richtung erzeugt ein Nassätzen ein nach außen schräg abfallendes Profil, wie es in **Fig.** 2 dargestellt wird. Alternativ erzeugen Maskierränder parallel zur (110)-Richtung ein nach innen abfallendes (oder umgekehrtes Mesa-)Profil. Das auswärts abfallende Profil liefert eine gewünschte Form, welche sich in ein Siliciumsubstrat integriert, welches ausgesparte Bereiche besitzt, welche in einer komplementären Art geformt sind.

[0043] Das Ionenfräsen produziert Galliumarsenidblöcke mit auswärts abfallenden Profilen, abhängig vom Strahlwinkel. Der Strahlwinkel wird zwischen ungefähr 0° bis ungefähr 30° von einer Normalen zur oberen Oberfläche **15** auf einem Galliumarsenidsubstrat **10** justiert. Um das auswärts abfallende (oder abgestumpft pyramidenförmige) Profil für jeden Block zu schaffen, wird die gesamte Struktur typischerweise während eines derartigen Ätzschrittes gedreht.

[0044] Reaktives Ionenätzen (RIE) erzeugt auch Galliumarsenidblöcke, welche ein geformtes Profil besitzen. Im Allgemeinen schafft ein derartiges Ätzverfahren Blöcke, welche unterschnittene Seiten oder ein umgekehrtes Mesa-Profil besitzen. Abhängig von Variablen, wie z. B. dem Ätzmittel, dem Druck, des Gerätes und anderen kann ein derartiges

Ätzverfahren Blöcke schaffen, welche im Wesentlichen gleich bleibende Formen und/oder Profile besitzen.

[0045] Nach dem Ätzen der MBE-gezogenen Schicht werden die trapezförmigen Blöcke über eine Abhebtechnik von dem Galliumarsenidsubstrat **10** durch bevorzugtes Ätzen der Opferschicht **13** entfernt, wie dies in **Fig.** 3 gezeigt ist. Eine derartige Abhebtechnik tritt z. B. durch ein bevorzugtes Nassätzen der Aluminiumarsenid-Opferschicht auf. Im Beispiel von Galliumarsenid wird ein derartiger Nassätzschritt typischerweise durch ein Fluorwasserstoff-Ätzmittel o. Ä. ausgeführt. Die benutzte Ätzlösung ätzt die Opferschicht, aber greift nicht aggressiv die Galliumarsenidblöcke und/oder die Substrate an.

[0046] Nach dem Trennen der Galliumarsenidblöcke vom Substrat **10**, entfernen Verfahren des Wässerns und Abgießens der nassen Ätzlösung die Blöcke aus der Lösung. Im Beispiel des Galliumarsenids wird das nasse Ätzmittel gewässert und abgegossen, indem gereinigtes Wasser, Methanol, Ethanol o. Ä. benutzt wird. Optional wird ein Spülschritt nach dem Wässerungs- und Abgießschritt durchgeführt. Der Spülschritt beruht auf Lösungen, wie z. B. Aceton, Methanol, Ethanol oder irgendeiner anderen inerten Lösung, welche wenig ätzende Eigenschaften aufweist. Eine derartige Lösung liefert auch ein Medium (oder ein Fluid) zum Erzeugen einer Mischung, welche Blöcke, welche in ihr oder allgemein in einer Aufschlämmung suspendiert sind, besitzt.

[0047] Anstatt der Abhebtechnik, wie sie in **Fig.** 3 dargestellt wird, schafft ein alternatives Abhebverfahren eine Zwischenstruktur **250** der **Fig.** 4 aus der Galliumarsenidstruktur der **Fig.** 2. Ein derartiges alternativen Abhebverfahren fördert auch das Abheben der geformten Blöcke bei Anwendungen, in welchen die Vorrichtungen auf der Rückseite der Blöcke gebildet sind. Wie gezeigt wird, beinhaltet das Verfahren das Verteilen eines Füllstoffs oder einer Wachsschicht **253**, vorzugsweise von Wachs mit hoher Temperatur, welches die obere Oberfläche der belichteten Bereiche der Opferschicht **13** und der Löcher **255** zwischen jedem Block **19** überdeckt. Ein derartiges Wachs beinhaltet ein Produkt mit Namen TECH WAX, welches von TRANSENE Co., Inc. hergestellt wird. Das Verfahren beinhaltet dann das Invertieren der Galliumarsenidstruktur der **Fig.** 2 und das Befestigen der oberen Oberfläche **21** auf dem dazwischenliegenden Substrat **257**. Ein derartiges dazwischen liegendes Substrat ist z. B. ein Siliciumwafer oder Ähnliches. Jedoch wird vor dem Befestigungsschritt die dazwischen liegende Substratoberfläche **261** den Schritten des Wegätzens der nativen Oxide vorzugsweise mit einem nassen Ätzmittel, wie z. B. Fluorwasserstoff-Ätzmittel und dem Behandeln der gereinigten Oberfläche mit einem das Kleben fördernden Mittel, wie z. B. Hexamethyldisilazan, auch HMDS genannt, unterzogen. Beim Entfernen des Galliumarsenidsubstrats **10** bleibt die Rückseite **263** um ungefähr 50 µm überlappt auf dem Substrat **10** angeordnet. Die verbleibende Dicke des Substrates **10** wird dann auf der Aluminiumarsenidschicht **13** aufgeätzt. Ein Ätzmittel, wie z. B. Ammoniumhydroxid und Wasserstoffperoxid (6 : 200 NH_3OH : H_2O_2) ätzt vorzugsweise das Galliumarsenidsubstrat bis hinauf zur Aluminiumarsenidschicht **13**. Entsprechend agiert die Aluminiumarsenidschicht als ein Stoppen des Ätzens, welches die Galliumarsenidblöcke **19** schützt. Das Entfernen der Aluminiumarsenidschicht **13** erfordert einen Schritt des Nassätzens, wobei ein Ätzmittel benutzt wird, wie z. B. Fluorwasserstoff-Ätzlösung. Ein derartiges Ätzmittel entfernt typischerweise die Aluminiumarsenidschicht nach einem kurzen Tauchen in eine derartige Lösung. Nachdem die Aluminiumarsenidschicht vollständig entfernt ist, bilden die Schritte, welche das Maskieren, Sputtern und Ätzen beinhalten, die metallisierten Ringkontakte **265**, wie dies in **Fig.** 5 dargestellt wird. Derartige metallisierte Ringkontakte werden durch Musterhergestellt, welche aus Photoresistschicht **267** gebildet werden. Das Metallisieren derartiger Kontakte beinhaltet u. a. Materialien, wie z. B. Gold, Aluminium. Alternativ können andere Prozessschritte, wie z. B. Ätzen, Maskieren, Implantieren, Diffundieren u. Ä., auf den Blöcken ausgeführt werden, um andere Profile ebenso wie aktive Vorrichtungen auf diesen zu schaffen. Eine Lösung, wie z. B. Trichlorethan (TCR) löst den Füllstoff oder das Wachs auf, welches zwischen jedem Block **19** und der Photoresistschicht **21** abgelagert ist, und hebt die Galliumarsenidblöcke **19** von dem dazwischen liegenden Substrat **257** ab. Um die Korrosion zu mindern, werden die Galliumarsenidblöcke einer inerten Lösung, wie z. B. Aceton, Methanol, Ethanol oder einer anderen Lösung zugeführt, welche niedrige Korrosionseigenschaften besitzt. Eine derartige inerte Lösung und die Blöcke werden häufig als eine Mixtur oder im Allgemeinen als eine Aufschlämmung bezeichnet.

[0048] Die Aufschlämmung weist eine inerte Lösung (eines Fluids) und geformte Blöcke auf. Es liegt genug Lösung in der Aufschlämmung vor, um zuzulassen, dass die Blöcke auf der oberen Oberfläche des Substrates gleiten. Vorzugsweise ist der Anteil der Lösung in der Mixtur wenigstens von der gleichen Größenordnung wie der Anteil der Blöcke. Natürlich hängt die Menge der Lösung notwendigerweise von den Charakteristika, wie z. B. der Blockgröße, des Blockmaterials, der Substratgröße, des Substratmaterials und der Lösung ab. Nach dem Aufbereiten wird die Aufschlämmung auf die obere Oberfläche **53** des Siliciumsubstrates **50** überführt oder auf ihr ausgebreitet, wie dies in **Fig.** 6 gezeigt wird. Die Details der Übertragungstechnik werden, nach einer kurzen Diskussion zur Herstellung des Siliciumsubstrates **50**, nachfolgend diskutiert.

[0049] Wie in **Fig.** 6 gezeigt wird, weist das Siliciumsubstrat **50** geätzte ausgesparte Bereiche **55** auf. Eine Vielzahl von Techniken, welche Nassätzen, Plasmaätzen, reaktives Ionenätzen, Ionenfräsen und andere beinhalten, liefern ausgesparte Bereiche **50**

oder allgemein Gräben, Rezeptoren oder Verbindungsstellen. Derartige Techniken ätzen ausgesparte Bereiche **50** mit einem geometrischen Profil, welches komplementär zum Block **19** ist. Im Siliciumsubstrat z. B. beinhaltet jeder ausgesparte Bereich ein trapezförmiges Profil oder eine invertierte Form einer abgeschnittenen Pyramide. Das trapezförmige Profil gestattet, dass der Block **19** sich selbst ausrichtet und genau in den ausgesparten Bereich **50** durch die verbesserte Überführtechnik passt.

[0050] Die Überführtechnik beinhaltet einen Schritt des gleichmäßigen Ausbreitens oder Gießens der Aufschlämmung über die obere Oberfläche **53**. Die Überführtechnik kann durch gleichmäßiges Gießen eines Gefäßes mit der Aufschlämmung über die obere Oberfläche **53** erreicht werden. Alternativ kann die Aufschlämmung auch von einer Pipette, einer Flasche, einem Becherglas oder aus einer anderen Art von Gefäß und/oder Gerät überführt werden, welches in der Lage ist, die Aufschlämmung gleichmäßig zur oberen Oberfläche **53** zu überführen. Im Allgemeinen wird die Aufschlämmung über die obere Oberfläche **50** mit einer Geschwindigkeit gegossen, welche es gestattet, substanziell die obere Oberfläche zu bedecken, jedoch verhindert, dass die Blöcke, welche bereits in den ausgesparten Bereichen abgelegt sind, herausfließen oder herausspringen zu lassen. Das Strömen der Aufschlämmung ist typischerweise laminar, aber es kann jedoch auch nicht laminar sein, abhängig von der speziellen Anwendung. Im Beispiel des Galliumarsenidblockes wird das Fließen des Fluids über die obere Oberfläche **53** bei einer Geschwindigkeit zwischen ungefähr 0,01 mm/sec und ungefähr 100 mm/sec durchgeführt. Vorzugsweise wird das Fließen des Fluids bei ungefähr 1 mm/sec durchgeführt. Bei derartigen Fließgeschwindigkeiten fließen die Blöcke gleichmäßig mit dem Fluid, fallen auf die obere Oberfläche **53**, richten sich selbst aus und setzen sich in den ausgesparten Bereiche **55** ab. Optional, um zu verhindern, dass Blöcke, welche sich bereits in den ausgesparten Bereichen abgesetzt haben, wieder herauszuschwimmen, kann der Schritt des Überführens in einer Zentrifuge o. Ä. stattfinden. Eine Zentrifuge übt z. B. eine Kraft auf die in den ausgesparten Bereichen sich bereits abgesetzten Blöcke aus und verhindert dadurch, dass diese Blöcke mit der Lösung ausgeschwemmt werden.

[0051] In einer speziellen Ausführungsform wird die sich ergebende Struktur **20** des Verfahrens, welches durch die **Fig.** 1–3 und 6 beschrieben wird, in **Fig.** 7 gezeigt. Die gebildete Mikrostruktur beinhaltet Siliciumsubstrat **10**, Galliumarsenidblöcke **19** und ausgesparte Bereiche **55**. Die trapezförmige Form der Blöcke und die ausgesparten Bereichen gestatten, dass sich ein Block selbst ausrichtet und genau in einen ausgesparten Bereich während des Überführschrittes passt. Ein Winkel (A), welcher zwischen einer Seite des Blocks und der entsprechenden Seite des ausgesparten Bereiches gebildet ist, liegt zwischen ungefähr im Wesentlichen 0° bis ungefähr 20°. Vorzugsweise ist ein derartiger Winkel kleiner als ungefähr 5°, aber größer als im Wesentlichen 0°. Ein derartiger Winkel erleichtert den Vorgang des Selbstausrichtens jedes Blockes. Das verbesserte Verfahren gestattet das Herstellen einer Vielzahl von Blöcken oder Mikrostrukturen auf einem Substrat durch verschieden geformte Blöcke und ausgesparte Bereichsgeometrien und durch den Fluidüberführschritt.

[0052] In einer Modifikation gegenüber der vorhergehenden spezifischen Ausführungsform werden die Blöcke **19** in den ausgesparten Bereichen **55** über die eutektische Schicht **55**, wie sie in der Struktur **70** der **Fig.** 8 dargestellt ist, befestigt. Vor dem Abhebeschritt wird eine metallisierte Schicht, wie z. B. Gold, Silber, ein Lötmittel o. Ä. auf der Oberfläche **73** gebildet. Alternativ kann die Schicht, welche den Block auf jedem ausgesparten Bereich befestigt, ein synthetischer Klebstoff o. Ä. anstatt einer eutektischen Schicht sein. Die Verfahrensschritte, welche Maskieren, Ätzen und Sputtern umfassen, bilden typischerweise eine derartige metallische Schicht. Nach dem Überführschritt bildet das Erwärmen der Struktur **70** die eutektische Schicht **75** zwischen der Metallisierschicht **73** und dem Siliciumsubstrat **10**. Die eutektische Schicht liefert sowohl einen mechanischen als auch einen elektrischen Kontakt zwischen dem Substrat **10** und dem Block **19**. Das Verfahren des Befestigens der Blöcke auf dem Substrat liefert eine effiziente, kosteneffektive und leichte Technik.

[0053] In einer alternativen spezifischen Ausführungsform liefern die Bereiche bzw. Teile des verbesserten Verfahrens der **Fig.** 1, 2, 4, 5 und 6 die sich ergebenden Licht emittierenden Dioden (LED) **200** aus Galliumarsenid, wie dies in **Fig.** 9 dargestellt wird. Wie gezeigt wird, beinhaltet die Galliumarsenid-LED das Siliciumsubstrat **203** und den Galliumarsenidblock **205**. Jeder Galliumarsenidblock beinhaltet wenigstens metallisierte Ringkontakte **207**, eine Galliumarsenidschicht **209** vom p-Typ, eine Galliumarsenidschicht **211** vom n-Typ und eine eutektische Schicht **213**. Um die Vorrichtung zum Leuchten zu bringen, wird Spannung an den metallisierten Ringkontakt **207** oder die metallisierte Schicht angelegt. Die Photonen (hv) werden von einem Zentralbereich innerhalb jedes metallisierten Ringkontakts **207** des Galliumarsenidblocks **205** zum Leuchten gebracht, wie dies gezeigt wird.

[0054] In einer weiteren alternativen spezifischen Ausführungsform bildet die verbesserte Struktur Licht emittierende Dioden (LED) **90** aus Galliumarsenid, wie dies in **Fig.** 10 dargestellt ist. Ähnlich der vorausgehenden Ausführungsform beinhaltet die Galliumarsenid-LED das Siliciumsubstrat **93** und den Galliumarsenidblock **95**. Jeder Galliumarsenidblock beinhaltet auch wenigstens die metallisierte Oberfläche **97**, eine Galliumarsenidschicht **101** vom p-Typ, eine Galliumarsenidschicht **103** vom n-Typ und eine eutektische Schicht **105**, ähnlich zur vorausgehenden Ausführungsform. Um die Vorrichtung zum Leuchten zu

bringen, wird Spannung an die Metallisierschicht **97** z. B. über einen Taster angelegt. Die Photonen (hv) werden aus einem Randbereich anstatt aus einem Zentralbereich des Galliumarsenidblocks **95** zum Leuchten gebracht, wie dies gezeigt wird.

[0055] In einer noch anderen spezifischen Ausführungsform bildet die verbesserte Struktur eine Galliumarsenidstruktur **120**, welche eine abgeschrägte Öffnung **123** besitzt, wie dies in **Fig.** 11 (nicht maßstabsgetreu) dargestellt wird. Ein Prozessschritt, wie z. B. das Nassätzen, Ionenfräsen, reaktives Ionenätzen und andere, bildet die abgeschrägte Aperturöffnung **123**. Die Galliumarsenidstruktur kann eine LED, ein Laser o. Ä. sein. Ähnlich zur vorausgegangenen Ausführungsform beinhaltet die Galliumarsenidstruktur **120** das Substrat **125** und den Galliumarsenidblock **127**. Die Struktur **120** beinhaltet auch eine obere Metallisierschicht **131**, wie z. B. Aluminium, welche den Galliumarsenidblock **127** überdeckt und eine Isolierschicht **133**. Eine Ringkontaktschicht **135** liefert einen mechanischen und elektrischen Kontakt zwischen dem Substrat **125** und dem Galliumarsenidblock **127**. Die mechanische Unterstützung und der elektrische Kontakt für den Galliumarsenidblock werden durch die Schicht **137** geliefert. Es wird auch eine Licht emittierende (oder lasernde) Apertur **139** gezeigt, welche eine Abmessung zwischen ungefähr 5 µm und ungefähr 40 µm besitzt. Um die Vorrichtung anzuschalten, wird Spannung an die metallisierte Schicht **131** gelegt. Photonen (hv) bringen den Galliumarsenidblock **127** zum Leuchten, durch die Licht emittierende Apertur **139** und durch die abgeschrägte Aperturöffnung **123**, wie dies gezeigt wird. Ein faseroptisches Kabel **141** nimmt die Photonen auf. Ein derartiges faseroptisches Kabel beinhaltet ein abgeschrägtes Empfängerende mit einem Durchmesser zwischen ungefähr 50 µm und ungefähr 200 µm.

[0056] Das verbesserte Verfahren und die sich ergebende Struktur stehen im Zusammenhang mit einem trapezförmigen Block, welcher aus Galliumarsenid, nur zu erläuternden Zwecken, hergestellt ist. Alternativ können das verbesserte Verfahren und die Struktur in Zusammenhang mit nahezu jedem Block stehen, welcher geformte Merkmale aufweist. Die geformten Merkmale gestatten, dass derartige Blöcke über die Oberfläche des Substrats aufgrund eines Fluidtransportes sich bewegen, sich entsprechend einem ausgesparten Bereich ausrichten und in einen derartigen ausgesparten Bereich einfügen. **Fig.** 12 stellt weitere Beispiele der geformten Blöcke dar. Wie gezeigt wird, können die Blöcke z. B. eine rechteckige Form **300**, eine oktogonale Form **303** oder eine kreisförmige Form **305** beinhalten. Der rechteckig geformte Block beinhaltet bis zu vier Orientierungen für das Einfügen in ein Substrat, welches einen entsprechenden ausgesparten Bereich besitzt. Alternativ beinhaltet der oktogonal geformte Block bis zu acht Orientierungen, und der kreisförmig geformte Block beinhaltet kontinuierliche bzw. fortlaufende Orientierungen, solange das engere Ende zuerst in den ausgesparten Bereich eingefügt wird. Derartige Blöcke können auch Material, wie z. B. Silicium, Galliumarsenid, Aluminiumgalliumarsenid, Diamant, Germanium, andere Komponenten aus der Gruppe III-V und II-VI, vielschichtige Strukturen, neben anderen, beinhalten. Derartige vielschichtigen Strukturen können Metalle, Isolatoren, wie z. B. Siliciumdioxid, Siliciumnitrid u. Ä. und Kombinationen davon beinhalten. Im Allgemeinen kann der Block aus nahezu jeglicher Art von Material hergestellt werden, welches in der Lage ist, geformte Merkmale zu bilden. Typischerweise werden derartige Blöcke mit Methoden hergestellt, welche das Ionenfräsen, reaktives Ionenätzen und ähnliches beinhalten. Um das Ausrichten jedes Blockes auf einen ausgesparten Bereich zu erleichtern, ist ein Winkel zwischen einer Seite des Blockes und der entsprechenden Seite des ausgesparten Bereiches für einen abgelegten Block zwischen ungefähr im Wesentlichen 0° bis ungefähr 20°. Vorzugsweise ist ein derartiger Winkel kleiner als ungefähr 5°, aber größer als im Wesentlichen 0°.

[0057] Der geformte Block wird mit einem Substrat, wie z. B. einem Siliciumwafer, einer Plastikplatte, einem Galliumarsenidwafer, einem Glassubstrat, einem Keramiksubstrat oder Ähnlichem zusammen angeordnet. Das Substrat beinhaltet nahezu jeden Typ von Material, welcher in der Lage ist, geformte ausgesparte Bereiche oder allgemein Örtlichkeiten der Verbindung oder Rezeptoren darauf zu bilden, welche zu den geformten Blöcken komplementär sind.

BEISPIELE

[0058] Um das Prinzip zu beweisen und die Funktion des Verfahrens und der Struktur zu demonstrieren, wurde ein Galliumarsenidblock in Form einer Diode auf einem Siliciumsubstrat gebildet und betrieben.

[0059] In einem Galliumarsenid-Beispiel wurde eine Aufschlämmung, welche Galliumarsenidblöcke beinhaltet, derart überführt, dass die Blöcke sich in den ausgesparten Bereichen, welche auf einer oberen Oberfläche eines Siliciumsubstrates platziert sind, selbst ausrichteten. Die Schritte für ein derartiges Verfahren beinhalteten das Bilden der Galliumarsenidblöcke, das Überführen der Blöcke in eine Lösung, welche eine Aufschlämmung bildet und das Übertragen der Aufschlämmung gleichmäßig auf einer oberen Oberfläche eines Siliciumsubstrates, welches ausgesparte Bereiche besitzt. Die geformten Blöcke fallen im Allgemeinen auf die obere Oberfläche des Substrats, richten sich selbst aus und kommen in Verbindung mit einem ausgesparten Bereich, welcher eine komplementäre Form besitzt.

[0060] Beim Schaffen des Siliciumsubstrates hat eine Lösung aus Ethylendiaminpyrocatecholpyrazin (EDP) oder Kaliumhydroxid (IOH) die ausgesparten Bereiche hergestellt, welche ein Trapezprofil oder die Form einer invertierten abgeflachten Pyramide besaßen. Jede Lösung erzeugte trapezförmige Profile,

welche eine Auswärtsneigung von ungefähr 55° bezüglich eines Winkels zur Normalen zur oberen Oberfläche des Substrates besitzen. Die trapezförmigen Profile traten entsprechend der Selektivität (1 : 100) zwischen der {111}-Ebene und der {100}- oder {110}-Ebene auf. Speziell wurde die {111}-Ebene langsamer im Verhältnis 1 : 100, als die {100}- oder {110}-Ebene geätzt.

[0061] Im vorliegenden Beispiel ätzte eine EDP-Lösung die ausgesparten Bereiche in ein Siliciumsubstrat. EDP beinhaltet Ethylendiamin (ungefähr 500 ml), Pyrocatechol (ungefähr 160 g.), Wasser (ungefähr 160 g.), Pyrazin (ungefähr 1 g.). Das EDP-Bad befand sich auch bei einer Temperatur von ungefähr 115°C. Vor dem Ätzschritt wurde eine thermische Oxid-(SiO_2-)Schicht, welche eine Dicke von ungefähr 200 nm besitzt, zuerst auf einer oberen Oberfläche des Substrates gebildet. Das Maskieren und Ätzen dieser Oxidschicht bildete rechteckig geformte Bereiche. Diese Bereiche wurden dann vertikal ungefähr um 10 µm geätzt, wobei quadratische Öffnungen auf der oberen Fläche von ungefähr 23 µm Länge gebildet wurden. Die Seiten ragen symmetrisch von jeder Öffnung zu einer quadratischen Basis hinunter, welche eine Länge von ungefähr 9 µm hat.

[0062] Beim Herstellen der trapezförmigen Blöcke lieferte ein epifertiger Zwei-Inch-(5-cm-)Galliumarsenidwafer vom n-Typ ein Substrat zum Bilden der sich selbst ausrichtenden Blöcke. Natürliches Oxid auf der oberen Oberfläche des derartigen Blockes wurde zuerst durch einen Desorptionsprozess entfernt. Der Desorptionsprozess beinhaltete das Aussetzen des Wafers einer Temperatur von ungefähr 700°C und Elementen, welche Arsen beinhalten. Nach dem Desorptionsschritt wurde eine Opferschicht, welche 1 µm von dotiertem oder undotiertem Aluminiumarsenid aufweist, auf und in Kontakt mit der oberen Oberfläche gezogen. Eine Dicke von ungefähr 10,7 µm aus Siliciumdotiertem Galliumarsenid wurde dann durch einen MBE-Prozess gezogen, welche die Aluminiumarsenidschicht überlagert. Die Siliciumdotierstoffe hatten eine Konzentration von ungefähr 10^{18} Atome/cm^3. Die obere Oberfläche der MBE-gezogenen Schicht wurde dann mit Photoresist gemustert.

[0063] Das Bemustern der oberen Oberfläche der MBE-gezogenen Schicht beinhaltete das Verteilen einer Photoresistschicht, welche eine Dicke von ungefähr 1,6 µm besitzt, über der oberen Oberfläche der MBE-gezogenen Galliumarsenidschicht. Der verwendete Photoresist ist ein Produkt, welches von Shipley mit dem Namen AZ1400-31 hergestellt wird. Die Schritte des Bemusterns beinhalteten auch wenigstens das Belichten, Entwickeln und Backen des Photoresists. Ein derartiger Schritt des Backens trat bei einer Temperatur von ungefähr 120°C während 1 Stunde auf, um die Photoresistschicht hartzubacken. Die Bemusterungsschritte bildeten eine Vielzahl von Rechtecken, wobei jedes eine Abmessung von ungefähr 35 µm zu 24 µm (belichtete Bereiche des Photoresists) auf der oberen Oberfläche besaß.

[0064] Nach dem Bemustern wurden die unbelichteten Bereiche geätzt, welche trapezförmige Blöcke bilden, welche an der Aluminiumarsenid-Opferschicht befestigt sind. Der richtige Sitz zwischen Block und ausgespartem Bereich erfordert, dass jeder Block im Wesentlichen die gleiche Form haben muss. Entsprechend wurden verschiedene Konzentrationen und Techniken des Nassätzens in diesem speziellen Beispiel getestet.

[0065] Im Allgemeinen führte das Nassätzen der unbelichteten Bereiche zu Ergebnissen, welche von der Orientierung bzw. Ausrichtung der Maskenränder abhängig waren. Wenn die Maskenränder parallel zu der [110]-Richtung waren, führte das Nassätzen der unbelichteten Regionen zu auswärts abfallenden Profilen von der oberen Oberfläche jedes Blockes. Alternativ führte das Nassätzen unbelichteter Bereiche, bei denen die Maskenränder parallel zu der [110]-Richtung waren, zu einwärts geneigten (oder umgekehrten Mesa-)Profilen.

[0066] Das Nassätzen erzeugte derartig unterschiedliche Profile (mesa und umgekehrt mesa), da Galliumarsenid zwei getrennte Sätze von {111}-Ebenen beinhaltet. In einer {111}-A- oder {111}-Galliumebene hat jedes Galliumatom auf der Oberfläche drei Arsenidatome unterhalb gebunden. Für eine {111}-B- oder {111}-Arsen-Ebene beinhaltet jedes Arsenidatom an der Oberfläche drei Galliumatome unterhalb gebunden. Jedes Arsenidatom in der {111}-B-Schicht beinhaltet ein Paar von angehängten Elektronen und wird deshalb belichtet. Diese angehängten Elektronen sind nicht in der Struktur der {111}-A-Ebene vorhanden. Entsprechend tendieren die {111}-B-Ebenen dazu, schneller als die {111}-A-Ebene geätzt zu werden, wodurch Blöcke gebildet werden, welche eine umgekehrte Mesa-Form besitzen, welche im Allgemeinen nicht kompatibel mit den ausgesparten Bereichen sind, welche auf dem Siliciumsubstrat geätzt sind.

[0067] Maskenränder parallel zur der [110]-Ebene produzierten größeres Unterschneiden als in den Fällen, wo Maskenränder parallel zu der [110]-Ebene waren. Im vorliegenden Beispiel erzeugten Maskenränder parallel zu der [110]-Richtung ungefähr 1,1 µm horizontales Ätzen pro Mikrometer des vertikalen Ätzens nahe der oberen Enden der Blöcke. Bereiche nahe der Basis der Blöcke erzeugte Ätzungen von ungefähr 0,8 µm des horizontalen Ätzens pro Mikrometer des vertikalen Ätzens für Bereiche nahe dem oberen Ende der Blöcke und 0,1 µm des horizontalen Ätzens pro Mikrometer der vertikalen Ätzung nahe dem Boden der Blöcke. Das Bilden des quadratischen Bereiches an der Basis erforderte eine längere Maske in der [110]-Richtung.

[0068] Zusätzlich zum Ausrichten der Maske beeinflusste die Konzentration des Ätzmittels auch die Form jedes Galliumarsenidblockes. Eine Lösung von Phosphorsäure, Wasserstoffperoxid und Wasser (H_2PO_3 : H_2O_2 : H_2O) lieferte ein vielversprechendes Ätzmittel für das MBE-Ziehen der Galliumarsenid-

schicht in dem vorliegenden Beispiel. Dieses Ätzmittel schuf drei getrennte Profile, abhängig vom Betrag an Wasserstoffperoxid und Wasser, welches der Phosphorsäure hinzugefügt wurde. Lösungskonzentrationen von Phosphorsäure (1 : 1 : 40 H_2PO_3 : H_2O_2 : H_2O) schufen ein trapezförmiges oder mesageformtes Profil, welches einen Winkel von 30° zwischen der oberen Oberfläche des Blockes und einer korrespondierenden Seite aufwies. Ätzlösungen, welche weniger konzentriert waren, erzeugten flachere trapezförmige oder mesageformte Profile unter Winkeln von ungefähr 10° bis 20°. Derartige flachere Profile waren wahrscheinlich das Ergebnis von Ätzreaktionen, welche transportbegrenzt in den {111}-B-Ebenen sind.

[0069] Höhere Konzentrationen von Phosphorsäure (1 : 1 : 20 H_2PO_3 : H_2O_2 : H_2O und darüber) führten zu einwärts abfallenden (oder umgekehrt Mesa-)Profilen, welche durch die Reaktion der {111}-B-Ebenen begrenzt sind. Vorzugsweise liefert eine Phosphorsäurenkonzentration (1 : 1 : 30 H_2PO_4 : H_2O_2 : H_2O) zwischen verdünnten und konzentrierten Lösungen bessere Profile für das Bilden von ausgesparten Bereichen, welche auf dem Siliciumsubstrat geätzt sind. Ein derartiges Ätzmittel erzeugte Blöcke, welche Winkel von 55° parallel zu der [110]-Ebene und 49° parallel zu der [110]-Ebene besitzen, und typischerweise wurde die MBE-gezogene Schicht mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 0,133 µm/Minute (oder ungefähr 133 nm/min) geätzt. Beim Herstellen der beschriebenen Ergebnisse wurde die Ätzlösung typischerweise wieder aufgefüllt, wenn sie verbraucht war.

[0070] Das Erhöhen des Verhältnisses von Phosphorsäure gegenüber Wasserstoffperoxid im Verhältnis 3 : 1 erzeugte ähnliche Profile gegenüber den beschriebenen Ergebnissen, aber führte im Allgemeinen zu rauen Oberflächen an den Seiten. Derartige raue Oberflächen waren für die vorliegende Anwendung wünschenswert.

[0071] In einer Modifikation dieses Beispiels erleichterte ein ähnliches nasses Ätzmittel (1 : 1 : 30 H_2PO_3 : H_2O_2 : H_2O) das Bilden der Galliumarsenidblöcke aus einer Aluminiumgalliumarsenid-MBE-gezogenen Schicht. Dieses Ätzmittel lieferte ein nach innen abfallendes Profil parallel zu der [110]-Richtung für eine aus Aluminiumgalliumarsenid (x = 0,1, $Al_xGa_{1-x}As$) gezogenen MBE-Schicht. Die vertikalen Ätzgeschwindigkeiten lagen bei ungefähr den gleichen wie für die Galliumarsenid-MBE-gezogene Schicht. Jedoch erhöhte das Vorhandensein von Aluminiumarsenid das Ätzen der {111}-B-Ebene bis zu den Grenzen der Reaktionsgeschwindigkeit. Dieses Ätzmittel erzeugte ein einwärts abfallendes Profil, da das Ätzen x = 0,1. $Al_xGa_{1-x}As$ reaktionsempfindlicher in der {111}-B-Ebene als im Galliumarsenid war.

[0072] Zusätzlich zum Nassätzen wurde auch Ionenfräsen eingesetzt, um die trapezförmigen geformten Galliumarsenidblöcke zu erzeugen. Ionenfräsen der MBE-gezogenen Galliumarsenidschicht lieferte nach außen abfallende Profile, welche von Winkeln von ungefähr 68° bis 90° zwischen der oberen Oberfläche und einer korrespondierenden Seite reichten. Um derartige Winkel herzustellen, reichten die Ionenstrahlwinkel von ungefähr 0° bis 25° bezüglich einer Normalen von der oberen Oberfläche zur MBE-gezogenen Schicht. Steilere Strahlwinkel (näher zu 90°) erzeugten im Allgemeinen senkrechte oder im Wesentlichen senkrechte Profile. Das Ionenfräsen erforderte auch, dass das Substrat um eine zentrale Achse während eines derartigen Bearbeitungsschritts gedreht wurde. Andere Prozessvariablen beinhalteten ein Argongas-Ätzmittel mit einem Druck von ungefähr 50 Millitorr, einer Ionenenergie von ungefähr 1000 V und einer Ionenfräsrate von 1 µm für jeweils sieben Minuten. Da die Photoresistmaske ungefähr 5 µm für jeweils 70 Minuten während des Fräsens lateral erodierte, wurden Seitenwände mit Winkeln von ungefähr 68° hergestellt. Die Trennung zwischen Galliumarsenid und Photoresist war ungefähr 3 : 1. Das Ionenfräsen erzeugte im Wesentlichen gleich bleibende Galliumarsenidblöcke und war deshalb effektiver als das Nassätzen in diesem speziellen Beispiel.

[0073] Zum Schluss wurde ein Bad benutzt, welches eine Konzentration von 1 : 1 : 30 H_2PO_3 : H_2O_2 : H_2O verwendet, um verbleibende Oxide oder Galliumarsenid und Aluminiumarsenid zu entfernen. Derartige Oxide wurden typischerweise gebildet, wenn Aluminiumarsenid den Ätzbädern oder dem Ionenfräsen ausgesetzt wurde. Hydrofluorsäure kann dann benutzt werden, um die Oxidschichten (typischerweise rau ausschauend und braun im Erscheinungsbild) zu entfernen. Im Allgemeinen reduzieren derartige Oxidschichten die Effektivität des Wasserstofffluorsäure-(HF-)Ätzens auf der Aluminiumarsenid-Opferschicht.

[0074] Nach dem Entfernen jeglicher Oxidschichten ätzte vorzugsweise eine HF-Lösung die Opferschicht des Aluminiumarsenids, um die Galliumarsenidblöcke abzuheben. Speziell wurde eine HF-Lösung mit einer Konzentration von ungefähr 5 : 1 H_2O : HF benutzt, um die Opferschicht zu ätzen und die Blöcke abzuheben. Blöcke, welche noch auf dem Substrat verbleiben, möglicherweise durch Oberflächenspannung, können mechanisch von dem Substrat in einer Lösung entfernt werden. Die entfernten Blöcke beinhalten eine Basisabmessung von ungefähr 22 µm zu 23 µm im Vergleich zu einer entworfenen bzw. geplanten Abmessung von 24 µm zu 24 µm.

[0075] Nach dem Entfernen der Blöcke vom Substrat wurde eine Teflon-Pipette benutzt, um einen substanziellen Teil der HF-Lösung von den Galliumarsenidblöcken zu entfernen. Verbliebenes HF wurde mit Wasser weggewaschen. Dieser Wässerungsschritt erzeugte eine Mischung, welche aus Blöcken und Wasser bestand. Eine inerte Lösung, wie z. B. Aceton, ersetzte dann das Wasser, um jegliche Oxidbildung auf den Blöcken zu mindern. Wenn sie einmal in der inerten Lösung sind, können die Blöcke sich zu

Clustern zusammenbilden und entweder zur Oberfläche schwimmen oder sich auf dem Boden der Lösung absetzen. Derartige Cluster, welche oft mit bloßem Auge sichtbar sind, setzten die Effektivität des nachfolgenden Überführungsschrittes herab und wurden deshalb durch mechanisches Behandeln der Lösung mit Ultraschallschwingung getrennt.

[0076] Die inerte Lösung, welche Galliumarsenidblöcke beinhaltet, wurde dann gleichmäßig über die obere Oberfläche des Siliciumsubstrates überführt (oder gegossen). Speziell wurde eine Pipette benützt, um diese Lösung über die obere Oberfläche des Substrates überzuführen. Die Lösung wird mit einer Geschwindigkeit überführt, welche im Wesentlichen ein laminares Strömen schafft. Ein derartiges laminares Strömen bzw. Fließen gestattet den Blöcken zu fallen und/oder auf die obere Oberfläche des Substrates zu gleiten und sich dann selbst in die ausgesparten Bereiche mit Hilfe der trapezförmigen Profile auszurichten. Im Allgemeinen sollte die Überführgeschwindigkeit ein gleichmäßiges Fließen der Lösung, welche die Blöcke beinhaltet, über der Substratoberfläche liefern, aber sollte nicht jene Blöcke, welche bereits in den ausgesparten Bereichen angeordnet sind, frei setzen oder entfernen.

[0077] Blöcke, welche mit Ionenfräsen hergestellt wurden, lieferten eine höhere Ausbeute als Blöcke, welche nassgeätzt wurden. Ionengefräste Blöcke, welche im Wesentlichen gleich bleibende Profile besitzen, haben sich in mehr als 90% in den ausgesparten Bereichen selbst ausgerichtet und in diese eingefügt, die auf der Substratoberfläche platziert waren, bevor die Lösung im Wesentlichen verdampfte. Wenn die Lösung verdampft, hat die Oberflächenspannung oft einen Teil der Blöcke aus den ausgesparten Bereichen gezogen. Ungefähr 30% bis 70% der ausgesparten Bereiche verblieben nach dem Verdampfen befällt. Das Abnehmen der Ausbeute kann dem Verwenden von Flüssigkeiten zugeschrieben werden, welchen niedrigere Oberflächenspannung während des Verdampfens besitzen oder superkritischen Trockenmethoden zugeschrieben werden, welche im Wesentlichen Oberflächenspannung eliminieren. Alternativ können die Blöcke vor dem Verdampfen der Lösung in den ausgesparten Bereichen gebondet werden, wodurch die Ausbeute fixiert wird. Nassgeätzte Blöcke, welche weniger gleich bleibende Blockprofile aufwiesen, liessen sich korrekt in ungefähr 1% bis 5% der verfügbaren ausgesparten Bereiche nieder. Entsprechend lieferten ionengefräste Blöcke eine höhere Ausbeute bezogen auf die Blöcke, welche durch Nassätzen hergestellt wurden.

[0078] Die Photos, welche in **Fig.** 13 gezeigt werden, stellen Galliumarsenidblöcke dar, welche in den ausgesparten Bereichen des Siliciumsubstrates **150** entsprechend dem vorliegenden Beispiel abgelegt bzw. abgesetzt sind. Ein oberer Teil **153** jedes ausgesparten Bereiches ist quadratisch und misst ungefähr 23 µm in der Länge. Wie gezeigt wird, beinhaltet das Photo die ausgesparten Bereiche **155**, das Siliciumsubstrat **157** und den trapezförmigen geformten Block **159**.

[0079] Um die Funktion des vorliegenden Beispiels weiter zu demonstrieren, wird eine erleuchtete Diode **170** im Photo der **Fig.** 14 gezeigt. Das Photo beinhaltet das Siliciumsubstrat **173** und die erleuchtete Galliumarsenid-LED **175**. Die Galliumarsenid-LED sendete Infrarotstrahlung aus, während sie an der elektrischen Vorspannung war. Jede Galliumarsenid-LED, welche auf einer MBE-Schicht gezogen wurde, beinhaltete eine N^+-Galliumarsenid-Haubenschicht (mit ungefähr 100 nm Dicke), eine N^+ $Al_{0,1}Ga_{0,9}As$-Transportschicht (mit ungefähr 1 µm Dicke), einen P--aktiven Bereich (von ungefähr 1 µm Dicke) und eine P^+-Pufferschicht (mit ungefähr 1 µm Dicke). Die Galliumarsenid-LED erforderte auch einen metallisierten Ringkontakt **400** zum Anlegen der Spannung und eine Öffnung **403** für den Lichtausgang in einem oberen Bereich jedes Blockes, wie dies in **Fig.** 15 dargestellt wird. Eine Strom-/Spannungs-(I-/V-)Kurve **500**, welche in **Fig.** 16 dargestellt wird, weist typischerweise die p-n-Übergangscharakteristika für die Galliumarsenidstruktur der **Fig.** 14 auf.

[0080] Galliumarsenid/Aluminiumarsenid-Resonanztunneldioden (RTDs) wurden auch auf Silicium integriert. RTDs, welche auf einer MBE-Schicht gezogen sind, beinhalten Galliumarsenidgräben (mit einer Tiefe von ungefähr 5,0 nm) zwischen zwei Aluminiumarsenidsperren (mit einer Tiefe von ungefähr 2,5 nm). Die Strom-/Spannungscharakteristika **600** für die RTDs, welche mit Silicium integriert sind, wiesen einen geeigneten differentiellen negativen Widerstand (NDR) bei einer V_{SPITZE} = 2,0 V auf, wie dies in **Fig.** 17 dargestellt wird. Bei einer derartigen Spannung war das Spitze-zu-Tal-Verhältnis ungefähr 2,5. Oszillationen (rf), welche nach dem Vorspannen der RTDs in dem NDR-Bereich beobachtet wurden, waren auf ungefähr 100 MHz begrenzt. Externe Kapazitäten und Induktivitäten des vorgespannten Schaltkreises verursachten derartige Begrenzungen in der Frequenz.

[0081] Die obige Beschreibung zum Bilden eines Galliumarsenidblocks auf einem Siliciumsubstrat dient nur erläuternden Zwecken. Wie gezeigt wird, kann die Erfindung zum Bilden von Galliumarseniddioden auf einem Siliciumsubstrat benutzt werden. Eine andere kommerzielle Anwendung beinhaltet Galliumarsenidlaser, welche zusammen mit Silicium-integrierten Schaltkreisen gebildet sind. Die Siliciumchips können mit anderen Chips mit integrierten optischen Detektoren auf optischen Kanälen mit extrem hoher Bitrate kommunizieren. Andere Anwendungen können auch die Integration von Mikrowellen-Galliumarsenidvorrichtungen auf Silicium-integrierten Schaltkreisen für die Mikrowellenelektronik beinhalten. Eine noch weitere Anwendung beinhaltet Mikrostrukturen, welche integral mit einer Plastikplatte sind, welche aktive Flüssigkeitskristallanzeigen (ALCD) u. Ä. bildet. Bei einer derartigen Anwendung

kann die Plastikplatte mit einer Technik hergestellt werden, welche das Stanzen, Spritzgießen u. a. beinhaltet. Das Konzept der Erfindung kann für nahezu jeden Typ von Mikrostruktur angewendet werden, welche auf einem größeren Substrat gebildet wird.

[0082] Auch wird das Bilden einzigartiger Profile zum Schaffen sich selbstanordnender Vorrichtungen allgemein beschrieben. Derartige einzigartige Profile sind zum Beispiel Glieder einer Einzelblockstruktur, welche eine entsprechende ausgesparte Bereichsstruktur auf einem Substrat besitzt, nur der Erläuterung dienend. Die Blockstruktur kann auch eine Vielfalt von Formen, wie z. B. eine zylindrische Form, eine rechteckige Form, eine quadratische Form, eine hexagonale Form, eine pyramidale Form, eine T-Form, Nierenform u. Ä. besitzen. Die Blockstruktur beinhaltet Breiten, Längen und Höhen, um das Selbstanordnen einer gewünschten Orientierung bzw. Ausrichtung zu fördern. Zusätzlich kann mehr als ein Strukturtyp in der Mischung (von Lösung und Blöcken) vorliegen, solange jede Struktur eine spezielle Verbindungs- bzw. Befestigungsstelle auf dem Substrat besitzt.

[0083] Obwohl die vorausgehende Erfindung im gewissen Detail anhand der Erläuterung und anhand eines Beispiels beschrieben wurde, der Klarheit des Verständnisses wegen, wird offensichtlich sein, dass gewisse Veränderungen und Modifikationen innerhalb des Umfangs der angehängten Ansprüche praktiziert werden können.

[0084] Die obige Beschreibung dient der Erläuterung und ist nicht restriktiv. Viele Variationen der Erfindung werden Fachleuten beim Lesen dieser Veröffentlichung ersichtlich sein. Nur des Beispiels wegen kann die Erfindung zum Bilden von Galliumarsenidvorrichtungen auf einem Siliciumsubstrat als auch ebenso gut bei anderen Anwendungen verwendet werden. Der Umfang der Erfindung soll deshalb nicht mit Bezug auf die obige Beschreibung bestimmt werden, sondern sollte mit Bezug auf die angehängten Ansprüche zusammen mit ihrem vollem Umfang der Äquivalente bestimmt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bilden einer Mikrostruktur auf einem Substrat (**50**), wobei das Substrat (**50**) eine obere Oberfläche (**53**) mit mindestens einem darauf befindlichen ausgesparten Bereich (**55**) aufweist, mit den Schritten:
Bereitstellen einer Vielzahl geformter Blöcke (**19**), wobei die geformten Blöcke (**19**) eine darauf befindliche integrierte Schaltkreisvorrichtung umfassen;
Überführen der geformten Blöcke (**19**) in ein Fluid, um eine Aufschlämmung zu bilden; und
Verteilen der Aufschlämmung über dem Substrat (**50**) mit einer Geschwindigkeit, bei der mindestens einer der geformten Blöcke (**19**) in mindestens einem ausgesparten Bereich (**55**) angeordnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Substrat (**50**) aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus einem Silizium-Wafer, einer Kunststoffplatte, einem Galliumarsenid-Wafer, einem Glassubstrat und einem Keramiksubstrat besteht.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Geschwindigkeit im Wesentlichen eine laminare Strömung ist und jedem der geformten Blöcke (**19**) ermöglicht, sich selbst in den ausgesparten Bereichen (**55**) auszurichten.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die geformten Blöcke (**19**) ein trapezförmiges Profil aufweisen.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei jeder ausgesparte Bereich (**55**) in dem Substrat (**50**) im Wesentlichen trapezförmig geformt ist, damit er zu jedem geformten Block (**19**) komplementär ist.

6. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die trapezförmig geformten Blöcke (**19**) eine Länge von ungefähr 10 µm und mehr aufweisen.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Fluid aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus Wasser, Aceton und Alkohol besteht.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Aufschlämmung ausreichend Fluid beinhaltet, um den geformten Blöcken (**19**) zu ermöglichen, über das Substrat (**55**) zu gleiten.

9. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die trapezförmigen Blöcke (**19**) durch ein Verfahren mit den folgenden Schritten hergestellt werden:
Bereitstellen eines zweiten Substrats (**10**) mit einer oberen Oberfläche (**15**);
Aufwachsen einer Opferschicht (**13**), die über der oberen Oberfläche (**15**) liegt;
Bilden einer Blockierschicht (**17**) über der oberen Oberfläche (**15**);
Maskieren und Ätzen der Blockierschicht (**17**) bis zur Opferschicht (**13**), wobei eine Vielzahl trapezförmig geformter Blöcke (**19**) auf und in Kontakt mit der Opferschicht (**13**) gebildet werden;
bevorzugtes Ätzen der Opferschicht (**13**), wobei jeder der trapezförmig geformten Blöcke (**19**) abgehoben wird;
Überführen der trapezförmig geformten Blöcke (**19**) in eine Lösung, um die Aufschlämmung zu bilden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, weiterhin umfassend einen Schritt des Spülens der Blöcke (**19**) im Anschluss an den bevorzugten Ätzschritt.

11. Verfahren nach Anspruch 9, wobei der bevorzugte Ätzschritt ein Schritt des Nassätzens ist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei der Nas-

sätzschritt ein Fluorwasserstoff-Ätzmittel umfasst.

13. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das zweite Substrat (**10**) aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Galliumarsenid, Gallium-Aluminium-Arsenid, Silizium und Diamant besteht.

14. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der trapezförmige Block (**19**) weiterhin eine abgestumpfte Pyramidenform mit einer oberen Oberfläche aufweist, wobei vier Seiten hiervon zu einer Basis verlaufen.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei die Basis eine Länge von ungefähr 10 µm bis ungefähr 50 µm und eine Breite von 10 µm bis ungefähr 50 µm aufweist, und jede der vier Seiten eine Höhe von ungefähr 5 µm bis ungefähr 15 µm aufweist.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

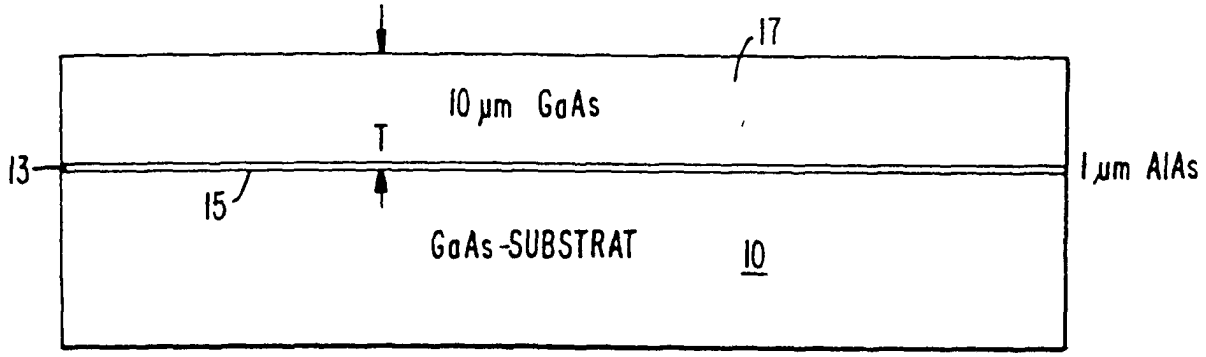


FIG. 1.

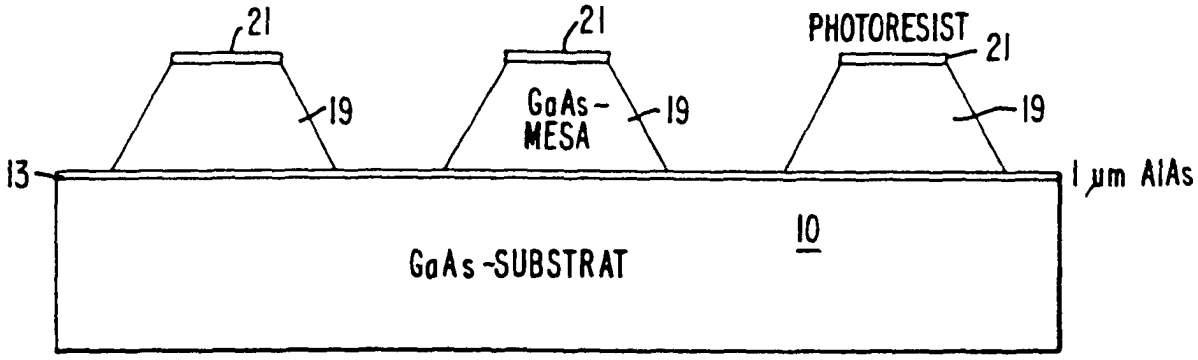


FIG. 2.

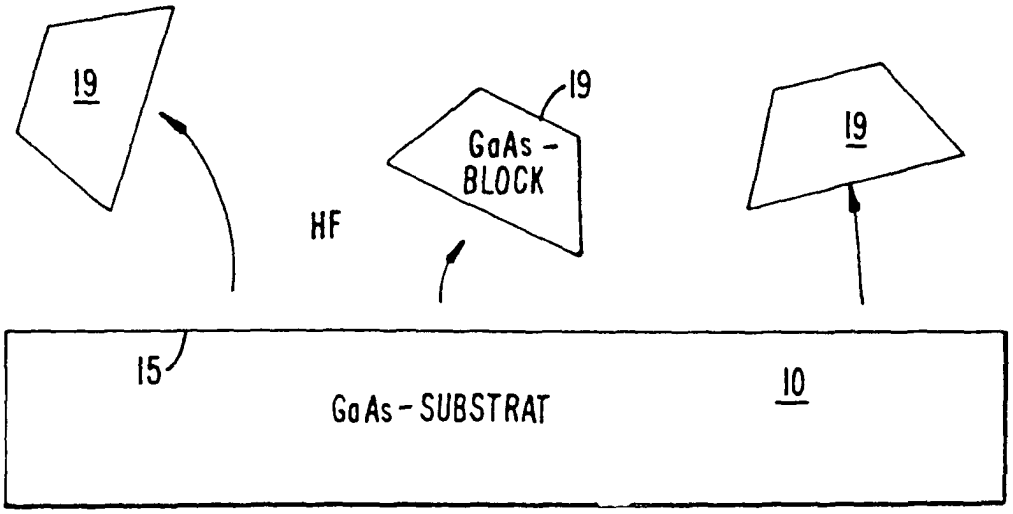


FIG. 3.

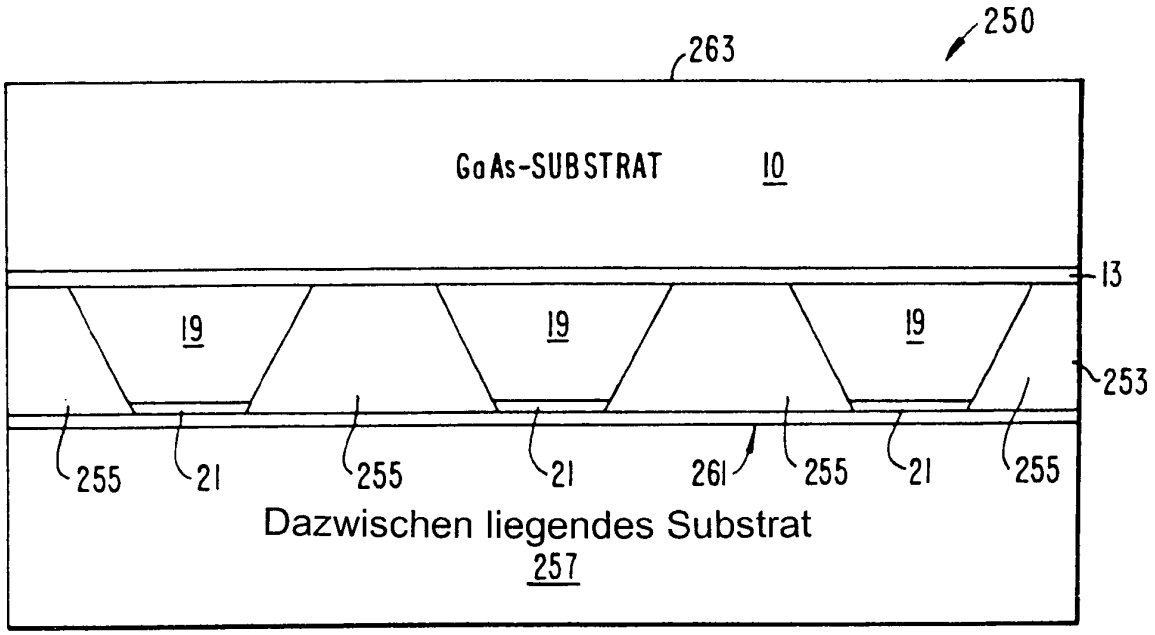


FIG. 4.

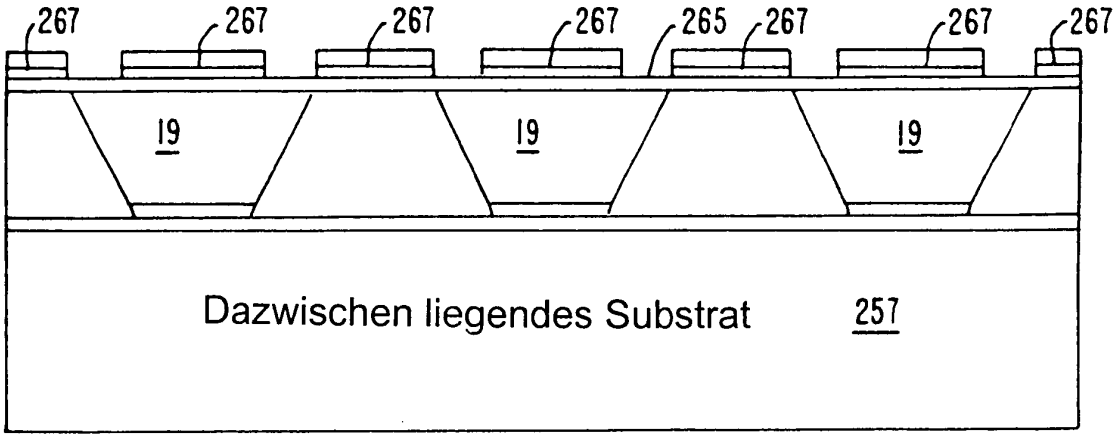


FIG. 5.

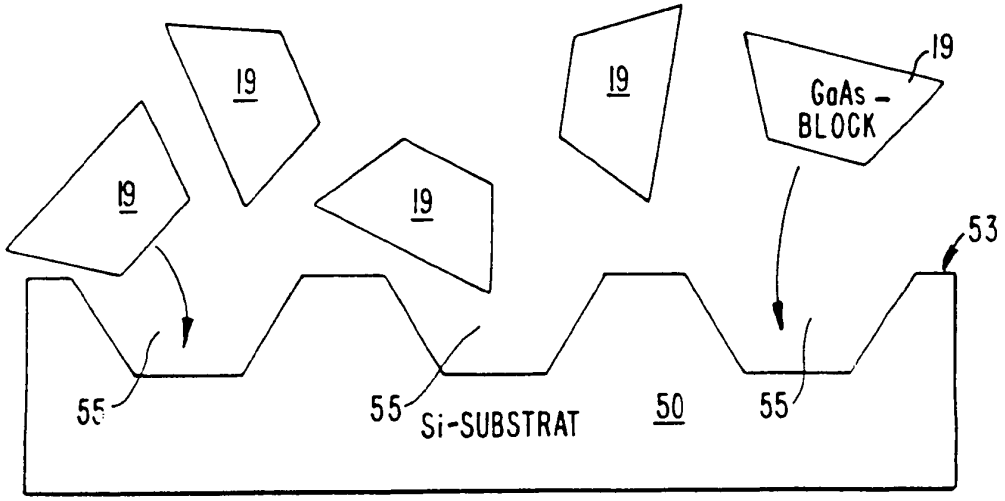


FIG. 6.

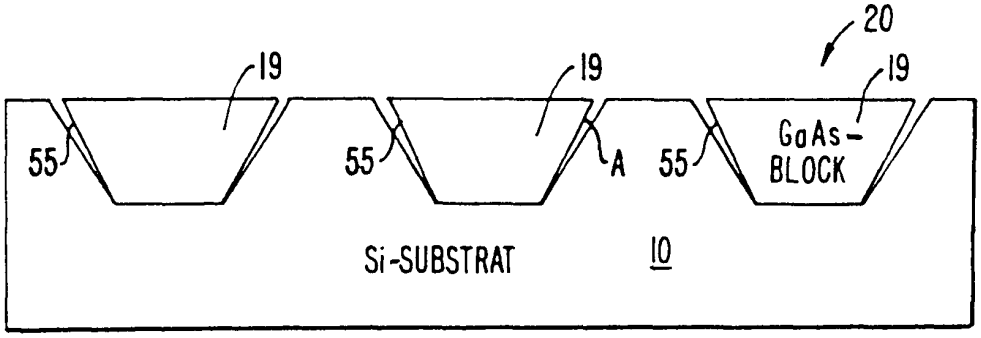


FIG. 7.

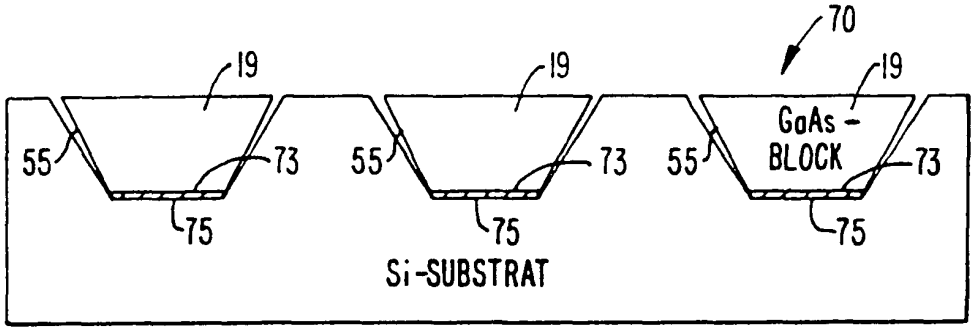


FIG. 8.

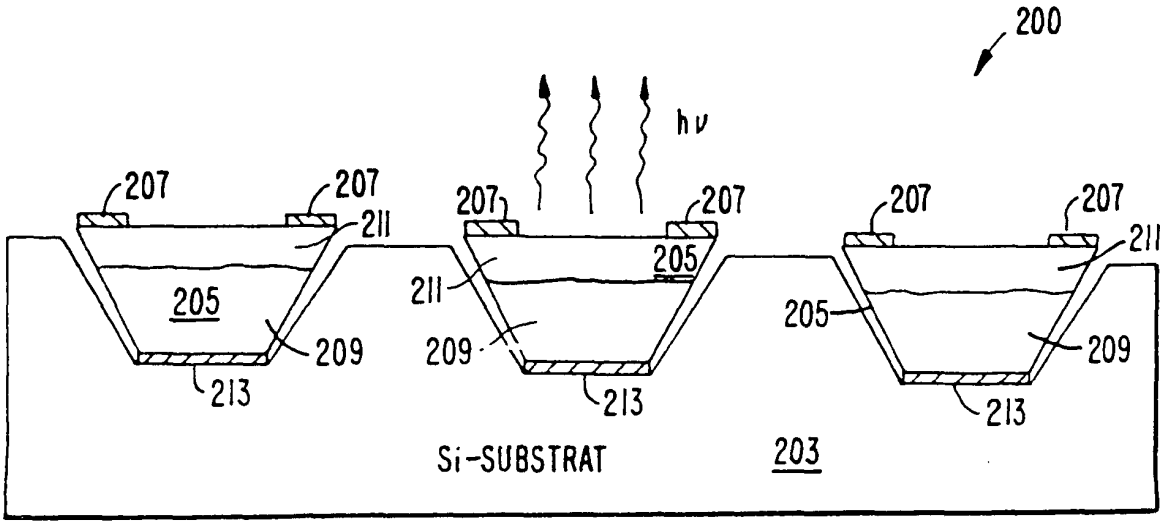


FIG. 9.

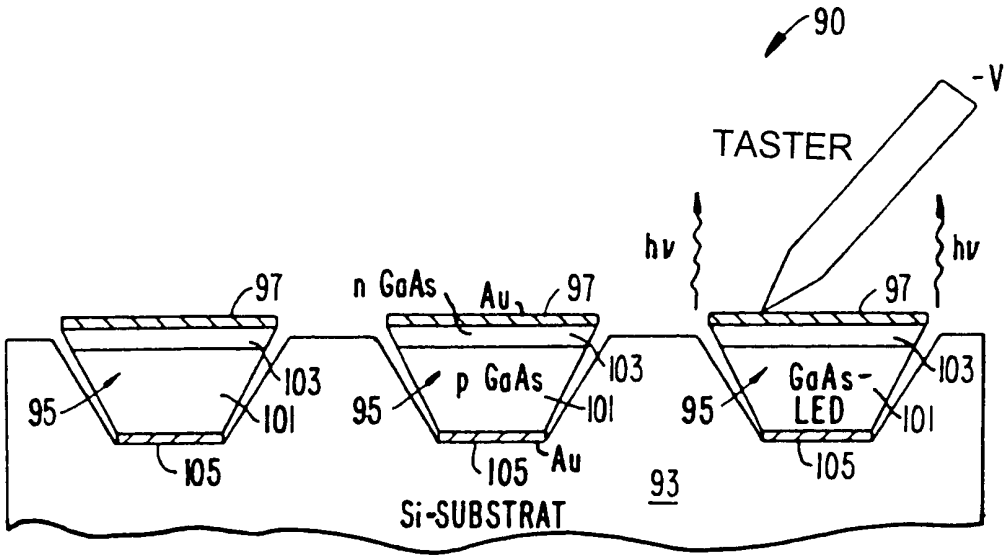

90
-V
TASTER
hν
hν
97
n GaAs
Au
97
97
103
95
101
105
p GaAs
103
95
101
105
Au
GaAs-
LED
103
95
101
105
93
Si-SUBSTRAT

FIG. 10.

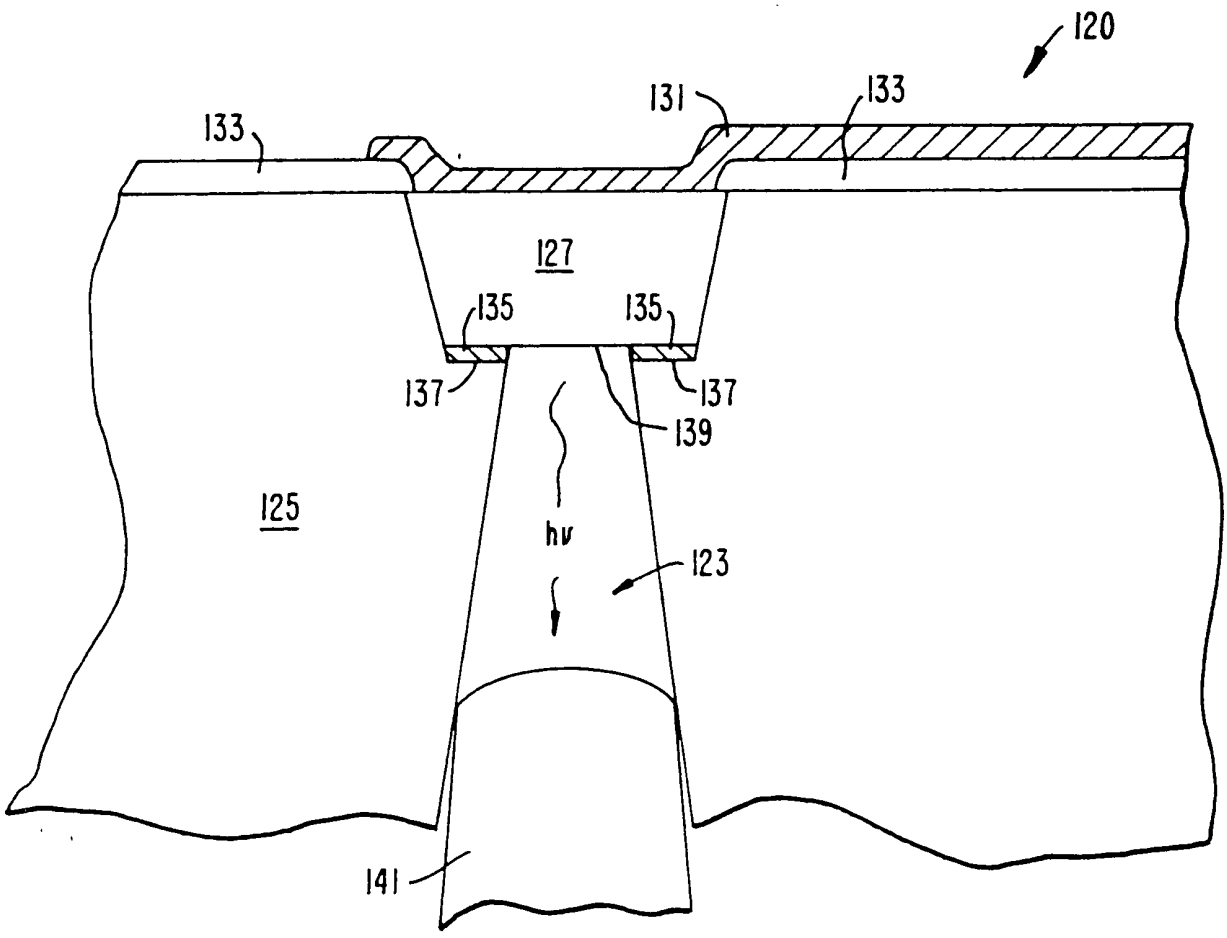

120
131
133
133
127
135
135
137
137
139
125
hν
123
141

FIG. 11.

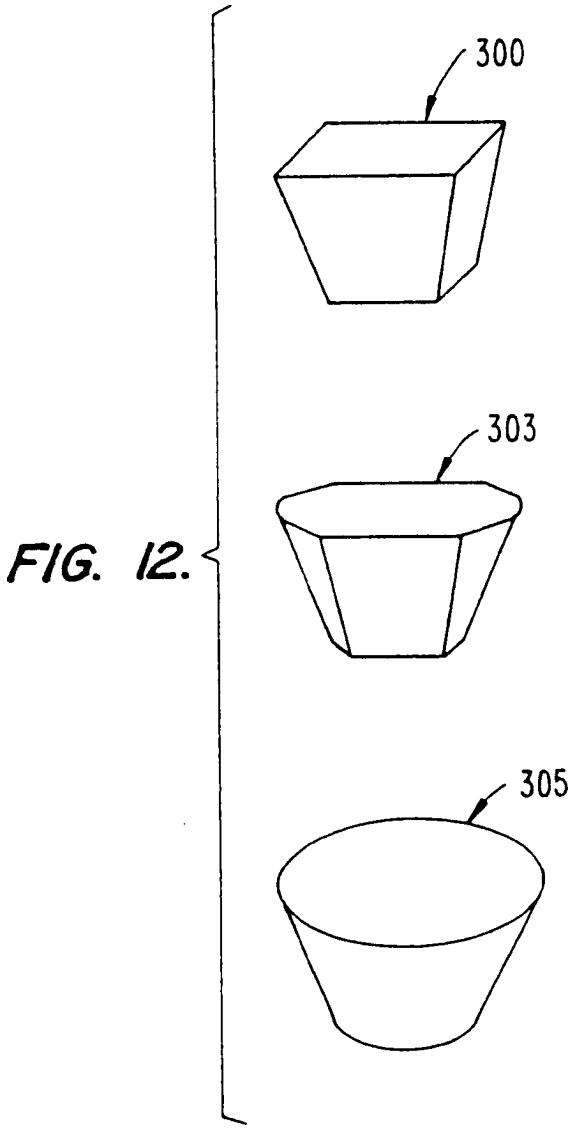


FIG. 12.

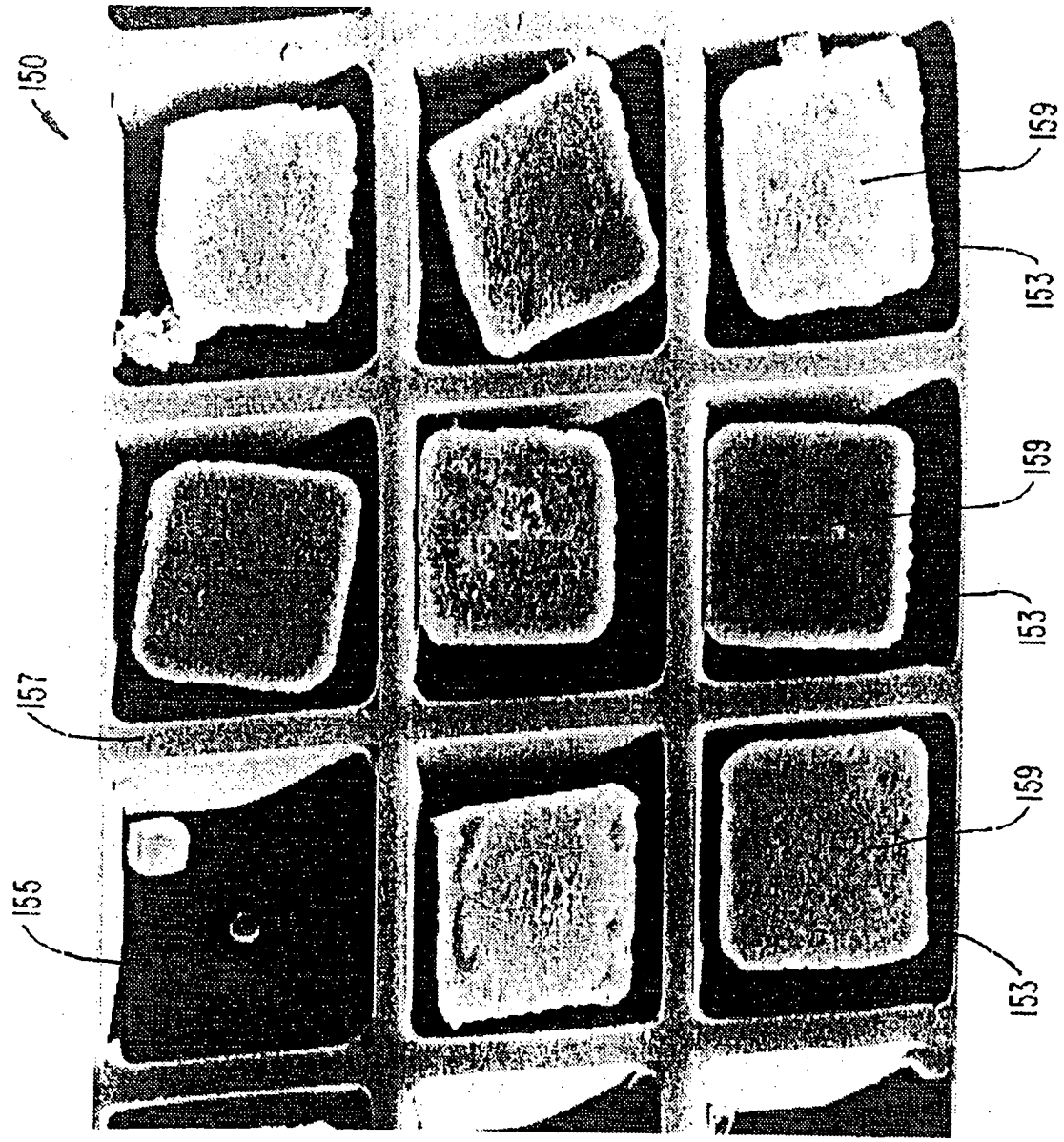


FIG. 13.

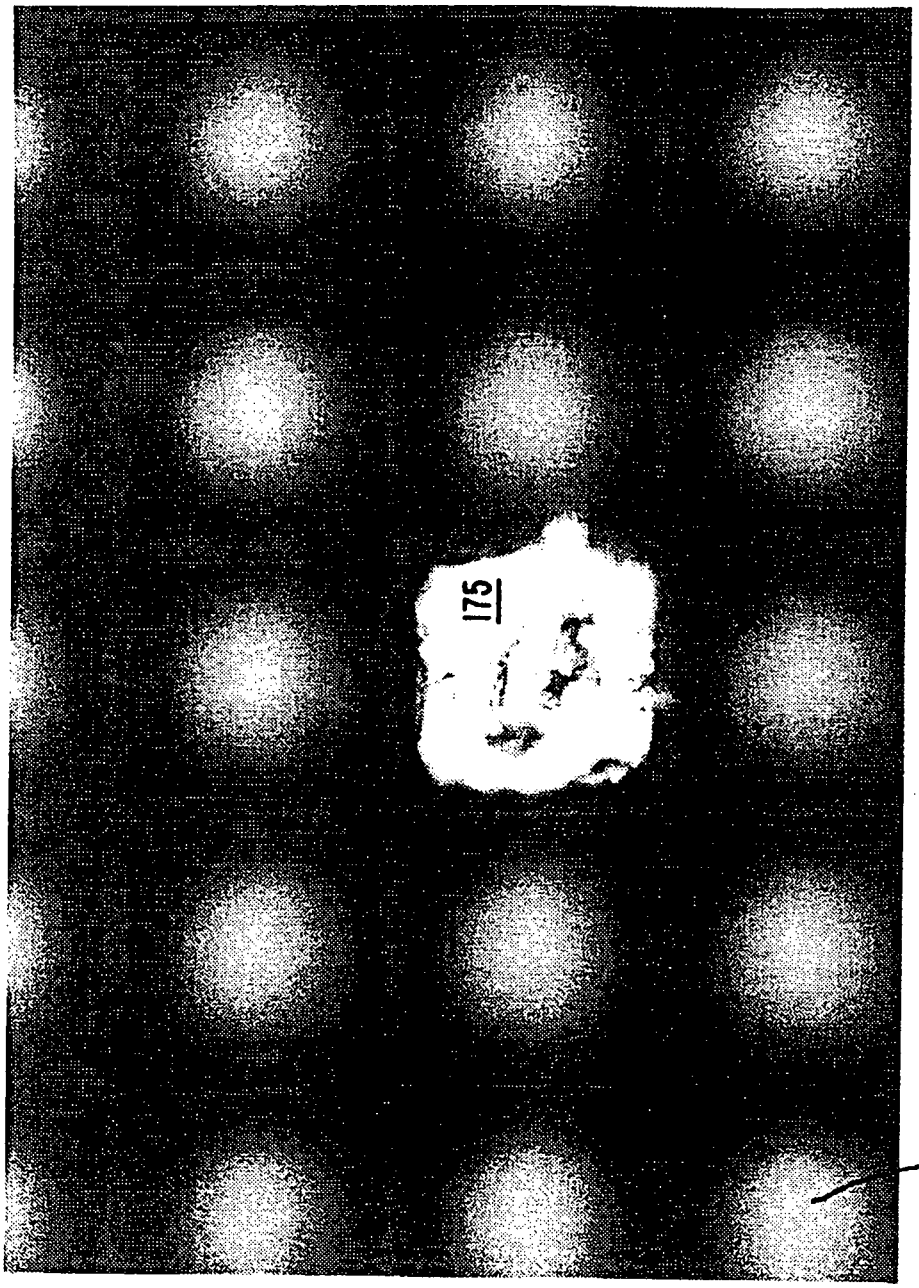


FIG. 14.

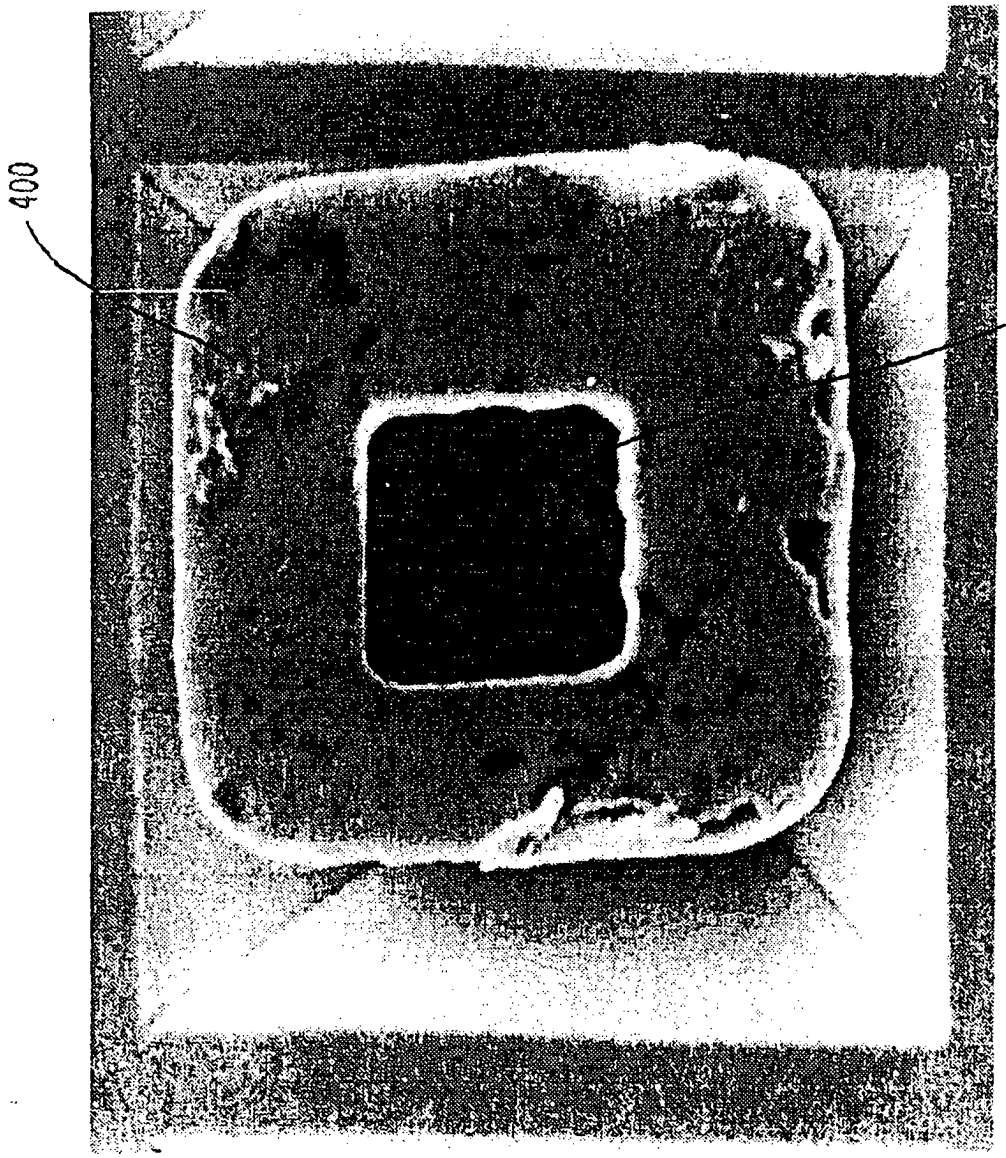


FIG. 15.

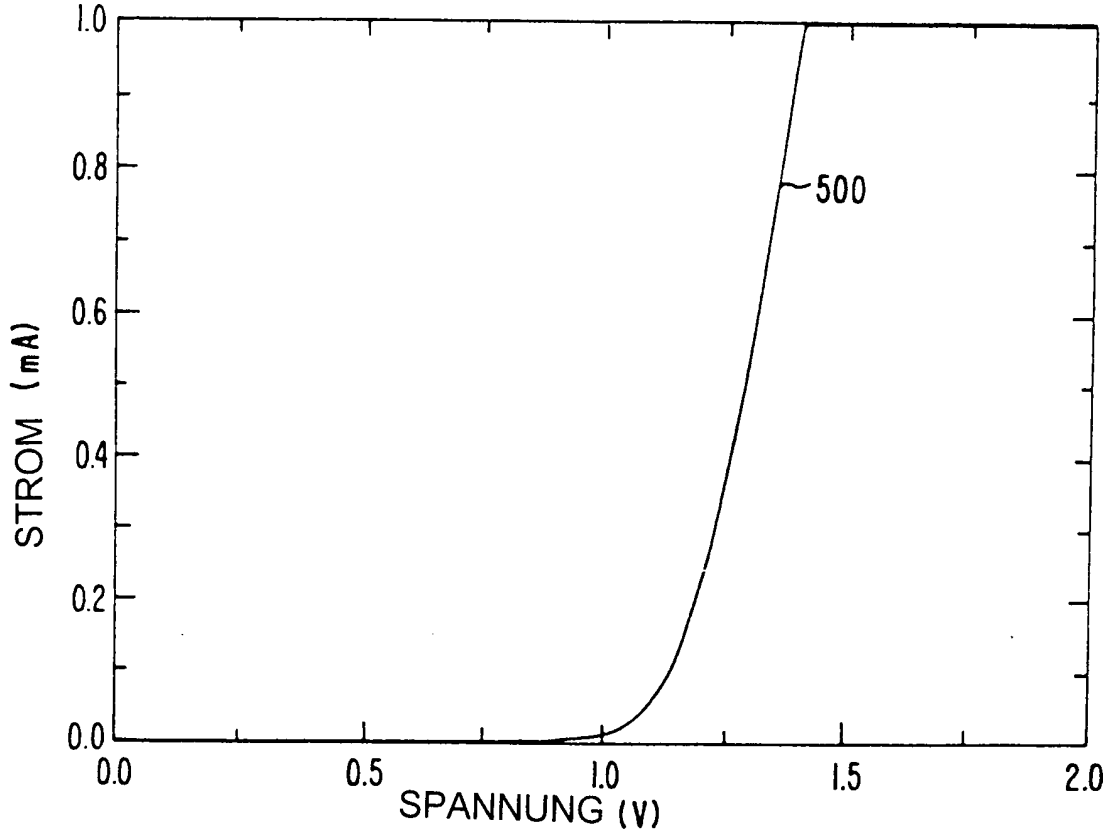

1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
STROM (mA)
500
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
SPANNUNG (V)

FIG. 16.

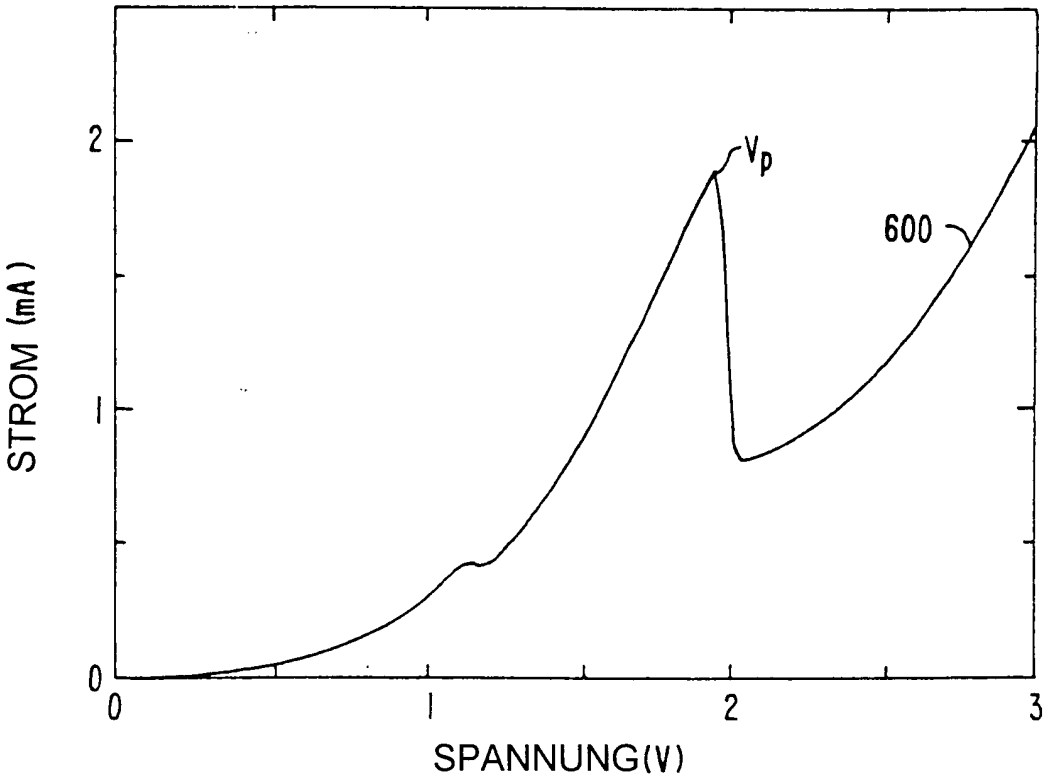

2
1
0
STROM (mA)
V_p
600
0
1
2
3
SPANNUNG(V)

FIG. 17.