



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 695 30 648 T2 2004.03.18

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 0 704 907 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 695 30 648.0

(96) Europäisches Aktenzeichen: 95 115 150.5

(96) Europäischer Anmeldetag: 26.09.1995

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 03.04.1996

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 07.05.2003

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 18.03.2004

(51) Int Cl.⁷: H01L 29/737

H01L 29/10, H01L 21/331

(30) Unionspriorität:
22989194 26.09.1994 JP

(74) Vertreter:
PAe Splanemann Reitzner Baronetzky
Westendorp, 80469 München

(73) Patentinhaber:
NEC Compound Semiconductor Devices, Ltd.,
Kawasaki, Kanagawa, JP

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(72) Erfinder:
Kato, Hiroshi, Tokyo, JP

(54) Bezeichnung: Bipolartransistor mit einem sehr niedrigen Basisschichtwiderstand und Verfahren zur Herstellung

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 eingereicht, 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 Erfindung betrifft einen bipolaren Transistor, und insbesondere ein Herstellungsverfahren für einen bipolaren Transistor mit einer Basis mit einem extrem niedrigen Widerstand.

[0002] Es ist im Stand der Technik, auf den sich die Erfindung bezieht, bekannt, dass einer der bedeutendsten Faktoren in Verbindung mit den Eigenschaften eines bipolaren Silizium-Transistors die Rauschzahl ist, die durch folgende Gleichung dargestellt wird.

[0003]

$$NF = 1 + r_b'/r_g + r_e/2r_g + ((r_g + r_b' + r_e)^2/2\alpha_0^2 r_e r_g)) (f/1.2f_T)^2 + 1/h_{FE} + I_{cb}/I_E$$

wobei r_g die Impedanz der Signalquelle ist, r_b' der Basiswiderstand, r_e der Emitterwiderstand und α_0 der Verstärkungskoeffizient bei einem Hoch des bipolaren Transistors, wenn dessen Basis geerdet ist.

[0004] Aus obiger Gleichung könnte verstanden werden, dass bei verringertem Basiswiderstand r_b' die Rauschzahl ebenfalls verringert wird. Um den Basiswiderstand r_b' zu verringern, ist vorgeschlagen worden, einen Anstieg der Störstellenkonzentration N_A der Basisschicht auszulösen. Der bipolare Silizium-Transistor zeigt jedoch bei einem Anstieg der Störstellenkonzentration N_A der Basisschicht um mehr als $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ einen ansteigenden Basis-Leckstrom.

[0005] Um dieses Problem zu lösen, ist vorgeschlagen worden, eine amorphe SiGe-Basisschicht anstelle einer Silizium-Basisschicht zu verwenden, so dass die Störstellenkonzentration der amorphen SiGe-Basisschicht fast ohne Basis-Leckstrom bis auf $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ erhöht werden kann, was in der japanischen Offenlegungsschrift Nr. 3-76228 erwähnt ist. Der herkömmliche bipolare SiGe-Basistransistor kann wie folgt hergestellt werden.

[0006] Mit Bezug auf **Fig. 1A** werden Feldoxidfilme **14** selektiv auf einem N-leitenden Siliziumsubstrat **13** gebildet.

[0007] Mit Bezug auf **Fig. 1B** wird ein Siliziumoxidfilm SiO_2 **15** auf einem gesamten Teil des Substrats **13** und anschließend ein Polysiliziumfilm **16** auf der gesamten Oberfläche des Siliziumoxidfilms **15** gebildet. Eine P-leitende Verunreinigung, wie z. B. Bor, wird in den Polysiliziumfilm **16** eingebracht.

[0008] Mit Bezug auf **Fig. 1C** wird eine Öffnung **17** in dem Polysiliziumfilm **16** und dem Siliziumoxidfilm **15** gebildet, um so einen Teil des Siliziumsubstrats freizulegen, wobei der verbleibende Teil des Polysiliziumfilms **16** als Basis-Anschlusschicht **16a** dient.

[0009] Mit Bezug auf **Fig. 1D** wird auf der gesamten Oberfläche der Vorrichtung eine P-leitende SiGe-Epitaxial-Basisschicht **18** durch ein CDV-Verfahren gebildet.

[0010] Mit Bezug auf **Fig. 1E** wird ein Zwischenschicht-Isolator **19** auf der gesamten Oberfläche der

Vorrichtung gebildet.

[0011] Mit Bezug auf **Fig. 1F** wird eine Öffnung **20** selektiv in dem Zwischenschicht-Isolator **19** gebildet, um so einen Teil der Oberfläche der P-leitenden Epitaxial-Basisschicht **18** freizulegen.

[0012] Mit Bezug auf **Fig. 1G** wird eine Polysiliziumschicht auf der gesamten Oberfläche der Vorrichtung gebildet und anschließend eine N-leitende Verunreinigung, wie z. B. Phosphor, in die Polysiliziumschicht eingebracht, die anschließend so bemustert wird, dass die N-dotierte Polysiliziumschicht innerhalb der Öffnung **20** und einem oberen Teil davon bleibt, so dass die verbleibende N-dotierte Polysiliziumschicht als Emitterzone **21** dienen kann, um dabei einen Emitter-Basis-Übergang zu bilden. Es wird eine Kontaktstelle in dem Zwischenschicht-Isolator **19** gebildet, wobei die Kontaktstelle von der Emitterzone **21** beabstandet ist. Auf der gesamten Oberfläche der Vorrichtung wird ein Aluminiumfilm gebildet und dieser anschließend bemustert, so dass der Aluminiumfilm auf der Emitterzone **21** und innerhalb der Kontaktstellen verbleibt, so dass dabei eine Emitter-Anschlusselektrode **22** und eine Basis-Verdrahtung **23** gebildet werden. Der hergestellte bipolare Transistor weist die P-leitende Polysiliziumschicht mit einem basisaktiven Teil **24** auf, der mit der Oberfläche des N-leitenden Siliziumsubstrats **13** in Kontakt ist.

[0013] Der basisaktive Teil **24** ist über die Basis-Anschlusschicht **16a** mit der Basis-Verdrahtung **23** elektrisch verbunden. Die Basis-Anschlusschicht **16a** besitzt einen höheren spezifischen elektrischen Widerstand als die Epitaxial-Basisschicht **18**, die die basisaktive Schicht **24** einschließt, weshalb der Basiswiderstand im Wesentlichen vom Widerstand der Basis-Anschlusschicht **16a** abhängt. Dies bedeutet, dass jede mögliche Absenkung des Widerstands des basisaktiven Teils **24** nicht zu einer Wesentlichen Absenkung des Basiswiderstands des bipolaren Transistors beiträgt, insoweit, dass der Widerstand der Basis-Anschlusschicht **16** nicht gesenkt wird. Wie in **Fig. 1D** dargestellt ist, weist die Epitaxial-Basisschicht **18**, die auf der Polysiliziumschicht **16a** liegt, eher eine polykristalline Struktur auf als eine epitaxiale Struktur, da die Epitaxial-Basisschicht **18** auf der Polysiliziumschicht **16a** gebildet ist. Dies kann dazu beitragen, dass der Basiswiderstand des bipolaren Transistors erhöht wird, wobei dies zu einer Verschlechterung der Rauschzahl führt.

[0014] Ein weiterer herkömmlicher bipolarer Transistor ist in der japanischen Offenlegungsschrift Nr. 3-227023 offenbart, der eine SiGe-Basisschicht ohne jede Basis-Anschlusschicht aufweist. Dieser herkömmliche bipolare Transistor ohne Basis-Anschlusschicht weist nicht das Problem der Verschlechterung der Rauschzahl auf. Dieser herkömmliche bipolare Transistor kann wie folgt hergestellt werden.

[0015] Mit Bezug auf **Fig. 2A** wird ein n^+ -Si-Substrat **25** vorbereitet, so dass eine n^- -Si-Epitaxialschicht **29** auf der gesamten Oberfläche des Substrats **25** gebil-

det wird. Selektiv werden Feldoxidfilme **26** durch lokale Oxidation des Siliziums in der Silizium-Epitaxialschicht **29** gebildet, so dass die Bodenflächen der Feldoxidfilme **26** auf der Oberfläche des Siliziumsubstrats **25** aufliegen.

[0016] Anschließend wird über der Silizium-Epitaxialschicht **29** durch Photolithographie zur teilweisen Entfernung des Feldoxidfilms eine Öffnung **28** gebildet, aber nur über der Silizium-Epitaxialschicht **29**, wodurch die Oberfläche der Vorrichtung eine stufenartige Unebenheit **36** zwischen dem Feldoxidfilm **26** und der Silizium-Epitaxialschicht **29** aufweist.

[0017] Mit Bezug auf **Fig. 2B** wird eine amorphe p-SiGe-Schicht **30** auf der gesamten Oberfläche der Vorrichtung gebildet, so dass diese den Feldoxidfilm **26** und die Silizium-Epitaxialschicht **29** bedeckt. Ein SiO₂-Film **31** wird auf der gesamten Oberfläche der amorphen SiGe-Schicht **30** gebildet.

[0018] Mit Bezug auf **Fig. 2C** werden die SiGe-Schicht **30** und der SiO₂-Film **31** durch Ätzen so bemustert, dass diese nur in der Öffnung **28** über der Silizium-Epitaxialschicht **29** verbleiben.

[0019] Mit Bezug auf **Fig. 2D** wird ein Silizium-Nitridfilm **32** auf der gesamten Oberfläche der Vorrichtung gebildet, so dass er den bemusterten Siliziumoxidfilm **31** und den Feldoxidfilm **26** bedeckt.

[0020] Mit Bezug auf **Fig. 2E** werden jeweils Öffnungen für Emitter- und Basiskontakte in dem Silizium-Nitridfilm **32** und dem SiO₂-Film **31** gebildet, so dass Teile der SiGe-Schicht **30** freiliegen. Ein N-dotierter Polysiliziumfilm **33** wird selektiv in der Öffnung für den Emitterkontakt und in deren Umgebung gebildet.

[0021] Mit Bezug auf **Fig. 2F** werden ein Emitterkontakt **34** auf dem N-dotierten Polysiliziumfilm **33** und ein Basiskontakt **35** selektiv in der Basiskontaktstelle und deren Umgebung gebildet.

[0022] Der vorstehende herkömmliche bipolare Transistor ist mit folgendem Problem verbunden.

[0023] Wie in **Fig. 2A** dargestellt erstreckt sich der Feldoxidfilm **26** entlang einer Kante der Silizium-Epitaxialschicht **29** mit der Unebenheit zwischen dem Feldoxidfilm **26** und der Silizium-Epitaxialschicht **29**. Die amorphe SiGe-Schicht **30** weist einen Epitaxie-Bildungsabschnitt auf der Silizium-Epitaxialschicht **29** und einen Vielkristall-Bildungsabschnitt auf dem Feldoxidfilm **26** auf, wobei der Epitaxie-Bildungsabschnitt den Vielkristall-Bildungsabschnitt berührt, was dazu führt, dass der Vielkristall-Bildungsabschnitt der SiGe-Schicht **30** über der Silizium-Epitaxialschicht **29** gebildet ist. Dies bedeutet, dass die SiGe-Basisschicht **30** einen Vielkristall-Teil aufweisen kann, der den Emitter-Polysiliziumfilm **33** berührt. Dementsprechend kann der Emitter-Basis-Übergang eine polykristalline Struktur aufweisen, was zu einem Anstieg des Leckstroms führt, der über den Emitter-Basis-Übergang fließt, sowie zu einem instabilen Stromübergang des Emitter-Basis-Übergangs.

[0024] Da die SiGe-Schicht **30** über die Unebenheit

36 zwischen dem Feldoxidfilm **26** und der Silizium-Epitaxialschicht **29** gebildet wird, weist auch die SiGe-Schicht **30** eine Unebenheit auf. Diese kann zu einer geringeren Genauigkeit des nachfolgenden Fotolithographie-Verfahrens führen. Die Dicke eines Feldoxidfilms **26** auf der Silizium-Epitaxialschicht **29** oder die Höhe der Unebenheit **36** zwischen dem Feldoxidfilm **26** und der Silizium-Epitaxialschicht **29** beträgt ungefähr 50 nm in Anbetracht der Belastungsreduzierung des Feldoxidfilms **26** bei dessen Bildung. Dies erschwert es, eine große Dicke der SiGe-Schicht zu ermöglichen, um den Basiswiderstand zu senken.

[0025] Die EP-A-0 504 875 und die US-A-5,137,840 offenbaren einen Basiszonen-Aufbau in einem bipolaren Transistor, wobei die Basiszone eine SiGe-Verbindungshalbleiter-Epitaxialschicht aufweist, die in einer Ausnehmung gebildet ist, die durch Ätzen in einem oberen Bereich des Halbleitersubstrats vorgesehen ist, und wobei die Ausnehmung eine Tiefe aufweist, die der Dicke der Verbindungshalbleiter-Epitaxialschicht entspricht, so dass die Basiszone eine Oberfläche aufweist, die auf der gleichen Höhe wie die Oberfläche des Halbleitersubstrats liegt.

[0026] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein neues Verfahren zur Herstellung eines bipolaren Transistors bereitzustellen, das die oben beschriebenen Probleme nicht aufweist.

[0027] Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein neues Verfahren zur Herstellung eines bipolaren Transistors mit einem extrem kleinen Basiswiderstand bereitzustellen.

[0028] Es ist wiederum eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein neues Verfahren zur Herstellung eines bipolaren Transistors mit einer verringerten Rauschzahl bereitzustellen.

[0029] Es ist noch eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein neues Verfahren zur Herstellung eines bipolaren Transistors mit einer hohen Leistungszuverlässigkeit bereitzustellen.

[0030] Die oben genannten und weiteren Aufgaben, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung und werden durch das Verfahren gemäß Anspruch 1 gelöst.

[0031] Die bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung werden ausführlich mit Bezug auf die anliegenden Zeichnungen beschrieben.

[0032] Es zeigen: **Fig. 1A** bis **1G** bruchstückartige Querschnitts-Vorderansichten, die den herkömmlichen bipolaren Transistor in sequentiellen Verfahrensschritten darstellen, die dessen herkömmliches Herstellungsverfahren einschließt.

[0033] **Fig. 2A** bis **2G** bruchstückartige Querschnitts-Vorderansichten, die den herkömmlichen bipolaren Transistor in sequentiellen Verfahrensschritten darstellen, die dessen herkömmliches Herstellungsverfahren einschließt;

[0034] **Fig. 3** eine bruchstückartige Querschnitts-Vorderansicht, die den neuen bipolaren

Transistor in einer ersten Ausführungsform zeigt; [0035] **Fig. 4A** bis **4J** bruchstückartige Querschnitts-Vorderansichten, die einen neuen bipolaren Transistor in sequentiellen Verfahrensschritten darstellen, die dessen neues Herstellungsverfahren in einer ersten Ausführungsform einschließt;

[0036] **Fig. 5A** bis **5J** bruchstückartige Querschnitts-Vorderansichten, die einen neuen bipolaren Transistor in sequentiellen Verfahrensschritten darstellen, die dessen neues Herstellungsverfahren in einer zweiten Ausführungsform einschließt;

[0037] **Fig. 6** eine bruchstückartige Querschnitts-Vorderansicht, die einen neuen bipolaren Transistor in sequentiellen Verfahrensschritten darstellt, die dessen neues Herstellungsverfahren in einer dritten Ausführungsform einschließt; Eine erste Ausführungsform wird ausführlich mit Bezug auf **Fig. 3** und **4A** bis **4J** beschrieben, bei der eine neuer bipolarer Transistor bereitgestellt wird.

[0038] Ein bipolarer Transistor wird mit Bezug auf **Fig. 3** beschrieben: Ein N-dotiertes Siliziumsubstrat **1** wird durch die Feldoxidfilme **2a** elektrisch isoliert, so dass es eine aktive Zone definiert, die als Kollektorzone arbeiten kann. Die oberste Fläche der Feldoxidfilme **2a** liegt auf der selben Höhe wie die oberste Fläche des Siliziumsubstrats **1**. Die Oberfläche der Kollektorzone weist eine Unebenheit auf der Oberfläche auf. In einer Oberflächenzone der Kollektorzone, die einen Teil des Siliziumsubstrats **1** aufweist, wird eine Epitaxial-Basisschicht **7**, die als Basiszone arbeitet, so gebildet, dass sie von den Kanten der Feldoxidfilme **2a** beabstandet ist. Eine Emitterzone **8**, die mit Arsen dotiert ist, wird in einem oberen Teil der Epitaxial-Basisschicht **7** gebildet. Eine Polysiliziumschicht **9**, die mit Arsen dotiert ist, ist auf der Emitterzone **8** vorgesehen. Die Emitterzone **8** kann durch Wärmediffusion des Arsen von der Polysiliziumschicht **9** in den vorbestimmten oberen Teil der Basiszone **7** gebildet werden. Die Kollektorzone **1**, die Basiszone **8** und die Emitterzone **9** sowie die Feldoxidfilme **2a** liegen auf der selben Höhe, wie aus **Fig. 3** ersichtlich ist. Ein Siliziumoxidfilm **3b**, oder SiO_2 -Film, wird auf der gesamten Oberfläche der Vorrichtung gebildet, so dass er die Feldoxidfilme **2a**, den obersten Abschnitt des Siliziumsubstrats **1**, die Basiszone **7** und die Emitterzone **8** abdeckt, und daraufhin wird ein Siliziumnitridfilm **3b** auf der gesamten Oberfläche des Siliziumoxidfilms **2b** gebildet. In dem Siliziumoxidfilm **2b** und dem Siliziumnitridfilm **3b** sind Basis-Kontaktstellen ausgebildet, um sowohl einen Teil der Basiszone **7** als auch der Emitterzone **8** freizulegen. In der Basis-Kontaktstelle sind Basiselektroden **10** ausgebildet, damit die Basiselektrode die Basiszone **7** berührt. Die Polysiliziumschicht **9** geht auch durch den Siliziumoxidfilm **2b** und den Siliziumnitridfilm **3b** hindurch, so dass sie die Emitterzone **8** berührt. Eine Emitterelektrode **11** ist auf der Polysiliziumschicht **9** vorgesehen, so dass die Emitterelektrode **11** über die Polysiliziumschicht **9** mit der Emitterzone **8** elektrisch verbunden ist.

[0039] Der vorangehend beschriebene bipolare Transistor weist die SiGe-Basiszone **7** auf, die in einer Ausnehmung gebildet ist, die in dem vorbestimmten oberen Abschnitt des Siliziumsubstrats **1** vorgesehen ist, um zu ermöglichen, dass die Oberseite der Epitaxial-Basiszone **7** auf der selben Höhe liegt wie die Oberseite des Siliziumsubstrats **1** und als Kollektorzone arbeitet. Dies erlaubt ein Festlegen der Dicke der Epitaxial-Basiszone **7** unabhängig von anderen Schichten wie den Feldoxidfilmen **2a**.

[0040] Der neue bipolare Transistor kann wie folgt hergestellt werden. Mit Bezug auf **Fig. 4a** wird ein N-dotiertes Siliziumsubstrat **1** so vorbereitet, dass das N-dotierte Siliziumsubstrat **1** einer nicht-selektiven Wärmeoxidation ausgesetzt wird, um dadurch einen Siliziumoxidfilm **2**, oder SiO_2 -Film, mit einer Dicke von ungefähr 50 nm auf der Oberfläche des Siliziumsubstrats **1** zu bilden. Ein Siliziumnitridfilm **3**, oder ein SiN-Film, wird durch ein Niederdruck-CVD-Verfahren auf der gesamten Oberfläche des Siliziumoxidfilms **2** gebildet, wobei der Siliziumnitridfilm **3** eine Dicke von 150 nm aufweist. Ein Fotolack **4** wird auf dem Siliziumnitridfilm **3** aufgetragen, um den Fotolack **4** bei einem anschließenden Fotolithographischen Verfahren teilweise zu entfernen, wobei der verbleibende Teil des Fotolacks **4** in einer vorbestimmten Zone liegt, in der später eine Basiszone gebildet wird.

[0041] Mit Bezug auf **Fig. 4B** wird der Siliziumnitridfilm **3** durch Verwendung des verbleibenden Teils des Fotolack-Films **4** als Maske bemustert, so dass der Siliziumnitridfilm **3** teilweise entfernt wird und nur auf der vorbestimmten Zone verbleibt, in der später eine Basiszone gebildet wird. Der Fotolack-Film **4** wird zur anschließenden Hochdruck-Wärmeoxidation des Siliziumoxidfilms **2**, der nicht von dem verbleibenden Siliziumnitridfilm **3** bedeckt ist, entfernt, so dass die Feldoxidfilme **2a** gebildet werden, außer in der vorbestimmten Zone, in der später eine Basiszone gebildet wird.

[0042] Mit Bezug auf **Fig. 4C** wird der Siliziumnitridfilm **4B** durch eine Phosphorsäure bei einer Temperatur von 150°C entfernt. Eine Ätzflüssigkeit oder ein Äzmittel mit dem Verhältnis Ammoniumfluorid : Fluorsäure : Wasser = 6 : 1 : 20 wird zur Entfernung des Siliziumoxidfilms verwendet, so dass die Oberfläche des Siliziumsubstrats **1** freiliegt, aber die Feldoxidfilme **2a** verbleiben, wobei die Oberfläche des Siliziumsubstrats **1** sich auf gleicher Ebene mit der Oberfläche der Feldoxidfilme **2a** befindet.

[0043] Mit Bezug auf **Fig. 4D** wird der Siliziumnitridfilm **3a** mit einer Dicke von 150 nm auf der gesamten Oberfläche der Vorrichtung gebildet, so dass er die Oberfläche des Siliziumsubstrats **1** und der Feldoxidfilme **2a** bedeckt. Ein Fotolack **4a** wird auf den Siliziumnitridfilm **3a** aufgetragen und anschließend durch ein Fotolithographie-Verfahren bemustert, um eine Öffnung über einer Basiszone zu bilden.

[0044] Mit Bezug auf **Fig. 4E** wird der Siliziumnitridfilm **3a** durch ein reaktives Ionenätzverfahren bemus-

tert, bei dem Gase verwendet werden, die hauptsächlich CF₄ enthalten, und der Fotolack **4a** als Maske verwendet wird. Der Fotolack **4a** wird entfernt. Das Siliziumsubstrat **1** wird teilweise durch ein reaktives Ätzen entfernt, bei dem Gase verwendet werden, die hauptsächlich Chlorgas enthalten, so dass eine Ausnehmung **5** mit einer Tiefe von 100 nm in einer oberen Zone des Siliziumsubstrats **1** gebildet wird. Die Ausnehmung **5** entspricht der Basiszone, die später gebildet wird. Anschließend wird die Ausnehmung **5**, die in der vorbestimmten oberen Fläche des Siliziumsubstrats **1** gebildet wird, einem zusätzlichen Ätzvorgang ausgesetzt, bei dem eine Ätzflüssigkeit als Ätzmittel mit dem Verhältnis Wasser : Fluorsäure = 50 : 1 zehn Sekunden lang verwendet wird. Das Ätzmittel kann alternativ auch eine Ätzflüssigkeit sein, die Floursäure, eine Eisessigsäure, Iod und Wasser enthält, um einen Teil der Oberfläche der Ausnehmung **5** zu entfernen, der aufgrund der reaktiven Innenätzung eine Kristall-Störstelle aufweist.

[0045] Mit Bezug auf **Fig. 4F** wird eine amorphe Si-Ge-Schicht mit einer Dicke von 100 nm auf der gesamten Oberfläche der Vorrichtung gebildet, indem das Molekularstrahl-Epitaxieverfahren verwendet wird. Die Dicke der amorphen SiGe-Schicht entspricht genau der Tiefe der Ausnehmung **5**, die in der vorbestimmten oberen Zone des Siliziumsubstrats **1** gebildet wurde, so dass die amorphe SiGe-Schicht innerhalb der Ausnehmung auf dem Siliziumsubstrat **1** und auf dem Siliziumnitridfilm gebildet wird, wobei der amorphe SiGe-Film auf dem Siliziumnitridfilm **3a** ein polykristallines Wachstum aufweist, während er in der Ausnehmung auf dem Siliziumsubstrat **1** ein epitaxiales Wachstum aufweisen kann. Folglich wird die Epitaxial-Basisschicht **5** innerhalb der Ausnehmung **7** gebildet, während die Polykristall-Si-Ge-Schicht **6** auf dem Siliziumnitridfilm **3a** gebildet wird. Da die Dicke der Epitaxial-Basisschicht **7** der Dicke der Ausnehmung **5** entspricht, entspricht die Oberkante der Epitaxial-Basisschicht **7** den Oberkanten des Siliziumsubstrats **1** und der Feldoxidfilme **2A**. Als Gasquelle für die Molekularstrahl-Epitaxie sind entweder gasförmige oder feste Quellen möglich.

[0046] Mit Bezug auf **Fig. 4G** werden die Polykristall-SiGe-Schicht **6** und der Siliziumnitridfilm **3a** entfernt.

[0047] Mit Bezug auf **Fig. 4H** wird ein Siliziumoxidfilm **2b** mit einer Dicke von 50 nm durch das Niederdruck-CVD-Verfahren auf der gesamten Oberfläche der Vorrichtung gebildet, so dass er die SiGe-Epitaxial-Basisschicht **7** und die Oberfläche des Siliziumsubstrats **1** sowie die Feldoxidfilme **2a** bedeckt. Ein Siliziumnitridfilm **3b** mit einer Dicke von 150 nm wird auf der gesamten Oberfläche des Siliziumoxidfilms **2b** durch das Niederdruck-CVD-Verfahren gebildet.

[0048] Mit Bezug auf **Fig. 4I** werden Emitter- und Basis-Kontaktstellen selektiv in dem Siliziumoxidfilm **2b** und dem Siliziumnitridfilm **3b** gebildet, damit Teile der SiGe-Epitaxial-Basisschicht freiliegen.

[0049] Mit Bezug auf **Fig. 4J** wird eine mit Arsen do-

tierte Polysiliziumschicht **9** in dem Emitterkontakt gebildet. Die mit Arsen dotierte Polysiliziumschicht **9** wird einer Wärmediffusion ausgesetzt, um Arsenatome von der mit Arsen dotierten Polysiliziumschicht **9** in die freigelegte Oberfläche der SiGe-Epitaxial-Basissschicht **7** zu diffundieren, wobei eine Arsen-Diffusionszone, die als eine Emitterzone **8** dient, in der oberen Fläche der SiGe-Epitaxial-Basissschicht direkt unter der mit Arsen dotierten Polysiliziumschicht **9** gebildet wird. Eine nicht dargestellte Emitterelektrode wird auf der mit Arsen dotierten Polysiliziumschicht **9** gebildet, so dass die Emitterelektrode über die mit Arsen dotierte Polysiliziumschicht mit der Emitterzone **8** elektrisch verbunden ist. Nicht dargestellte Basislektroden werden in den Basis-Kontaktstellen gebildet, so dass die Basislektroden mit der SiGe-Epitaxial-Basiszone **7** elektrisch verbunden sind, womit der bipolare Transistor vollständig wäre.

[0050] Wie aus vorstehender Beschreibung ersichtlich wurde, kann die Dicke der SiGe-Epitaxial-Basissschicht **7** leicht variiert werden, indem nur die Tiefe der Ausnehmung **5** verändert wird. Dadurch ist es möglich, dass die SiGe-Epitaxial-Basissschicht eine ausreichende Dicke aufweist, indem die Ausnehmung **5** mit einer großen Tiefe gebildet wird. Durch die größere Dicke der SiGe-Epitaxial-Basissschicht **7** durch die größere Tiefe der Ausnehmung **5** kann der Widerstand der SiGe-Epitaxial-Basissschicht **7** reduziert werden.

[0051] Der vorstehende neue bipolare Transistor weist eine doppelte Basis-Struktur mit einer peripheralen Länge von 41,2 µm der Emitterzone auf. Es wurde bestätigt, dass der Basiswiderstand des neuen bipolaren Transistors $r_b' = 0,3 \text{ Ohm}$ pro Emitterelektrode beträgt. Der bipolare Transistor mit sechs Emittern hat einen Basiswiderstand von 0,05 Ohm und die Rauschzahl NF = 0,2 dB und zeigt eine Frequenz f = 2 GHZ und ebenso einen Kollektorstrom bei einer minimalen Rauschzahl NF, nämlich $\Gamma = \Gamma_{out}$. Die Rauschzahl ist so niedrig wie [bei einem] GaAs-Heteroübergangs-FET.

[0052] Eine zweite Ausführungsform wird beschrieben, bei der ein neuer bipolarer Transistor mit dem gleichen Aufbau vorgesehen ist, der aber anders hergestellt wird, weshalb die Beschreibungen zum Aufbau des neuen bipolaren Transistors der zweiten Ausführungsform die gleichen sind, wie die der ersten oben beschriebenen Ausführungsform, und in **Fig. 3** dargestellt sind. Ein N-dotiertes Siliziumsubstrat **1** wird nämlich durch Feldoxidfilme **2a** elektrisch isoliert, um eine aktive Zone zu definieren, die als eine Kollektorzone arbeiten kann. Die oberste Fläche des Feldoxidfilms **2a** liegt auf der selben Höhe wie die Ebene der Oberfläche des Siliziumsubstrats **1**. Die Kollektorzone weist eine Oberfläche mit einer Unebenheit auf. In einer Oberflächenzone der Kollektorzone, die einen Teil des Siliziumsubstrats **1** aufweist, wird eine Epitaxial-Basisschicht **7**, die als Basiszone arbeitet, so gebildet, dass sie von den Kanten der Feldoxidfilme **2a** beabschattet ist. Eine mit Arsen do-

tierte Emitterzone **8** wird in einem oberen Teil der Epitaxial-Basisschicht **7** gebildet. Eine mit Arsen dotierte Polysiliziumschicht **9** ist auf der Emitterzone **8** vorgesehen. Die Emitterzone **8** kann durch Wärmediffusion des Arsen von der Polysiliziumschicht **9** in den vorbestimmten oberen Teil der Basiszone **7** gebildet werden. Die Kollektorzone **1**, die Basiszone **8** und die Emitterzone **9** sowie die Feldoxidfilme **2a** weisen eine gleiche Höhe auf, wie es in **Fig. 3** dargestellt ist. Ein Siliziumoxidfilm **3b**, oder SiO_2 -Film, wird auf der gesamten Oberfläche der Vorrichtung gebildet, um die Feldoxidfilme **2a**, den obersten Abschnitt des Siliziumsubstrats **1**, die Basiszone **7** und die Emitterzone **8** zu bedecken, und anschließend wird ein Siliziumnitridfilm **3b** auf der gesamten Oberfläche des Siliziumoxidfilms **2b** gebildet. In dem Siliziumoxidfilm **2b** und dem Siliziumnitridfilm **3b** werden Basis-Kontaktstellen gebildet, um sowohl einen Teil der Basiszone **7** als auch der Emitterzone **8** freizulegen. In der Basis-Kontaktstelle werden Basiselektroden **10** gebildet, damit die Basiselektrode einen Kontakt zu der Basiszone **7** aufweist. Die Polysiliziumschicht **9** geht auch durch den Siliziumoxidfilm **2b** und den Siliziumnitridfilm **3b** durch, so dass sie mit der Emitterzone **8** in Kontakt ist. Eine Emitterelektrode **11** ist auf der Polysiliziumschicht **9** vorgesehen, so dass die Emitterelektrode **11** über die Polysiliziumschicht **9** mit der Emitterzone **8** verbunden ist.

[0053] Der oben beschriebene bipolare Transistor besitzt die SiGe-Basiszone **7**, die in einer Ausnehmung gebildet ist, die in dem vorbestimmten oberen Abschnitt des Siliziumsubstrats **1** vorgesehen ist, um zu ermöglichen, dass die Oberseite der Epitaxial-Basiszone **7** auf der selben Ebene liegt wie der Oberseite des Siliziumsubstrats **1**, das als Kollektorzone arbeitet. Dies ermöglicht das Festlegen einer Dicke der Epitaxial-Basisschicht **7** ungeachtet anderer Schichten wie den Feldoxidfilmen **2a**. Die anfänglichen Vorgänge zur Herstellung des neuen bipolaren Transistors der zweiten Ausführungsform sind die selben wie die der ersten Ausführungsform.

[0054] Mit Bezug auf **Fig. 5A** wird ein N-dotiertes Siliziumsubstrat **1** so vorbereitet, dass das N-dotierte Siliziumsubstrat **1** einer nicht selektiven Wärmeoxidation ausgesetzt wird, um dabei einen Siliziumoxidfilm **2**, oder SiO_2 -Film, mit einer Dicke von ungefähr 50 nm auf der Oberfläche des Siliziumsubstrats **1** zu bilden. Ein Siliziumnitridfilm **3**, oder SiN -Film, wird durch ein Niederdruck-CVD-Verfahren auf der gesamten Oberfläche des Siliziumoxidfilms **2** gebildet, wobei der Siliziumnitridfilm **3** eine Dicke von 150 nm aufweist. Ein Fotolack **4** wird zum anschließenden Fotolithographie-Verfahren auf den Siliziumnitridfilm **3** aufgetragen, um, den Fotolack **4** teilweise zu entfernen, wodurch sich der verbleibende Teil des Fotolacks **4** in einer vorbestimmten Zone befindet, in der später eine Basiszone gebildet wird.

[0055] Mit Bezug auf **5B** wird der Siliziumnitridfilm **3** bemustert, indem der verbleibende Teil des Fotolackfilms **4** als Maske verwendet wird, so dass der Silizi-

umnitridfilm **3** teilweise entfernt wird und nur über der vorbestimmten Zone verbleibt, in der später eine Basiszone gebildet wird. Der Fotolackfilm **4** wird für die anschließende Hochdruck-Wärmeoxidation des Siliziumoxidfilms **2** entfernt, der nicht von dem verbleibenden Siliziumnitridfilm **3** bedeckt ist, so dass die Feldoxidfilme **2a** gebildet werden, außer in der vorbestimmten Zone, in der später eine Basiszone gebildet wird.

[0056] Mit Bezug auf **Fig. 5C** wird der verbleibende Teil des Siliziumnitridfilms **3** entfernt. Ein Fotolackfilm **4b** wird auf der gesamten Oberfläche des Feldoxidfilms **2a** aufgetragen. Der Fotolackfilm **4b** wird bemustert, so dass eine Öffnung auf einer vorbestimmten Zone über dem konkavem Abschnitt des Siliziumsubstrats **1** gebildet wird, so dass ein Teil des Feldoxidfilms **2a** über dem konkavem Abschnitt des Siliziumsubstrats **1** liegt. Die Öffnung des Fotolackfilms liegt genau auf einer vorbestimmten Zone, auf der später eine SiGe-Epitaxial-Basiszone hergestellt wird.

[0057] Mit Bezug auf **Fig. 5D** wird der Siliziumoxidfilm über dem konkavem Abschnitt des Siliziumsubstrats **1** durch Ätzen mit dem Fotolackfilm **4b** entfernt, so dass der dünne Siliziumoxidfilm genau unter der Öffnung des Fotolackfilms **4b** entfernt wird, damit die Oberfläche des konkavem Abschnitts des Siliziumsubstrats **1** freiliegt, wobei Teile des dünnen Siliziumoxidfilms auf Kanten des konkavem Abschnitts des Siliziumsubstrats **1** verbleiben. Die Kanten des dünnen Siliziumoxidfilms **3c** definieren eine Öffnung **5a**, durch die die Oberfläche des konkavem Abschnitts des Siliziumsubstrats **1** freigelegt wird. Anschließend wird der Fotolackfilm **4b** entfernt.

[0058] Mit Bezug auf **Fig. 5E** wird die freigelegte Oberfläche des konkavem Abschnitts des Siliziumsubstrats **1** über die Öffnung **5a** durch selektives Ätzen unter Verwendung des verbleibenden dünnen Siliziumoxidfilms **2c** als Maske entfernt, so dass eine Ausnehmung **5b** mit einer vorbestimmten Tiefe, die einer vorgesehenen Dicke einer später zu bildenden Basisschicht entspricht, in einer oberen Zone des konkavem Abschnitts des Siliziumsubstrats **1** gebildet wird.

[0059] Mit Bezug auf **Fig. 5F** wird eine amorphe SiGe-Schicht mit einer Dicke, die der Tiefe der Ausnehmung **5b** entspricht, auf der gesamten Oberfläche der Vorrichtung gebildet, indem das Molekularstrahl-Epitaxieverfahren verwendet wird. Die Dicke der amorphen SiGe-Schicht entspricht genau der Tiefe der Ausnehmung **5**, die in der vorbestimmten oberen Zone des Siliziumsubstrats **1** gebildet ist, so dass die amorphe SiGe-Schicht in der Ausnehmung auf dem Siliziumsubstrat **1** und auf dem Siliziumoxidfilm gebildet wird, wobei der amorphe SiGe-Film auf dem Siliziumoxidfilm **2a** ein polykristallines Wachstum zeigt, während die amorphe SiGe-Schicht in der Ausnehmung **5b** auf dem Siliziumsubstrat **1** ein epitaxisches Wachstum zeigen kann. Folglich wird die Epitaxial-Basisschicht **7** in der Ausnehmung **7** gebildet,

während die polykristalline SiGe-Schicht **6** auf dem Siliziumnitridfilm **3a** gebildet wird. Da die Dicke der Epitaxial-Basisschicht **7** der Tiefe der Ausnehmung **5** entspricht, entspricht die obere Ebene der Epitaxial-Basisschicht **7** den oberen Ebenen des Siliziumsubstrats **1** und der Feldoxidfilme **2a**. Als Gasquelle für das Molekularstrahl-Epitaxieverfahren sind entweder Gasquellen oder eine feste Quelle möglich.

[0060] Mit Bezug auf **Fig. 5G** werden die polykristalline SiGe-Schicht **6** und der Siliziumoxidfilm **2a** entfernt.

[0061] Mit Bezug auf **Fig. 5H** wird ein Siliziumoxidfilm **2b** mit einer Dicke von 50 nm durch ein Niederdruck-CVD-Verfahren auf der gesamten Oberfläche der Vorrichtung gebildet, um die SiGe-Epitaxial-Basisschicht **7** und die Oberfläche des Siliziumsubstrats **1** sowie die Feldoxidfilme **2a** zu bedecken. Ein Siliziumnitridfilm **3b** mit einer Dicke von 150 nm wird durch das Niederdruck-CVD-Verfahren auf der gesamten Oberfläche des Siliziumoxidfilms **2b** gebildet.

[0062] Mit Bezug auf **Fig. 5I** werden Emitter- und Basis-Kontaktstellen selektiv in dem Siliziumoxidfilm **2b** und dem Siliziumnitridfilm **3b** gebildet, damit Teile der SiGe-Epitaxial-Basisschicht freigelegt werden.

[0063] Mit Bezug auf **Fig. 5J** wird eine mit Arsen dotierte Polysiliziumschicht **9** in dem Emitterkontakt gebildet. Die mit Arsen dotierte Polysiliziumschicht **9** wird einer Wärmediffusion ausgesetzt, um Arsen-Atome von der mit Arsen dotierten Polysiliziumschicht **9** in die freigelegte Oberfläche der SiGe-Epitaxial-Basisschicht **7** zu diffundieren, wodurch eine Arsen-Diffusionszone, die als Emitterzone **8** dient, in der Oberfläche der SiGe-Epitaxial-Basisschicht genau unter der mit Arsen dotierten Polysiliziumschicht **9** gebildet wird.

[0064] Eine nicht dargestellte Emitterelektrode wird auf der mit Arsen dotierten Polysiliziumschicht **9** gebildet, so dass die Emitterelektrode über die mit Arsen dotierte Polysiliziumschicht mit der Emitterzone **8** elektrisch verbunden ist. Nicht dargestellte Basislektroden werden in den Basis-Kontaktstellen gebildet, so dass die Basislektroden mit der SiGe-Epitaxial-Basiszone **7** elektrisch verbunden sind, womit der bipolare Transistor vollständig wäre.

[0065] Wie aus vorstehender Beschreibung ersichtlich, kann die Dicke der SiGe-Epitaxial-Basisschicht **7** leicht variiert werden, indem nur die Tiefe der Ausnehmung **5** verändert wird. Dadurch ist es möglich, dass die SiGe-Epitaxial-Basisschicht eine ausreichende Dicke aufweist, indem die Ausnehmung **5** mit einer großen Tiefe gebildet wird. Durch die größere Dicke der SiGe-Epitaxial-Basisschicht **7** durch die größere Tiefe der Ausnehmung **5** kann der Widerstand der SiGe-Epitaxial-Basisschicht **7** reduziert werden.

[0066] Es wird kein Siliziumnitridfilm beim Ätzen des Siliziumsubstrats **1** verwendet, um die Ausnehmung in der oberen Zone des Siliziumsubstrats **1** zu bilden. Damit kann das Herstellungsverfahren verkürzt werden.

[0067] Der vorstehende neue bipolare Transistor weist eine doppelte Basis-Struktur mit einer peripheralen Länge von 41,2 μm der Emitterzone auf. Es wurde bestätigt, dass der Basiswiderstand des neuen bipolaren Transistors $r_b' = 0,3 \text{ Ohm}$ pro Emitterelektrode beträgt. Der bipolare Transistor mit sechs Emittern hat einen Basiswiderstand von 0,05 Ohm und die Rauschzahl $\text{NF} = 0,2 \text{ dB}$ und zeigt eine Frequenz $f = 2 \text{ GHZ}$ und ebenso einen Kollektorstrom bei einer minimalen Rauschzahl NF , nämlich $\Gamma = \Gamma_{\text{out}}$. Die Rauschzahl ist so niedrig wie [bei einem] GaAs-Heteroübergangs-FET.

[0068] Als Modifikation ist auch eine Kombination von beiden Herstellungsverfahren der ersten und zweiten Ausführungsform möglich. Ein Siliziumnitridfilm wird dann weiter auf dem Siliziumoxidfilm gebildet, so dass die Kombination des Siliziumoxidfilms und des zusätzlichen Siliziumnitridfilms als Maske verwendet wird. Die Verwendung des Siliziumnitridfilms als Maske für das Ätzenverfahren kann ein größeres Selektivverhältnis des Ätzens auf dem Siliziumsubstrat **1** ermöglichen. Dies kann die Bildung einer tieferen Ausnehmung ermöglichen, um dabei eine SiGe-Epitaxial-Basisschicht mit einer größeren Dicke zu ermöglichen, die in der tieferen Ausnehmung gebildet wird. Die größere Dicke der SiGe-Epitaxial-Basisschicht kann deren Widerstand reduzieren. Die Verringerung der Dicke der SiGe-Epitaxial-Basischicht kann es ermöglichen, dass der bipolare Transistor keine Verschlechterung der Rauschzahl aufweist.

[0069] Der zwischen dem Siliziumsubstrat und dem Siliziumnitridfilm gebildete Siliziumoxidfilm kann, wobei sowohl der Siliziumoxidfilm als auch der Siliziumnitridfilm als Masken verwendet werden, als Pufferschicht wirken, was eine Entspannung einer Spannung zwischen dem Siliziumnitridfilm und dem Siliziumsubstrat darstellen kann.

[0070] Als weitere Modifikation kann die Maske, die zum Ätzen des vorbestimmten oberen Abschnitts des Siliziumsubstrats verwendet wird, ein Fotolack anstelle des Siliziumoxidfilms und des Siliziumnitridfilms sein.

[0071] Eine dritte erfindungsgemäße Ausführungsform wird wie folgt beschrieben. Mit Bezug auf **Fig. 6A** wird ein N-dotiertes Siliziumsubstrat **1** so vorbereitet, dass das N-dotierte Siliziumsubstrat **1** einer nicht selektiven Wärmeoxidation ausgesetzt ist, um dabei einen Siliziumoxidfilm **2**, oder SiO_2 -Film, mit einer Dicke von ungefähr 50 nm auf der Oberfläche des Siliziumsubstrats **1** zu bilden. Ein Siliziumnitridfilm **3**, oder SiN -Film, wird durch ein Niederdruck-CVD-Verfahren auf der gesamten Oberfläche des Siliziumoxidfilms **2** gebildet, wobei der Siliziumnitridfilm **3** eine Dicke von 150 nm aufweist. Ein Fotolack **4** wird zum anschließenden Fotolithographie-Verfahren auf den Siliziumnitridfilm **3** aufgetragen, um den Fotolack **4** teilweise zu entfernen, wodurch sich der verbleibende Teil des Fotolacks **4** in einer vorbestimmten Zone befindet, in der später eine Basiszone gebildet wird.

[0072] Mit Bezug auf **6B** wird der Siliziumnitridfilm **3** bemustert, indem der verbleibende Teil des Fotolackfilms **4** als Maske verwendet wird, so dass der Siliziumnitridfilm **3** teilweise entfernt wird und nur über der vorbestimmten Zone verbleibt, in der später eine Basiszone gebildet wird. Der Fotolackfilm **4** wird für die anschließende Hochdruck-Wärmediffusion des Siliziumoxidfilms **2** entfernt, der nicht von dem verbleibenden Siliziumnitridfilm **3** bedeckt ist, so dass die Feldoxidfilme **2a** gebildet werden, außer in der vorbestimmten Zone, in der später eine Basiszone gebildet wird.

[0073] Mit Bezug auf **Fig. 6C** wird der verbleibende Teil des Siliziumnitridfilms **3** entfernt. Ein Fotolackfilm **4b** wird auf der gesamten Oberfläche des Feldoxidfilms **2a** aufgetragen. Der Fotolackfilm **4b** wird bemustert, so dass eine Öffnung auf einer vorbestimmten Zone über dem konvexen Abschnitt des Siliziumsubstrats **1** gebildet wird, so dass ein Teil des Feldoxidfilms **2a** über dem konvexen Abschnitt des Siliziumsubstrats **1** liegt. Die Öffnung des Fotolackfilms liegt genau auf einer vorbestimmten Zone, auf der später eine SiGe-Epitaxial-Basiszone hergestellt wird.

[0074] Mit Bezug auf **Fig. 6D** wird der Siliziumoxidfilm über dem konvexen Abschnitt des Siliziumsubstrats **1** durch Ätzen mit dem Fotolackfilm **4b** entfernt, so dass der dünne Siliziumoxidfilm genau unter der Öffnung des Fotolackfilms **4b** entfernt wird, damit die Oberfläche des konvexen Abschnitts des Siliziumsubstrats **1** freilegt, wobei Teile des dünnen Siliziumoxidfilms auf Kanten des konvexen Abschnitts des Siliziumsubstrats **1** verbleiben. Die Kanten des dünnen Siliziumoxidfilms **3c** definieren eine Öffnung **5a**, durch die die Oberfläche des konvexen Abschnitts des Siliziumsubstrats **1** freigelegt wird. Anschließend wird der Fotolackfilm **4b** entfernt.

[0075] Mit Bezug auf **Fig. 6E** wird die freigelegte Oberfläche des konvexen Abschnitts des Siliziumsubstrats **1** über die Öffnung **5a** durch selektives Ätzen unter Verwendung des verbleibenden dünnen Siliziumoxidfilms **2c** als Maske entfernt, so dass eine Ausnehmung **5b** mit einer vorbestimmten Tiefe, die einer vorgesehenen Dicke einer später zu bildenden Basischicht entspricht, in einer oberen Zone des konvexen Abschnitts des Siliziumsubstrats **1** gebildet wird.

[0076] Mit Bezug auf **Fig. 6F** wird eine amorphe Si-Ge-Schicht mit einer Dicke, die der Tiefe der Ausnehmung **5b** entspricht, auf der gesamten Oberfläche der Vorrichtung gebildet, indem das Molekularstrahl-Epitaxieverfahren verwendet wird. Die Dicke der amorphen Si-Ge-Schicht entspricht genau der Tiefe der Ausnehmung **5**, die in der vorbestimmten oberen Zone des Siliziumsubstrats **1** gebildet ist, so dass die amorphe Si-Ge-Schicht in der Ausnehmung auf dem Siliziumsubstrat **1** und auf dem Siliziumoxidfilm gebildet wird, wobei der amorphe Si-Ge-Film auf dem Siliziumoxidfilm **2a** ein polykristallines Wachstum zeigt, während die amorphe Si-Ge-Schicht in der Aus-

nehmung **5b** auf dem Siliziumsubstrat **1** ein epitaxisches Wachstum zeigen kann. Folglich wird die Epitaxial-Basischicht **7** in der Ausnehmung **7** gebildet, während die polykristalline SiGe-Schicht **6** auf dem Siliziumnitridfilm **3a** gebildet wird. Da die Dicke der Epitaxial-Basischicht **7** der Tiefe der Ausnehmung **5** entspricht, entspricht die obere Ebene der Epitaxial-Basischicht **7** den oberen Ebenen des Siliziumsubstrats **1** und der Feldoxidfilme **2a**. Als Gasquelle für das Molekularstrahl-Epitaxieverfahren sind entweder Gasquellen oder eine feste Quelle möglich.

[0077] Mit Bezug auf **Fig. 6G** wird eine Siliziumschicht auf der gesamten Oberfläche der Vorrichtung gebildet, so dass die Siliziumschicht auf der Si-Ge-Epitaxial-Basischicht **7** ein epitaxisches Wachstum zeigt, wodurch eine Silizium-Epitaxialschicht **12** auf der Si-Ge-Epitaxial-Basischicht **7** gebildet wird, während die Siliziumschicht auf der polykristallinen SiGe-Schicht **6** ein polykristallines Wachstum zeigt, wodurch eine Polysiliziumschicht **6a** auf der polykristallinen SiGe-Schicht **6** gebildet wird.

[0078] Mit Bezug auf **Fig. 6H** werden die polykristalline SiGe-Schicht **6** und die Polysiliziumoxidschicht **2a** entfernt.

[0079] Mit Bezug auf **Fig. 6I** wird ein Siliziumoxidfilm **2b** mit einer Dicke von 50 nm durch ein Niederdruck-CVD-Verfahren auf der gesamten Oberfläche der Vorrichtung gebildet, um die Si-Epitaxialschicht **12** und die Oberfläche des Siliziumsubstrats **1** sowie die Feldoxidfilme **2a** zu bedecken: Ein Siliziumnitridfilm **3b** mit einer Dicke von 150 nm wird durch das Niederdruck-CVD-Verfahren auf der gesamten Oberfläche des Siliziumoxidfilms **2b** gebildet.

[0080] Mit Bezug auf **Fig. 6J** werden Emitter- und Basis-Kontaktstellen selektiv in dem Siliziumoxidfilm **2b** und dem Siliziumnitridfilm **3b** gebildet, damit Teile der Si-Epitaxial-Basischicht **12** freiliegen.

[0081] Mit Bezug auf **Fig. 6K** wird eine mit Arsen dotierte Polysiliziumschicht **9** in dem Emitterkontakt gebildet. Die mit Arsen dotierte Polysiliziumschicht **9** wird einer Wärmediffusion ausgesetzt, um Arsen-Atome von der mit Arsen dotierten Polysiliziumschicht **9** in die freiliegende Oberfläche der Si-Ge-Epitaxial-Basischicht **7** zu diffundieren, wodurch eine Arsen-Diffusionszone, die als Emitterzone **8** dient, in der oberen Oberfläche der Si-Ge-Epitaxial-Basischicht **12** genau unter der mit Arsen dotierten Polysiliziumschicht **9** gebildet wird. Eine nicht dargestellte Emitterelektrode wird auf der mit Arsen dotierten Polysiliziumschicht **9** gebildet, so dass die Emitterelektrode über die mit Arsen dotierte Polysiliziumschicht mit der Emitterzone **8** elektrisch verbunden ist. Nicht dargestellte Basiselektroden werden in den Basis-Kontaktstellen gebildet, so dass die Basiselektroden mit der Si-Epitaxial-Basiszone **12** auf der Si-Ge-Epitaxial-Basischicht **7** elektrisch verbunden sind, womit der bipolare Transistor vollständig wäre.

[0082] Wie aus vorstehender Beschreibung ersichtlich, kann die Dicke der Si-Ge-Epitaxial-Basischicht **7** leicht variiert werden, indem nur die Tiefe der Aus-

nehmung 5 verändert wird. Dadurch ist es möglich, dass die SiGe-Epitaxial-Basisschicht eine ausreichende Dicke aufweist, indem die Ausnehmung 5 mit einer großen Tiefe gebildet wird. Durch die größere Dicke der SiGe-Epitaxial-Basisschicht 7 durch die größere Tiefe der Ausnehmung 5 kann der Widerstand der SiGe-Epitaxial-Basisschicht 7 reduziert werden.

[0083] Die Silizium-Epitaxialschicht 12 kann dazu dienen, die SiGe-Epitaxial-Basisschicht 7 vor dem Nuzten bei einem späteren Spülverfahren zu schützen. Dies kann die gewünschte Dicke der SiGe-Epitaxial-Basisschicht 7 sicherstellen.

[0084] Der vorstehende neue bipolare Transistor weist eine doppelte Basis-Struktur mit einer peripheralen Länge von 41,2 µm der Emitterzone auf. Es wurde bestätigt, dass der Basiswiderstand des neuen bipolaren Transistors $r_b' = 0,3 \text{ Ohm}$ pro Emitterelektrode beträgt. Der bipolare Transistor mit sechs Emittern hat einen Basiswiderstand von 0,05 Ohm und die Rauschzahl $NF = 0,2 \text{ dB}$ und zeigt eine Frequenz $f = 2 \text{ GHZ}$ und ebenso einen Kollektorstrom bei einer minimalen Rauschzahl NF , nämlich $\Gamma = \Gamma_{\text{out}}$. Die Rauschzahl ist so niedrig wie [bei einem] GaAs-Heteroübergangs-FET.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bildung einer Basiszone eines bipolaren Transistors, das folgende Schritte aufweist: die selektive Bildung einer Ausnehmung (5) mit einer Tiefe in einer oberen Zone eines Halbleitersubstrats (1), die als Kollektorzone arbeitet, ausser für die Feldoxidfilme (2a), die selektiv in dem Halbleitersubstrat (1) gebildet sind, wobei die Ausnehmung (5) durch Ätzen unter Verwendung von Siliziumoxidfilmen und Feldoxidfilmen als Masken gebildet wird, bei denen sich Feldoxidfilme über die Kanten der oberen Abschnitte des Halbleitersubstrats (1) erstrecken; und die selektive Bildung der Basiszone, die eine Verbindungshalbleiter-Epitaxialschicht (7) in der Ausnehmung aufweist, wobei die Verbindungshalbleiter-Epitaxialschicht (7) eine Dicke aufweist, die der Tiefe der in dem Halbleitersubstrat (1) gebildeten Ausnehmung (5) entspricht, so dass die Basiszone eine Oberfläche aufweist, die auf der gleichen Ebene wie die Oberfläche des Halbleitersubstrats (1) liegt, wobei die Basiszone die Verbindungshalbleiter-Epitaxialschicht (7) aufweist;

dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt der selektiven Bildung der Basiszone Folgendes aufweist: das Aufdampfen einer SiGe-Schicht auf die gesamte Oberfläche des Substrats, so dass eine SiGe-Epitaxialschicht (7) in der Ausnehmung gebildet wird und eine polykristalline SiGe-Schicht (6) auf dem Siliziumoxidfilm (2a) gebildet wird; das Aufdampfen einer Siliziumschicht auf die gesamte Oberfläche des Substrats, so dass eine Silizium-Epitaxialschicht (12) auf der SiGe-Epitaxialschicht (7) gebildet wird, und eine Polysiliziumschicht

(6a) auf dem Siliziumoxidfilm (2a) gebildet wird; und das Entfernen der polykristallinen SiGe-Schicht (6) und der Polysiliziumschicht (6a), wobei die Verbindungshalbleiter-Epitaxialschicht (7) innerhalb der Ausnehmung (5) bleibt.

2. Verfahren zur Bildung einer Basiszone nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Basiszone eine SiGe-Epitaxial-Basisschicht (7) aufweist.

3. Verfahren zur Bildung einer Basiszone nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kollektorzone ein Halbleitersubstrat (1) aufweist.

4. Verfahren zur Bildung einer Basiszone nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleitersubstrat ein Siliziumsubstrat (1) aufweist.

5. Verfahren zur Bildung eines bipolaren Transistors, der eine Basiszone aufweist, die nach Anspruch 1 hergestellt wurde.

6. Verfahren zur Bildung eines bipolaren Transistors nach Anspruch 5, das weiter Folgendes aufweist: die Bildung eines Siliziumoxidfilms (2b) zum Bedecken der Basiszone, der Oberfläche des Substrats (1) und des Feldoxidfilms (2a), wobei der Siliziumoxidfilm (2b) eine Emitter-Kontaktstelle und mindestens eine Basis-Kontaktstelle aufweist; die Bildung eines Siliziumnitridfilms (3b) auf dem Siliziumoxidfilm (2b), wobei der Siliziumnitridfilm (2b) eine Emitter-Kontaktstelle und mindestens eine Basis-Kontaktstelle aufweist, die direkt über den Emitter- und Basis-Kontaktstellen des Siliziumoxidfilms (2b) liegen; die Bildung einer Polysiliziumschicht (9) in der Emitter-Kontaktstelle, die über dem Nitridfilm (3b) hinausragt; das Bereitstellen einer Emitterelektrode (11), die auf der Polysiliziumschicht (9) vorgesehen ist, so dass die Emitterelektrode (11) über die Polysiliziumschicht (9) elektrisch mit der Emitterzone (8) verbunden ist; und die Bildung mindestens einer Basiselektrode (10) in der mindestens einen Basis-Kontaktstelle.

Es folgen 24 Blatt Zeichnungen

FIG. 1 A STAND DER TECHNIK

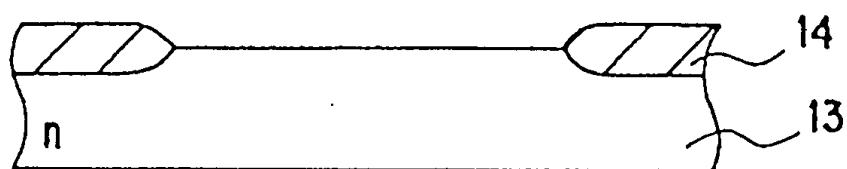


FIG. 1 B STAND DER TECHNIK

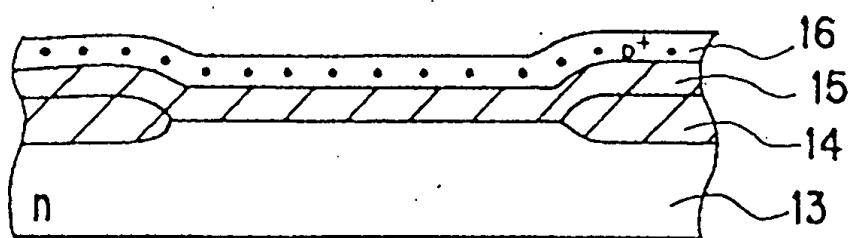


FIG. 1 C STAND DER TECHNIK

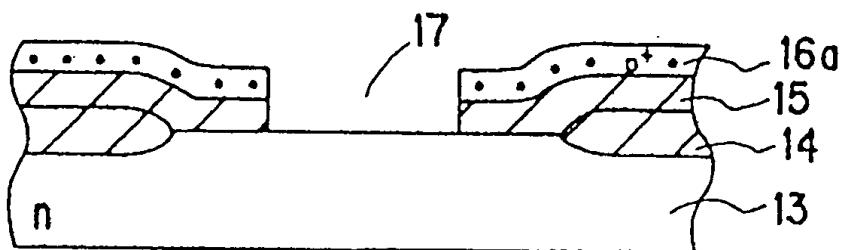


FIG. 1 D STAND DER TECHNIK

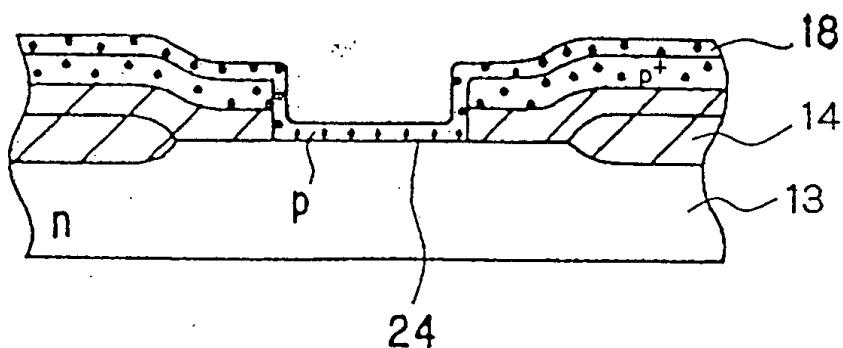


FIG. 1 E STAND DER TECHNIK

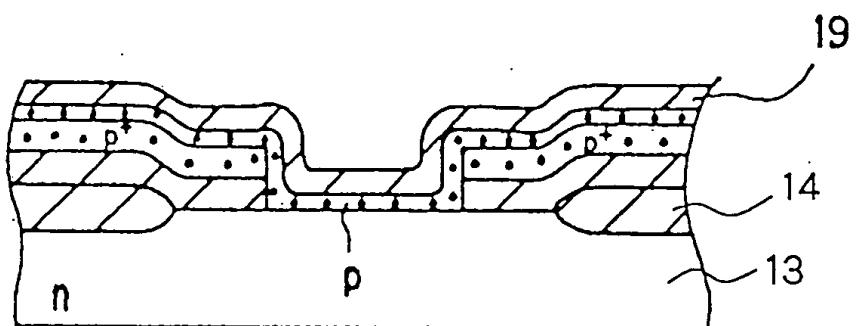


FIG. 1 F STAND DER TECHNIK

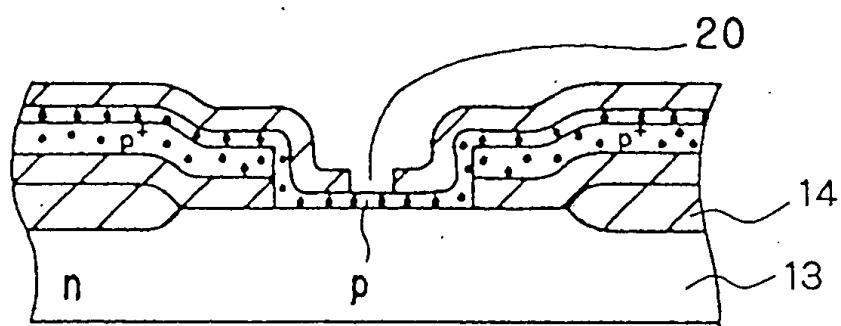


FIG. 1 G STAND DER TECHNIK

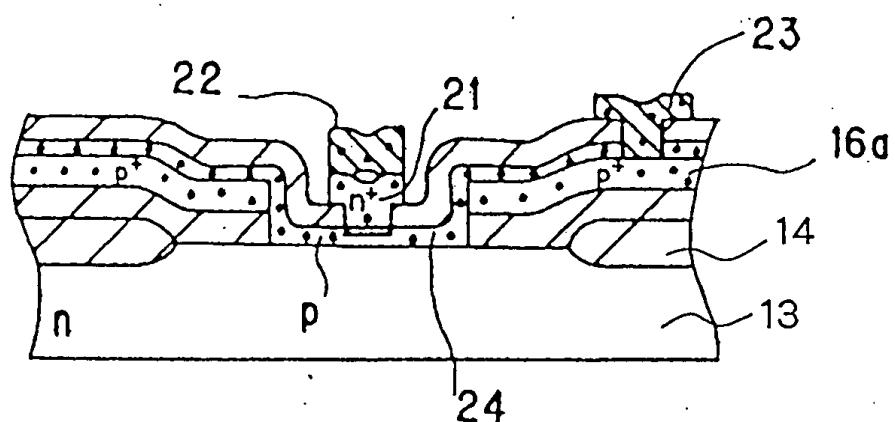


FIG. 2 A STAND DER TECHNIK

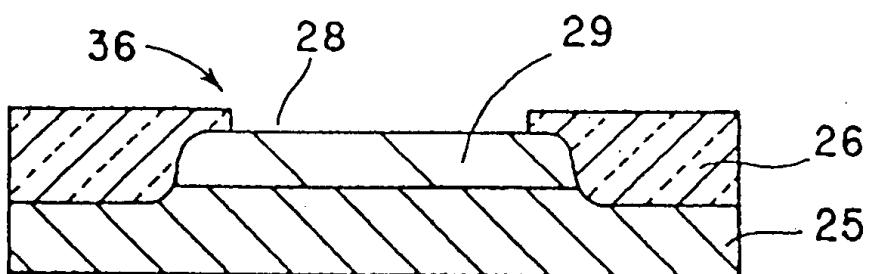


FIG. 2 B STAND DER TECHNIK

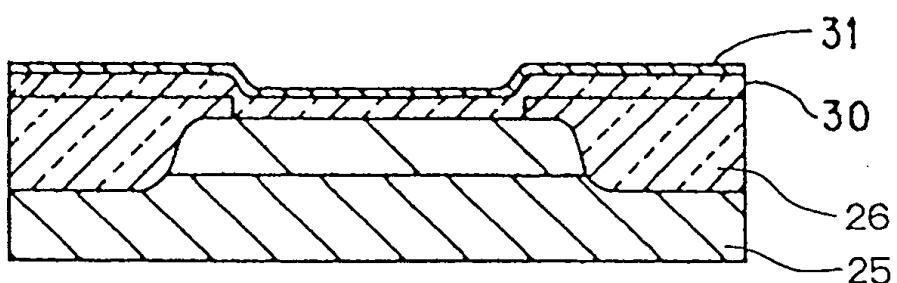


FIG. 2 C

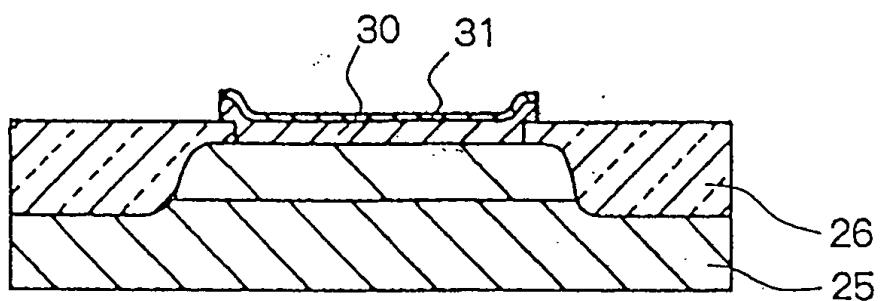


FIG. 2 D STAND DER TECHNIK

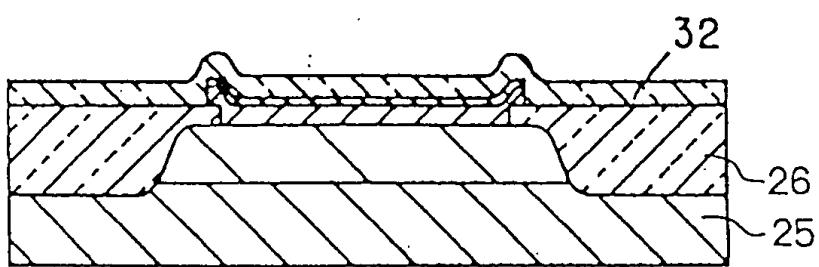


FIG. 2 E STAND DER TECHNIK

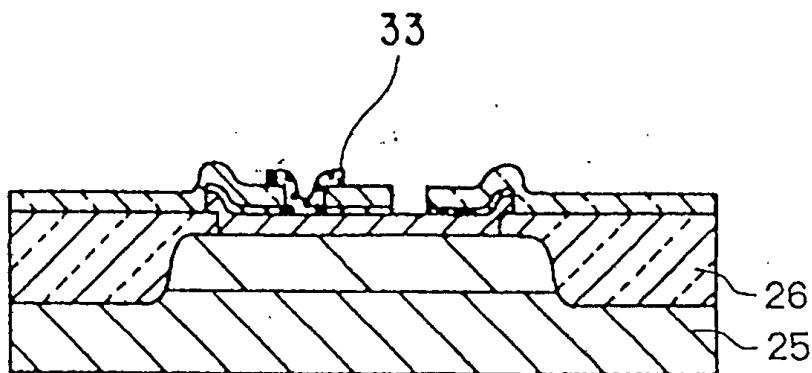


FIG. 2 F STAND DER TECHNIK

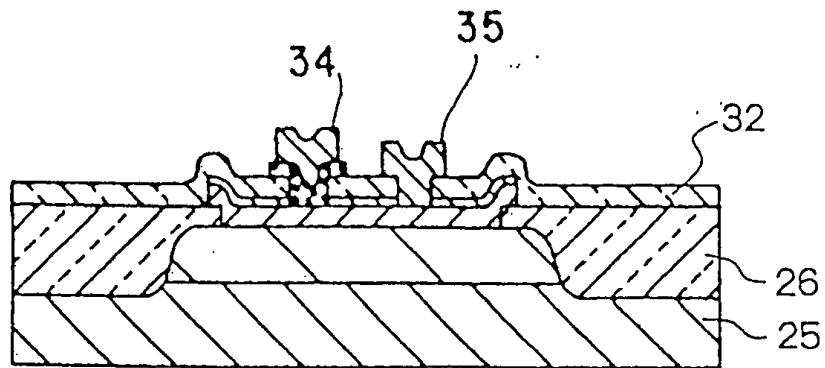
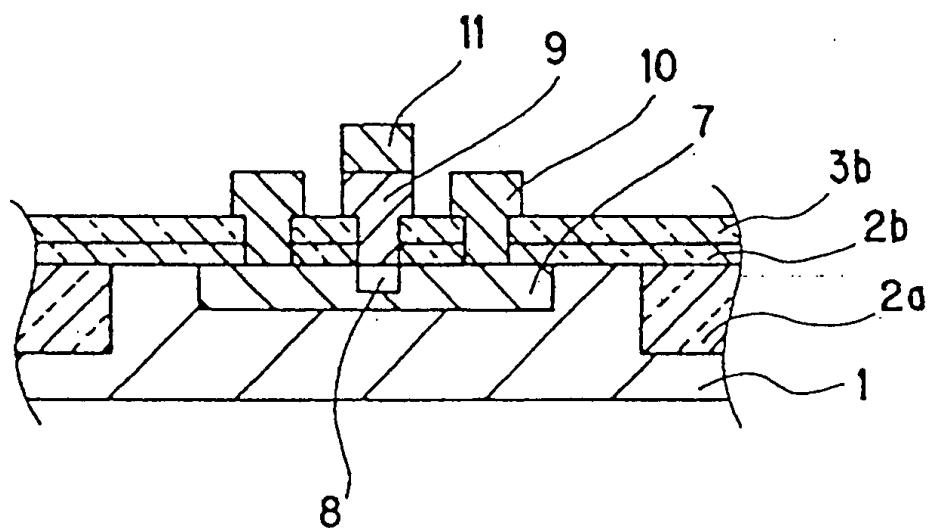
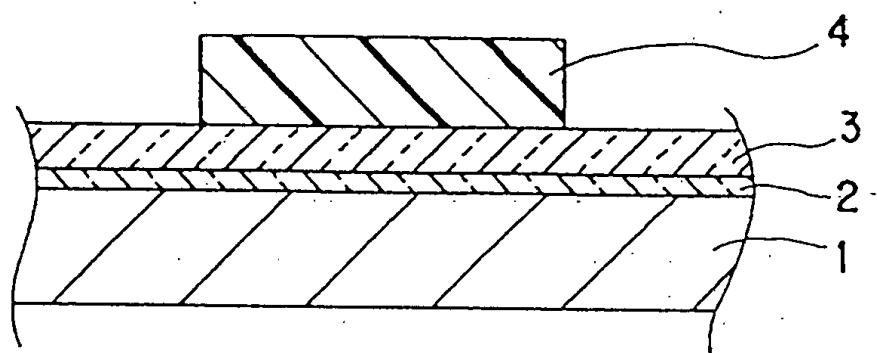


FIG. 3



F I G . 4 A



F I G . 4 B

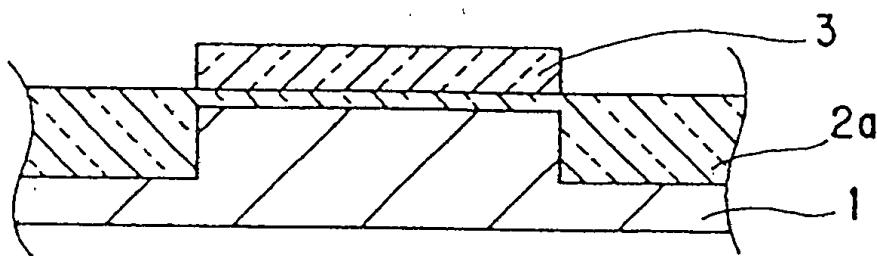


FIG. 4 C

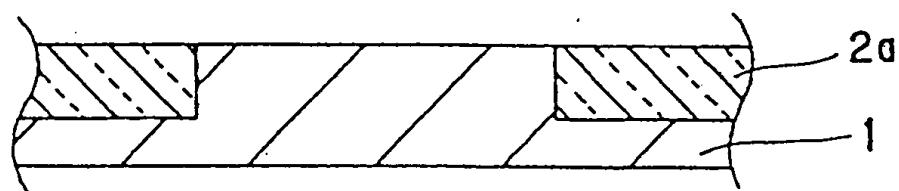


FIG. 4 D

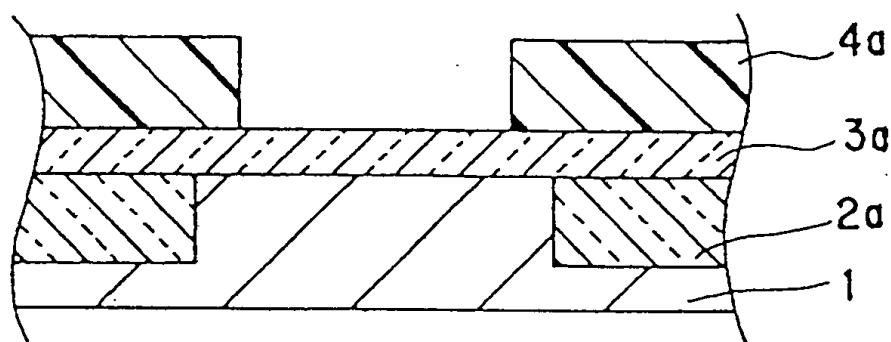


FIG. 4 E

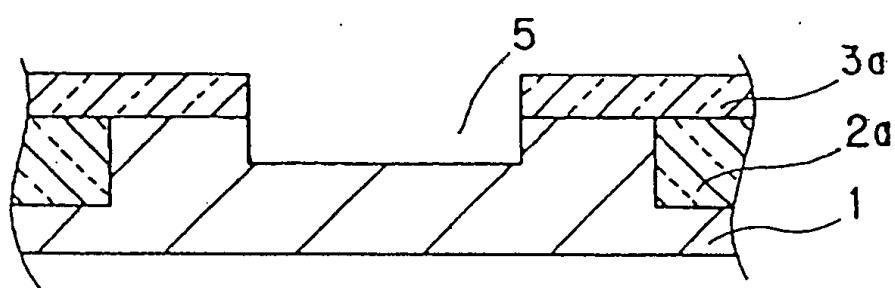


FIG. 4 F

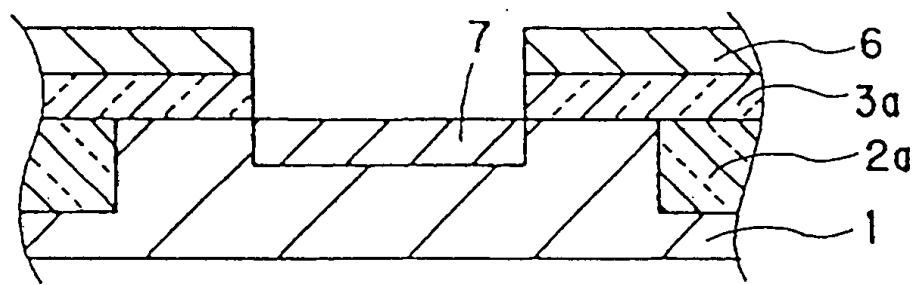


FIG. 4 G

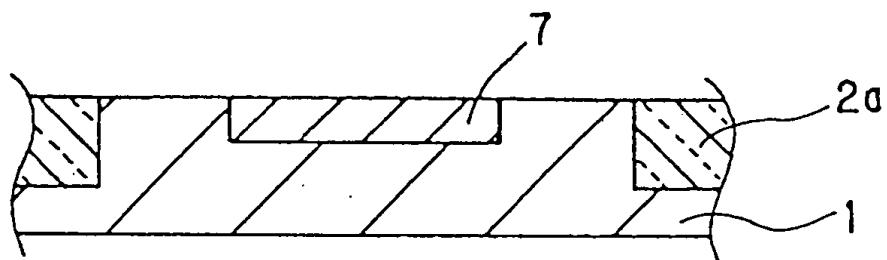


FIG. 4 H

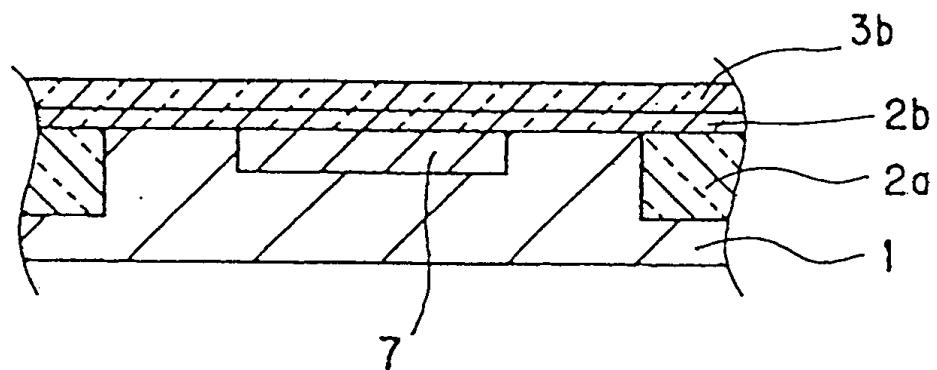


FIG. 4 I

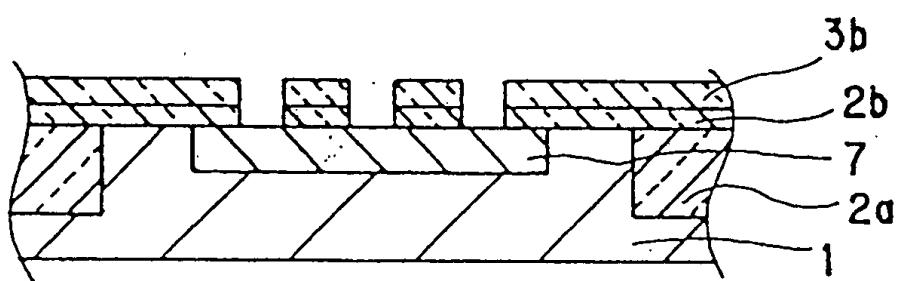


FIG. 4 J

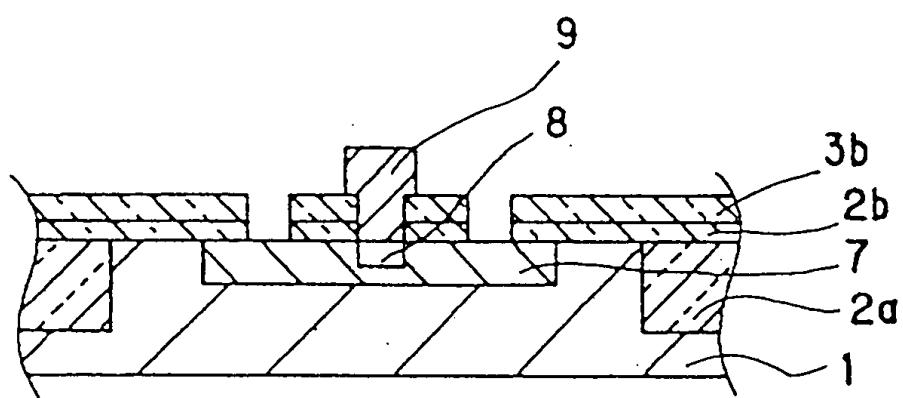


FIG. 5 A

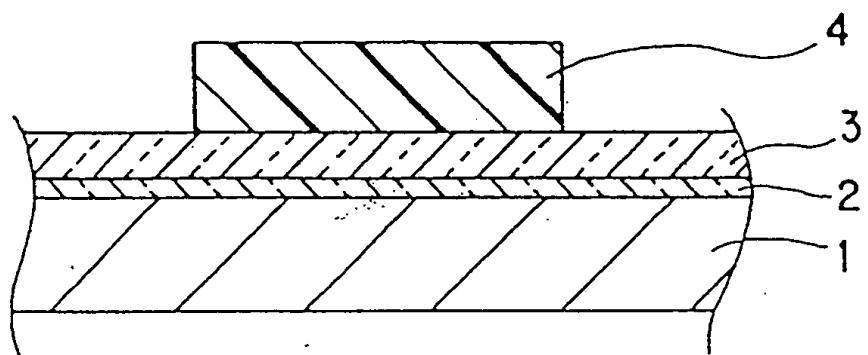


FIG. 5 B

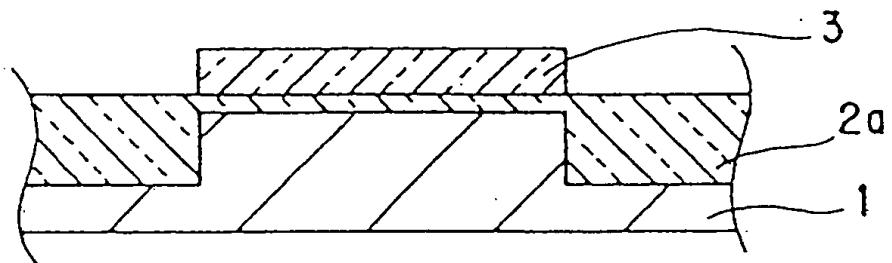


FIG. 5 C

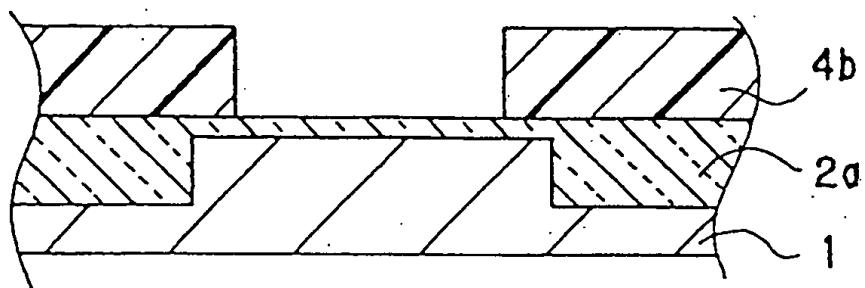


FIG. 5 D

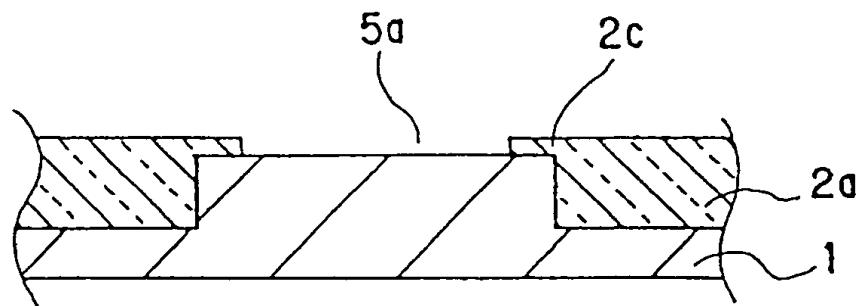


FIG. 5 E

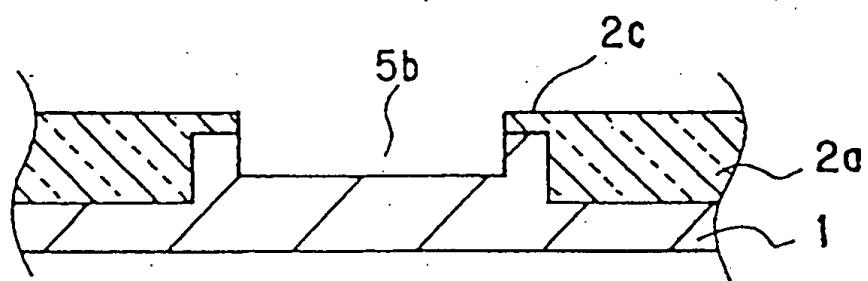
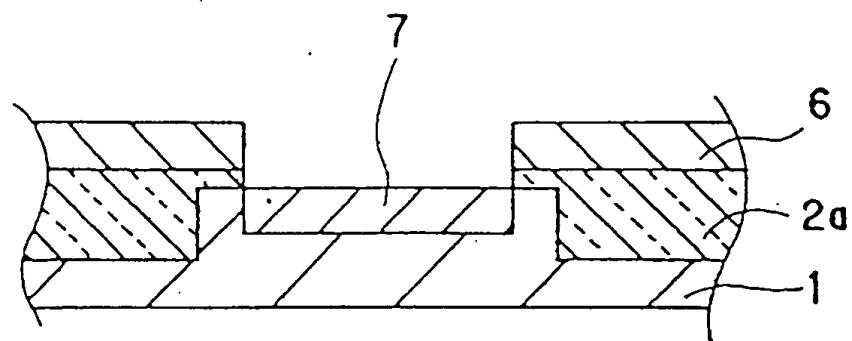
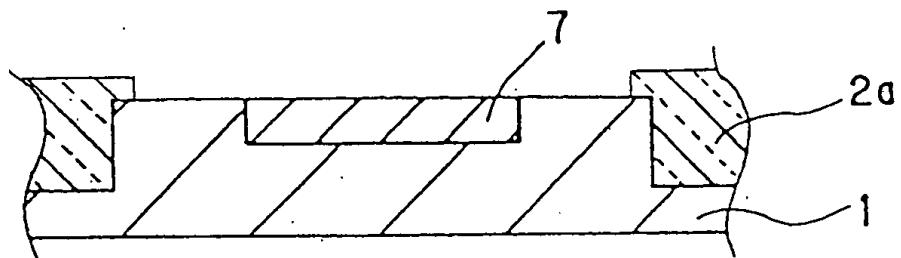


FIG. 5 F



F I G . 5 G



F I G . 5 H

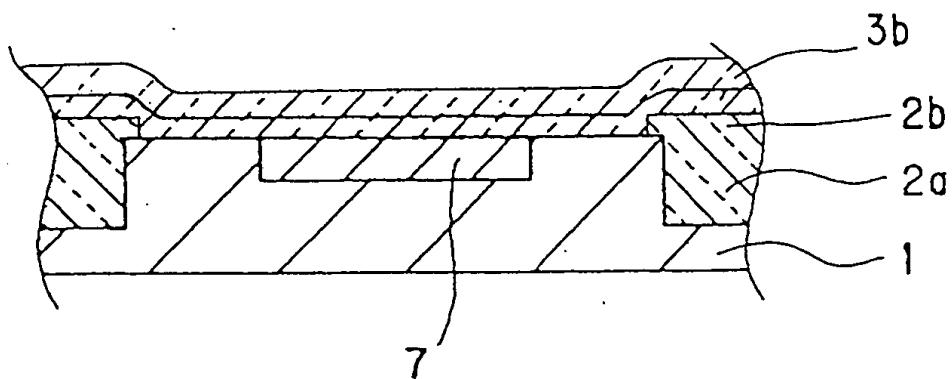


FIG. 5 I

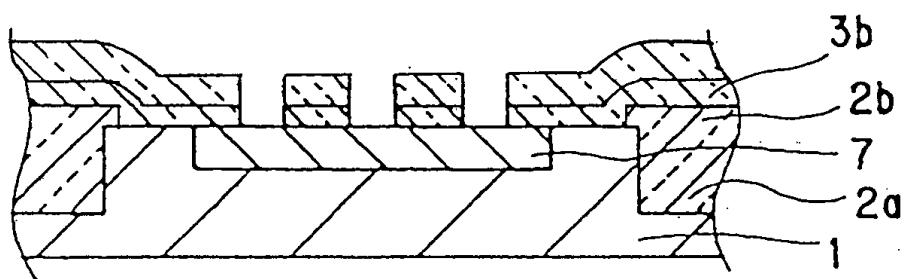


FIG. 5 J

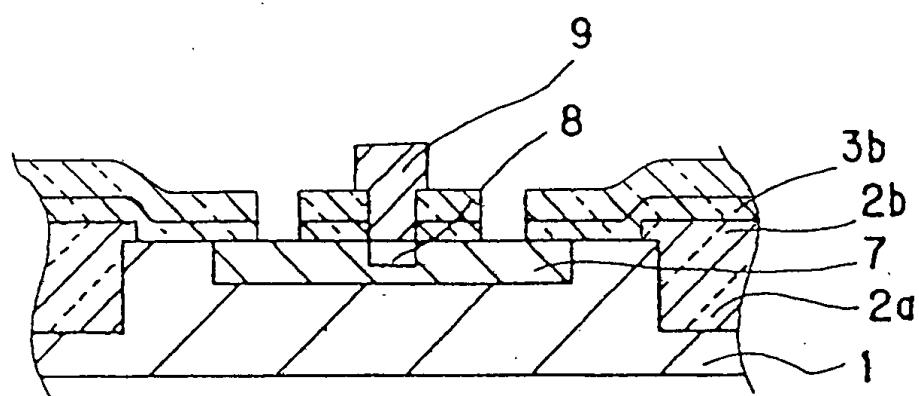


FIG. 6 A

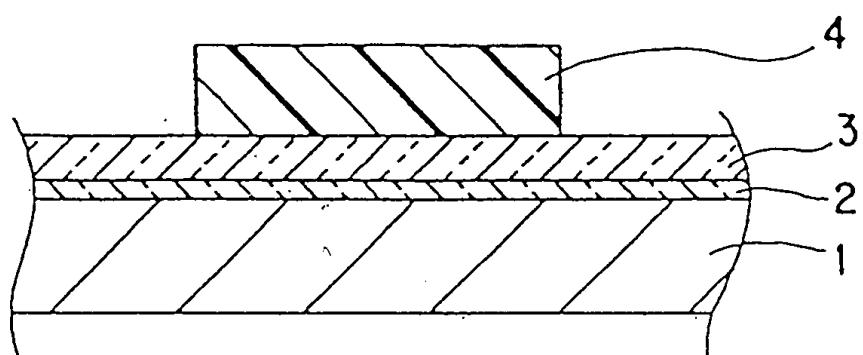


FIG. 6 B

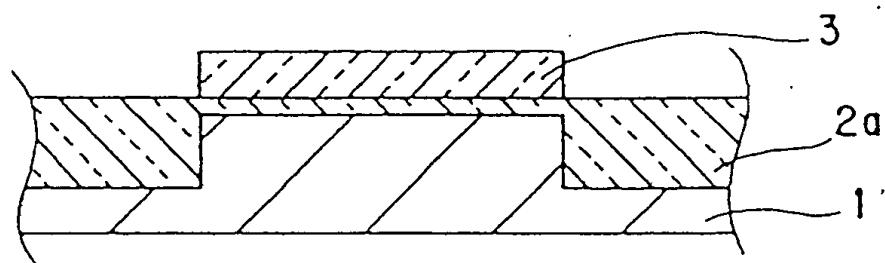


FIG. 6 C

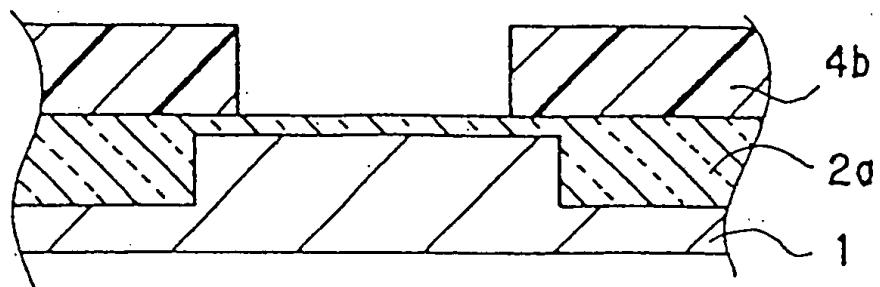


FIG. 6 D

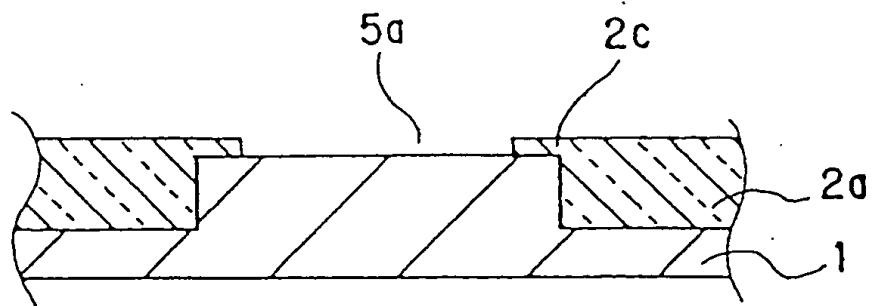


FIG. 6 E

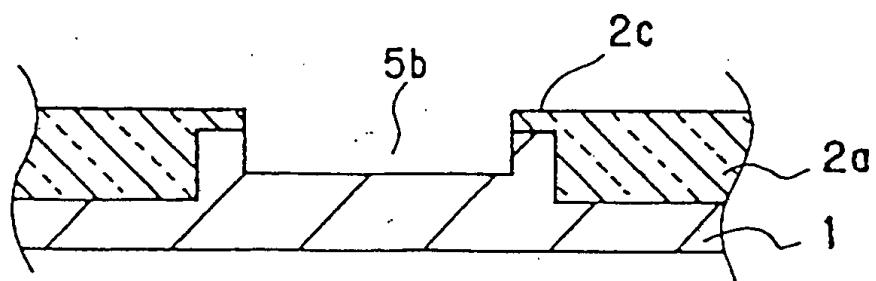


FIG. 6 F

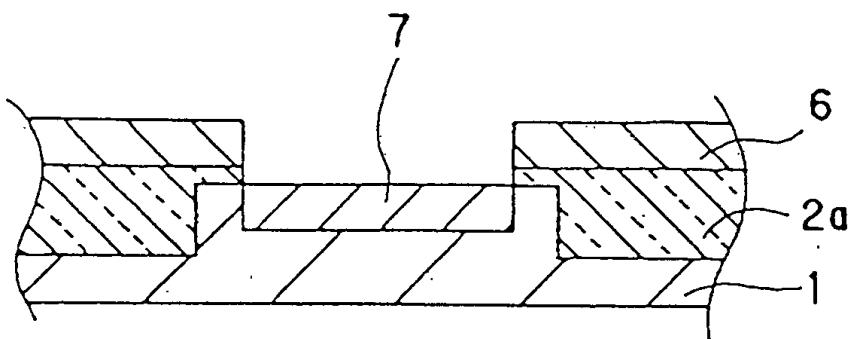


FIG. 6 G

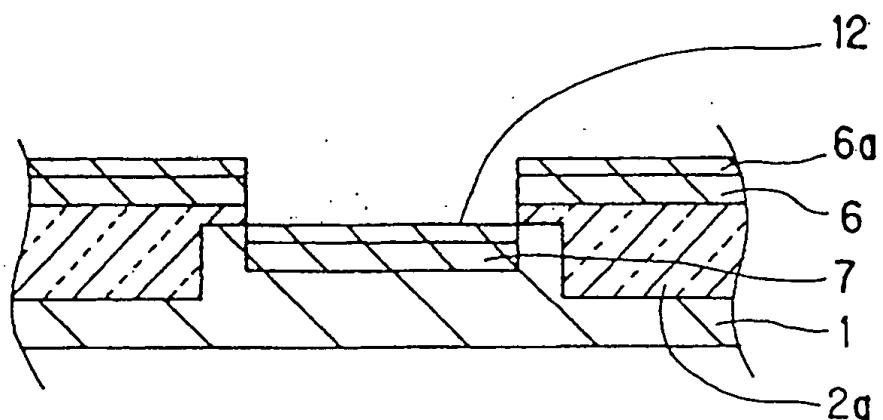


FIG. 6 H

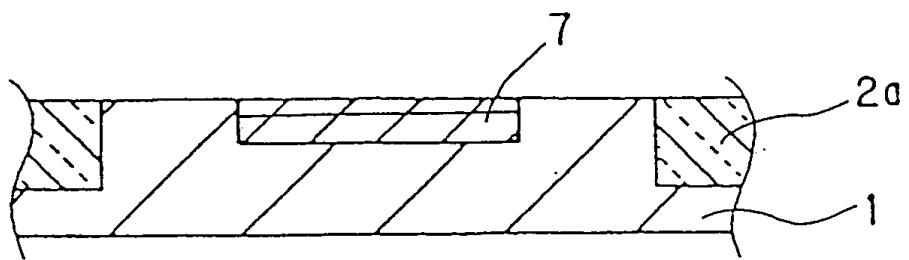


FIG. 6 I

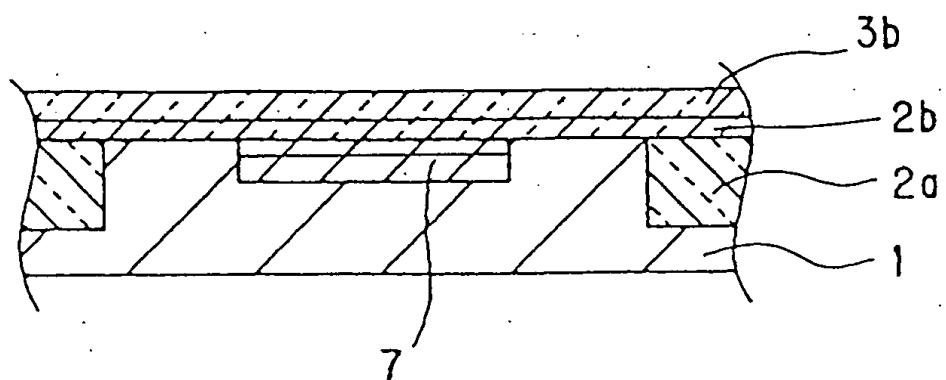


FIG. 6 J

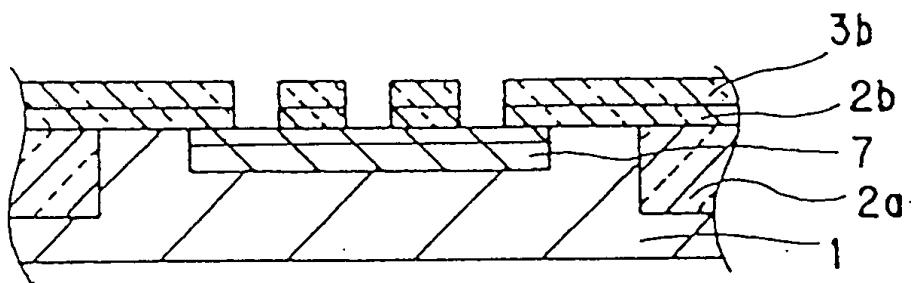


FIG. 6 K

