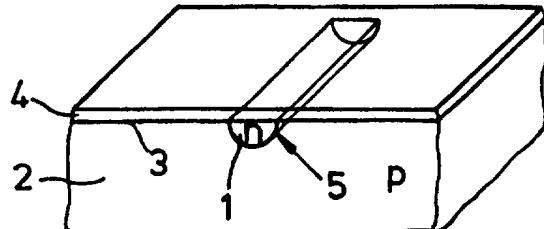




| | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : H01L 23/535 | | A2 | (11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 97/29515 |
| (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE97/00235 | | (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 14. August 1997 (14.08.97) | (81) Bestimmungsstaaten: CN, JP, KR, RU, UA, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). |
| (22) Internationales Anmeldedatum: 6. Februar 1997 (06.02.97) | | | |
| (30) Prioritätsdaten: 196 04 776.5 9. Februar 1996 (09.02.96) DE | | | Veröffentlicht <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i> |
| (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE). | | | |
| (72) Erfinder; und | (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ZETTLER, Thomas [DE/DE]; Sebastian-Bauer-Strasse 35, D-81737 München (DE). WINNERL, Josef [DE/DE]; Stefan-George-Ring 49, D-81929 München (DE). GEORGAKOS, Georg [DE/DE]; Am Geissberg 1, D-85447 Fraunberg (DE). POCKRANDT, Wolfgang [DE/DE]; Ilmstrasse 1, D-85293 Reichertshausen (DE). | | |
| | | | |
| (54) Title: SEPARABLE CONNECTING BRIDGE (FUSE) AND CONNECTABLE LINE INTERRUPTION (ANTI-FUSE) AND PROCESS FOR PRODUCING AND ACTIVATING A FUSE AND AN ANTI-FUSE | | | |
| (54) Bezeichnung: AUFTRENNBARE VERBINDUNGSBRÜCKE (FUSE) UND VERBINDBARE LEITUNGSUNTERBRECHUNG (ANTI-FUSE), SOWIE VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG UND AKTIVIERUNG EINER FUSE UND EINER ANTI-FUSE | | | |
| (57) Abstract | | | |
| The invention relates to a separable connecting bridge (fuse) with an electrically conductive, longitudinally continuous conductive track (1) of a given width transversely to its length of a second type of conductivity opposite to the first, said track being formed in a substrate (2, 2a) of a first type of conductivity, where the semiconductor material of the first type of conductivity has a concentration in relation to the material of the conductive track such that, at a predetermined activation temperature which is higher than the operating temperature of the connecting bridge (12, 13), an interruption takes place over the entire width (m) of the conductive track (1) through the diffusion of the semiconductor material of the first type of conductivity and/or the material of the conductive track (1) of the second type of conductivity. | | | |
| (57) Zusammenfassung | | | |
| Die Erfindung bezieht sich auf eine auftrennbare Verbindungsbrücke (Fuse) mit einer in einem aus Halbleitermaterial eines ersten Leitungstyps bestehenden Substrat (2, 2a) ausgebildeten elektrisch leitenden, in Längserstreckung kontinuierlich durchgehenden, quer zur Längserstreckung eine vorbestimmte Breite aufweisenden Leitungsbahn (1) eines zweiten, vom ersten Leitungstyp entgegengesetzten Leitungstyps, wobei das Halbleitermaterial des ersten Leitungstyps eine solche Konzentration gegenüber dem Material der Leitungsbahn aufweist, daß bei einer vorbestimmten Aktivierungstemperatur, die größer ist als die Betriebstemperatur der Verbindungsbrücke (12, 13), über die gesamte Breite (m) der Leitungsbahn (1) eine Unterbrechung durch Diffusion des Halbleitermaterials des ersten Leitungstyps und/oder des Materials der Leitungsbahn (1) vom zweiten Leitungstyp erfolgt. | | | |



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

| | | | | | |
|----|--------------------------------|----|-----------------------------------|----|--------------------------------|
| AM | Armenien | GB | Vereinigtes Königreich | MX | Mexiko |
| AT | Österreich | GE | Georgien | NE | Niger |
| AU | Australien | GN | Guinea | NL | Niederlande |
| BB | Barbados | GR | Griechenland | NO | Norwegen |
| BE | Belgien | HU | Ungarn | NZ | Neuseeland |
| BF | Burkina Faso | IE | Irland | PL | Polen |
| BG | Bulgarien | IT | Italien | PT | Portugal |
| BJ | Benin | JP | Japan | RO | Rumänien |
| BR | Brasilien | KE | Kenya | RU | Russische Föderation |
| BY | Belarus | KG | Kirgisistan | SD | Sudan |
| CA | Kanada | KP | Demokratische Volksrepublik Korea | SE | Schweden |
| CF | Zentrale Afrikanische Republik | KR | Republik Korea | SG | Singapur |
| CG | Kongo | KZ | Kasachstan | SI | Slowenien |
| CH | Schweiz | LI | Liechtenstein | SK | Slowakei |
| CI | Côte d'Ivoire | LK | Sri Lanka | SN | Senegal |
| CM | Kamerun | LR | Liberia | SZ | Swasiland |
| CN | China | LK | Litauen | TD | Tschad |
| CS | Tschechoslowakei | LU | Luxemburg | TG | Togo |
| CZ | Tschechische Republik | LV | Lettland | TJ | Tadschikistan |
| DE | Deutschland | MC | Monaco | TT | Trinidad und Tobago |
| DK | Dänemark | MD | Republik Moldau | UA | Ukraine |
| EE | Estland | MG | Madagaskar | UG | Uganda |
| ES | Spanien | ML | Mali | US | Vereinigte Staaten von Amerika |
| FI | Finnland | MN | Mongolei | UZ | Usbekistan |
| FR | Frankreich | MR | Mauretanien | VN | Vietnam |
| GA | Gabon | MW | Malawi | | |

Beschreibung

Bezeichnung der Erfindung:

5 Auftrennbare Verbindungsbrücke (Fuse) und verbindbare Leitungsunterbrechung (Anti-Fuse), sowie Verfahren zur Herstellung und Aktivierung einer Fuse und einer Anti-Fuse

Die Erfindung bezieht sich auf eine auftrennbare Verbindungsbrücke und eine verbindbare Leitungsunterbrechung, sowie auf
10 ein Verfahren zur Herstellung und Aktivierung einer auftrenn-
baren Verbindungsbrücke und einer verbindbaren Leitungsunter-
brechung.

Fuse-Anordnungen werden in integrierten Schaltungen eingesetzt, um nach dem eigentlichen Fertigungsprozeß elektrisch
15 leitfähige Verbindungen aufzutrennen („Fuse“) oder neu herzustellen („Anti-Fuse“). Die Anwendungen derartiger Fuse-Anordnungen sind sehr vielfältig. So werden Fuses zum Trimmen, beispielsweise von analogen Schaltungen verwendet. Weiterhin
20 werden Fuses verwendet, um redundante Schaltungsteile zu aktivieren und fehlerhafte abzuschalten. In programmierbaren Logik-Arrays (PLA) werden durch Fuses die logischen Verknüpfungen programmiert. In sicherheitskritischen Schaltungen wird durch Fuses der Zugriff auf Testmodi der Schaltung für
25 Unbefugte verhindert.

Wesentliche Kriterien für Fuse- bzw. Anti-Fuseanordnungen sind Lebensdauer und Zuverlässigkeit, d.h. wie sicher und über welchen Zeitraum eine Fuse bzw. Anti-Fuse die beiden Zustände Aus/Ein konserviert, und zwar unabhängig von Stromdichte und Temperatur. Ein weiteres Kriterium ist der Aufwand
30 zur Aktivierung von Fuse-bzw. Anti-Fuseanordnungen, beispielsweise beim Testen einer Fuse. Für sicherheitskritische Anwendungen ist weiterhin die Sicherheit vor Umprogrammierung
35 und externer Kontaktierung wesentlich.

Bisher wurden im wesentlichen Fuse-Anordnungen aus Metall, aus Polysilizium, oder aus einem Dielektrikum gefertigt.

Bei den zuerst genannten Fuse-Anordnungen sind solche aus dem Material der Metallisierungsebenen (beispielsweise AlSiCu) gefertigte Fuses weit verbreitet für Trimm- und Sicherheitsanwendungen. Man unterscheidet nach Art der Aktivierung Laserfuses und elektrische Fuses. Bei Laserfuses wird durch die Energie eines gepulsten Lasers (beispielsweise Neodym YAG-Laser) die Metallbahn der Fuse-Anordnung lokal, d.h. in einer typischen Breite von 2 bis etwa 5 μm aufgeschmolzen und auf diese Weise unterbrochen. Die Laserfuse-Anordnung besitzt den Nachteil einer relativ langen Wafer-Gesamtbearbeitung bei höheren Kosten für den Tester mit Lasereinheit. Elektrische Fuse-Anordnungen werden demgegenüber durch einen ausreichend hohen Stromimpuls aufgetrennt. Bei höheren Betriebstemperaturen besteht bei allen Metall-Fuse-Anordnungen die Gefahr des erneuten Zusammenwachsens. Weiterhin sind Metall-Fuses relativ leicht von außen durch optische Hilfsmittel aufzufinden und durch externe Kontaktierung zu manipulieren. Dies stellt insbesondere bei sicherheitsrelevanten Anwendungen einen erheblichen Nachteil dar.

Die einer weiteren Klasse zuzuordnenden Poly-Fuses werden in gleicher Art wie Metall-Fuses als Laserfuses oder elektrische Fuses ausgeführt. Als elektrische Fuse weist das leitfähige Material Poly-Silizium gegenüber Metall Nachteile auf, da durch die relativ gute thermische Ankopplung zum Substrat und die bessere Migrationsfestigkeit die thermische Zerstörung und damit die Aktivierung der Fuse schwieriger ist.

Die einer dritten Klasse zuzuordnenden Anti-Fuses mit einem Dielektrikum (beispielsweise aus dem Material SiN, vgl. M. T. Takagi, I. Yoshii, N. Ikeda, H. Yasuda, K. Hama, Pros. IEDM 1993, Seiten 31 bis 34) oder einem hochohmigen Halbleiter (beispielsweise aus amorphem Silizium, vgl. K. E. Gordon, R.

J. Wong, Proc. IEDM 1993, Seiten 27 bis 30) als zerstörbaren Isolator werden typischerweise bei programmierbaren Logikarrays eingesetzt. Sie werden durch ausreichend hohe Spannungen aktiviert. Der Schutz gegen Manipulation ist gegenüber 5 Metall- und Polyfuses verbessert. Dennoch besteht durch die lokal hohen Stromdichten in den programmierten (leitfähigen) Anti-Fuses die Gefahr des Wiederausheilens der Isolation. Ein weiterer wesentlicher Nachteil solcher Anti-Fuses ist der höhere Prozeßaufwand für die zusätzlichen Isolator- und Elektrodenschichten. 10

Aus der EP 655 783 A1 ist weiterhin eine Anti-Fuse-Anordnung mit einem innerhalb einer N-Wanne ausgebildeten P⁺-dotierten Diffusionsgebiet und einer dem Diffusionsgebiet zugeordneten 15 Aluminiumleiterbahn bekannt geworden. Diese Anti-Fuse-Anordnung wird durch Beaufschlagen der Leiterbahn mit einem genügend großen Strom aktiviert, so daß Aluminium aus der Leiterbahn nach unten in das Diffusionsgebiet wandert, und durch Zerstörung des pn-Überganges des Diffusionsgebietes eine irreversible Leitung hervorgerufen wird. Diese Anti-Fuse-Anordnung stellt zunächst lediglich eine einseitige, d.h. lediglich in nur einer Stromrichtung betreibbare Anti-Fuse-Anordnung dar, d.h. sie wirkt als in Sperrichtung geschaltete Diode. Des weiteren ist zur Aktivierung der Anti-Fuse-Anordnung 20 wie bei den gängigen Metallfuses eine Metallbahn erforderlich, die relativ leicht aufzufinden und durch externe Kontaktierung zu manipulieren ist, so daß eine derartige Anti-Fuse insbesondere bei sicherheitsrelevanten Anwendungen nicht einsetzbar ist. Schließlich ist es mit der aus der EP 655 783 25 A1 bekannten Anordnung grundsätzlich nicht möglich, Fuses auszubilden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine einfach herzustellende und zu aktivierende Fuse- und/oder Anti-Fuse-Anordnung 30 zur Verfügung zu stellen, welche in sicherheitsrelevanten integrierten Schaltungen angewendet werden kann.

Diese Aufgabe wird durch eine auftrennbare Verbindungsbrücke (Fuse) gemäß Anspruch 1, eine verbindbare Leitungsunterbrechung (Anti-Fuse) gemäß Anspruch 8, sowie durch ein Verfahren zur Herstellung und Aktivierung einer Fuse bzw. Anti-Fuse
5 nach den Ansprüchen 16 und 17 gelöst.

Die Erfindung sieht die Ausbildung einer neuen Klasse bzw. eines neuen Typs von Fuse- und Anti-Fuseanordnungen vor, bei denen anstelle einer auf dem Substrat aufgebrachten und daher
10 ohne weiteres erkennbaren Metallbahn eine innerhalb der Oberfläche des Halbleitersubstrates ausgebildete, von außen nicht erkennbare leitfähige Diffusionsbahn ausgebildet ist, die zur Aktivierung getrennt bzw. hergestellt wird. Das Halbleitermaterial des Substrats stellt einen ersten Leitungstyp dar,
15 während das Material der Diffusionsverbindung von einem zweiten Leitungstyp ist, der vom ersten Leitungstyp entgegengesetztes Vorzeichen besitzt. In der nachfolgenden Beschreibung der Fuse- bzw. Anti-Fuseanordnungen mag der erste Leitungstyp als p und der zweite Leitungstyp als n bezeichnet sein, wobei
20 es jedoch im Rahmen der Erfindung liegt, die beiden Leitungstypen zu vertauschen. Dem Prinzip der Erfindung folgend ist es möglich, Fuse- und Anti-Fuseanordnungen allein mit leitfähigen Diffusionsgebieten in einem Halbleitersubstrat auszubilden; jegliche Metallbahnen sind nicht erforderlich. Da-
25 durch sind die erfindungsgemäßen Fuse- und Anti-Fuseanordnungen von außen nicht aufzufinden, eine externe Kontaktierung ist außerordentlich kompliziert, und eine Reprogrammierung unmöglich, so daß sich die erfindungsgemäßen Fuse- und Anti-Fuseanordnungen für Sicherheitsschaltungen hervorragend eignen. Die erfindungsgemäßen Fuse- und Anti-Fuseanordnungen besitzen eine inhärent hohe Zuverlässigkeit, da der zur Aktivierung der Fuse bzw. Anti-Fuse durchzuführende Diffusionsvorgang thermodynamisch irreversibel ist, so daß eine einmal
30 aktivierte Fuse bzw. Anti-Fuse prinzipiell nicht wieder ausheilen kann.
35

- Zur Aktivierung der Fuse- bzw. der Anti-Fuseanordnung gemäß Erfindung kann mit Vorteil ein Laserstrahl zur lokalen Aufheizung eines Aktivierungsabschnittes zum Einsatz kommen, wodurch eine irreversible, gegenseitige Ineinanderdiffusion der 5 n- und p-Dopanden aus den Diffusionsgebieten erfolgt. Neben einer Erwärmung des Aktivierungsabschnittes durch den Einsatz eines Lasers ist grundsätzlich auch eine Erwärmung mittels eines Stromflusses durch die Diffusionsbahn möglich. Ebenso sind andere Erwärmungsvarianten denkbar, beispielsweise in 10 Form einer resistiven Heizung durch vorzugsweise aus Polysilizium gefertigte Widerstandsmäander, die in unmittelbarer Nachbarschaft zum Aktivierungsabschnitt integriert auf dem Halbleitersubstrat ausgebildet sein können.
- 15 Die erfindungsgemäße auftrennbare Verbindungsbrücke (Fuse) besitzt eine in einem aus Halbleitermaterial eines ersten Leitungstyps bestehenden Substrat ausgebildete elektrisch leitende, in Längserstreckung kontinuierlich durchgehende, quer zur Längserstreckung eine vorbestimmte Breite aufweisende Diffusions- bzw. Leitungsbahn eines zweiten, vom ersten Leitungstyp entgegengesetzten Leitungstyps, wobei das Halbleitermaterial des ersten Leitungstyps eine solche Konzentration gegenüber dem Material der Leitungsbahn aufweist, daß bei einer vorbestimmten Aktivierungstemperatur, die größer 20 ist als die Betriebstemperatur der Verbindungsbrücke, über die gesamte Breite der Leitungsbahn eine Unterbrechung durch Diffusion des Halbleitermaterials des ersten Leitungstyps und/oder des Materials der Leiterbahn vom zweiten Leitungstyp erfolgt.
- 25
- 30 Hierbei kann vorgesehen sein, daß der Leitungsbahn ein in dem aus Halbleitermaterial bestehenden Substrat ausgebildeter Diffusionsbereich zugeordnet ist, der durch Dotierung mit einem Dotierstoff des ersten Leitungstyps ausgebildet ist.
- 35 Bei einer bevorzugten Ausführung der erfindungsgemäßen Verbindungsbrücke (Fuse) kann vorgesehen sein, daß der durch Do-

tierung mit dem Dotierstoff ausgebildete Diffusionsbereich des ersten Leitungstyps zu beiden Seiten der gegenüber den Abmessungen des Diffusionsbereiches eine geringere Breite besitzenden Leitungsbahn des zweiten Leitungstyps ausgebildet 5 ist. Hierbei ist von Vorteil vorgesehen, daß die Leitungsbahn des zweiten Leitungstyps durch Dotierung mit einem Dotierelement ausgebildet ist, dessen Dotierkonzentration betragsmäßig kleiner als die Dotierkonzentration des Dotierstoffs des Diffusionsbereiches des ersten Leitungstyps ist.

10

Die erfindungsgemäße verbindbare Leitungsunterbrechung (Anti-Fuse) weist eine in einem aus Halbleitermaterial bestehenden Substrat ausgebildete elektrisch leitende, durch Dotierung mit einem Dotierstoff ausgebildete Diffusions- bzw. Leitungsbahn mit in Längserstreckung eine Lücke mit einem vorbestimmten Abstand bildende Leitungsbahnstücke eines ersten Leitungstyps und einem wenigstens den Bereich der Lücke der Leitungsbahnstücke ausfüllenden, Diffusionsbereich eines zweiten, vom ersten Leitungstyp entgegengesetzten Leitungstyps 15 auf, wobei der Dotierstoff der Leitungsbahnstücke bei vorgegebener Diffusionskonstante bezüglich des Halbleitermaterials des Substrates eine solche Dotierkonzentration aufweist, daß bei einer vorbestimmten Aktivierungstemperatur, die größer ist als die Betriebstemperatur der Leitungsunterbrechung, 20 über den gesamten Abstand der Lücke der Leiterbahn eine Diffusion des Dotierstoffs der Leitungsbahnstücke erfolgt.

25 Hierbei kann vorgesehen sein, daß der Diffusionsbereich des zweiten Leitungstyps durch Dotierung mit einem Dotierelement ausgebildet ist, dessen Dotierkonzentration betragsmäßig kleiner als die Dotierkonzentration des Dotierstoffs der Leitungsbahnstücke des ersten Leitungstyps ist.

30 Die erfindungsgemäße Leitungsunterbrechung (Anti-Fuse) zeichnet sich dadurch aus, daß durch die Leitungsbahnstücke und den die Lücke der Leitungsbahnstücke ausfüllenden Diffusionsbereich ein Aktivierungsabschnitt mit einem wenigstens zwei-

maligen p-n-Übergang ausgebildet ist. Damit stellt die Anti-Fuse gemäß Erfindung eine zweiseitige, echte Anti-Fuse in beiden Stromrichtungen dar.

- 5 Für Sicherheitsanwendungen vorteilhaft ist die praktisch unmögliche Analysierbarkeit und damit kaum durchzuführende externe Kontaktierbarkeit der erfindungsgemäßen Verbindungsbrücke, welche durch Passivierungsschichten geschützt bleibt. Hierbei kann vorgesehen sein, daß wenigstens der aus einem
- 10 Teil der Leitungsbahn und dem Halbleitermaterial und/oder dem Diffusionsbereich bestehende Aktivierungsabschnitt mit einer auf der Hauptfläche des Substrates ausgebildeten elektrisch isolierenden, für Strahlung einer vorbestimmten Wellenlänge zur lokalen Erwärmung des Aktivierungsabschnittes transparenten oder wenigstens durchscheinenden Abdeckschicht überdeckt ist. Typische Fuse-Laser (beispielsweise Neodym YAG-Laser) durchdringen diese transparente oder wenigstens durchscheinende Abdeckschicht wie beispielsweise aus Oxid oder Si_3N_4 weitgehend ungehindert und deponieren die Strahlenergie vorwiegend in Silizium, also im Material der Diffusionsbahn oder des Substrates.

- Als weitergehenden Vorteil für Sicherheitsanwendungen ermöglicht die Erfindung sogar, eine innerhalb des Halbleitersubstrats vergrabene Anordnung von Fuse bzw. Anti-Fuse vorzusehen, so daß eine Auffindung von außen und externe Kontaktierung noch schwieriger ist. Hierbei ist vorgesehen, daß die Diffusions- bzw. Leitungsbahn vollständig innerhalb des aus Halbleitermaterial bestehenden Substrates in einer ausgehend von der Hauptoberfläche des Substrates vorbestimmten Tiefe angeordnet bzw. ausgebildet ist.

- Neben einer bezüglich der Hauptoberfläche des Substrates lateralen Anordnung von Fuse- bzw. Anti-Fuse ermöglicht diese
- 35 Ausführung der Erfindung des weiteren eine vertikale und damit platzsparendere Anordnung von Fuse und Anti-Fuse. Hierbei ist vorgesehen, daß die innerhalb des Substrates ausgebildete

Leitungsbahn in ihrer Längserstreckung quer zur Hauptoberfläche des Substrates verläuft.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung und Aktivierung einer auftrennbaren Verbindungsbrücke (Fuse) umfaßt folgende Schritte:

- Vorsehen eines aus Halbleitermaterial eines ersten Leitungstyps bestehenden Substrates,
- Ausbilden einer elektrisch leitenden, in Längserstreckung kontinuierlich durchgehenden, quer zur Längserstreckung eine vorbestimmte Breite aufweisenden Leitungsbahn eines zweiten, vom ersten Leitungstyp entgegengesetzten Leitungstyps in dem aus Halbleitermaterial bestehenden Substrat, und
- Erwärmen eines die Leitungsbahn und wenigstens einen Teil des Halbleitermaterials des Substrates umfassenden Aktivierungsabschnittes bis zu einer vorbestimmten Aktivierungstemperatur, die größer ist als die Betriebstemperatur der Verbindungsbrücke, zur irreversiblen Unterbrechung über die gesamte Breite der Leitungsbahn durch Diffusion des Halbleitermaterials des ersten Leitungstyps und/oder des Materials der Leitungsbahn.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung und Aktivierung einer verbindbaren Leitungsunterbrechung (Anti-Fuse) umfaßt folgende Schritte:

- Ausbilden einer elektrisch leitenden Leitungsbahn durch Dotierung mit einem Dotierstoff mit in Längserstreckung eine Lücke mit einem vorbestimmten Abstand bildenden Leitungsbahnstücken eines ersten Leitungstyps in einem aus Halbleitermaterial eines zweiten, vom ersten Leitungstyp entgegengesetzten Leitungstyps bestehenden Substrat, und
- Erwärmen eines die Lücke der Leitungsbahnstücke umfassenden Aktivierungsabschnittes bis zu einer vorbestimmten Aktivierungstemperatur, die größer ist als die Betriebstemperatur der Leitungsunterbrechung, zur irreversiblen Diffusion des Dotierstoffes der Leitungsbahnstücke über die gesamte Lücke der Leitungsbahn.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführung des erfindungsge-
mäßen Verfahrens kann vorgesehen sein, daß zur lokalen Erwär-
mung des Aktivierungsabschnittes eine Strahlung mit einer
5 vorbestimmten Wellenlänge verwendet wird. Hierbei kann von
Vorteil zur lokalen Erwärmung des Aktivierungsabschnittes die
Strahlung einer Laserlichtquelle verwendet werden.

Darüber hinaus ist es möglich, daß zur Erwärmung des Aktivie-
10 rungsabschnittes die durch geeignete Dotierung als Wider-
standsbahn ausgebildete Leitungsbahn mit einem Heizstrom be-
aufschlagt wird. Alternativ hierzu ist es möglich, daß zur
Erwärmung des Aktivierungsabschnittes ein in thermischen Kon-
takt mit der Leitungsbahn stehendes Heizelement verwendet
15 wird.

Weitere Merkmale, Vorteile und Zweckmäßigkeiten der Erfindung
ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen
anhand der Zeichnung. Es zeigt:

20

Figur 1 eine schematische Ansicht einer auftrennbarer Verbin-
dungsbrücke (Fuse) gemäß einem Ausführungsbeispiel
der Erfindung;

25

Figur 2 eine schematische Draufsicht der Fuse-Anordnung gemäß
dem Ausführungsbeispiel nach Figur 1;

30

Figur 3 eine schematische Ansicht einer auftrennbarer Verbin-
dungsbrücke (Fuse) gemäß einem weiteren Ausführungs-
beispiel der Erfindung;

Figur 4 eine schematische Draufsicht der Fuse-Anordnung gemäß
einem weiteren Ausführungsbeispiel nach Figur 1;

35

Figur 5 eine schematische Ansicht einer vertikalen Diffusi-
ons-Fuse-Anordnung gemäß einem weiteren Ausführungs-
beispiel der Erfindung;

Figur 6 eine schematische Darstellung einer Diffusions-Anti-Fuse-Anordnung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

5

Figur 7 eine schematische Draufsicht der Anti-Fuse-Anordnung gemäß dem Ausführungsbeispiel nach Figur 6;

10 Figur 8 eine schematische Darstellung einer vertikalen Diffusions-Anti-Fuse-Anordnung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

15 Figur 9 eine schematische Draufsicht eines Verdrahtungsfeldes mit Diffusions-Anti-Fuseanordnungen gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;

20 Figur 10A und 10B Schaltbilder eines programmierbaren NAND-Gatters und NOR-Gatters mit Diffusions-Anti-Fuseanordnungen gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung; und

25 Figur 11A und 11B eine schematische Draufsicht eines Layout-Beispiele des Ausführungsbeispiels nach den Figuren 10A und 10B.

Die Figuren 1 und 2 zeigen die Grundstruktur einer lateralen Diffusions-Fuse-Anordnung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einer niedrig n-dotierten, schmalen flachen Diffusionsbahn mit einer Breite m von etwa 0,5 bis 1 μm , welche von einem großen, p-dotierten Gebiet 2 umgeben ist. Das Gebiet 2 kann das Substrat eines Wafers mit dem Grundmaterial Silizium darstellen, welches durch Grunddotierung mit beispielsweise Bor in einer Konzentration von etwa $3 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ bereits vordotiert ist. Die Diffusionsbahn wird durch Implantation von Arsen mit einer Energie von 120 KeV und einer Dosis von etwa $5,0 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ hergestellt. Hierzu wird in an sich bekannter Weise die Hauptoberfläche 31 des Substrats mit

einem Photolack mit einer beispielhaften Dicke von etwa 1,5 µm belackt, vermittels einer geeigneten Maske belichtet und entwickelt. Nach der Implantation wird der Photolack beispielweise in einer sauerstoffhaltigen Plasmaumgebung entfernt. Der Implantation der Diffusionsbahn schließt sich ein Ausheilschritt bei einer Temperatur von etwa 900° Celsius und einer Dauer von 20 min. an. Anschließend kann auf der Hauptoberfläche 31 eine für Strahlung einer vorbestimmten Wellenlänge transparente oder wenigstens durchscheinende Abdeckschicht 4 abgeschieden werden. Zur Aktivierung der auftrennbaren Verbindungsbrücke bzw. Fuse 5 wird ein durch gestrichelte Linien angedeuteter Aktivierungsabschnitt 30 lokal aufgeheizt, beispielsweise durch kurzzeitige Bestrahlung mit Laserlicht geeigneter Wellenlänge, so daß im Bereich des Aktivierungsabschnittes 6 eine Ineinanderdiffusion von n-Dopanden aus der Diffusionsbahn und p-Dopanden aus dem p-dotierten Gebiet 2 stattfindet. Bei ausreichend hoher Konzentration der p-Dotierung des Gebietes 2 wird der Bereich des Aktivierungsabschnittes 6 hochohmig bzw. umdotiert, was zur Unterbrechung der n-dotierten Diffusionsbahn führt.

In den Figuren 3 und 4 ist eine Fuse-Anordnung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt. Die Bezugsziffern 1 und 3 bis 6 bezeichnen hierbei dieselben Bestandteile wie bei dem Ausführungsbeispiel nach den Figuren 1 und 2. Zusätzlich sind der Diffusionsbahn zu beiden Seiten in dem aus Halbleitermaterial wie Silizium bestehenden Substrat ausgebildete, p⁺-dotierte Diffusionsbereiche 7, 8 zugeordnet, die durch Implantation von beispielsweise Bor bei einer Energie von 20 KeV und einer Dosis von etwa $5,0 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ausgebildet sind, und, bezogen auf die Hauptoberfläche 31 des Substrates, gegenüber der Breite m der Diffusionsbahn größere Abmessungen s, t besitzen können. Die beiden Diffusionsbereiche 7 und 8 sind in einem Abstand r voneinander angeordnet. Folgende Abmessungen können gewählt werden: m = 0,6 µm, r = 1 µm, s = 8 µm, t = 10 µm. Die Diffusionsbereiche 7, 8 sind in einer p-Wanne 9 im Siliziumsubstrat ausgebildet, welche nach

Strukturierung mit üblichen Photolithographieprozeßschritten mittels einer Maske 10 und nachfolgender Implantation mit Bor bei einer Energie von etwa 230 KeV und einer Dosis von etwa $1,0 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ ausgebildet sein kann.

5

Figur 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Fuse-Anordnung 5 mit zwei nebeneinanderliegend innerhalb des Substrates bzw. einer n-Wanne 11 und gegenüber der Hauptoberfläche 31 vertikal ausgebildeten Verbindungsbrücken 12 und 13 mit n-dotierten Diffusionsbahnen 14. Hierbei sind zwei n-dotierte Gebiete 15 und 16 vermittels dünner, vertikal verlaufender n-dotierter Kanäle 17 und 18 miteinander verbunden. Zur Kontaktierung von der Hauptoberfläche 31 sind zwei n⁺-dotierte und somit niederohmige Kontaktgebiete 19 und 20 vorgesehen, die durch einen geeigneten Photolithographieprozeßschritt und einen geeigneten Implantationsschritt gefertigt werden. Ein weiteres, in der Hauptoberfläche 31 ausgebildetes p⁺-dotiertes Kontaktgebiet 21 erlaubt die Kontaktierung des vollständig innerhalb des Substrates bzw. der n-Wanne 11 angeordneten p⁺-dotierten Diffusionsbereiches 22. Zur Aktivierung der vertikal angeordneten Verbindungsbrücken 12 und 13 eignen sich die bereits bei den lateralen Diffusions-Fuse-Anordnungen beschriebenen Erwärmungsverfahren.

25

Die Figuren 6 und 7 zeigen in schematischen Ansichten die Grundstruktur einer lateralen Diffusions-Anti-Fuseanordnung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung. Eine vorzugsweise hoch p⁺-dotierte, breite, tiefe Diffusionsbahn 23 mit zwei Leitungsbahnstücken 24 und 25 mit Breiten von etwa 10 µm und Längen von etwa 15 µm, die in einem Abstand von einander ausgebildet sind und eine Lücke 26 von etwa 1 bis 1,2 µm bilden, ist von einem großen, niedrig n-dotierten Gebiet 27 umgeben, welche als n-Wanne 28 innerhalb des aus Halbleitermaterial bestehenden Substrates ausgebildet ist. Das Substrat besitzt als Grundmaterial Silizium mit einer p-Typ-Grunddotierung mit Bor von beispielsweise $3 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$.

Die hierin ausgebildete n-Wanne 28 kann nach Strukturierung mit üblichen Photolithographieprozeßschritten und nachfolgender Implantation mit Phosphor bei einer Energie von etwa 460 KeV und einer Dosis von etwa $6,0 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ ausgebildet sein, 5 wobei optional eine Anti-Punch-Implantation mit Arsen bei einer Energie von 320 KeV und einer Dosis von etwa $8,0 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ nachgeschaltet sein kann. Die innerhalb der n-Wanne 28 ausgebildeten Leitungsbahnstücke 24 und 25 werden nach Strukturierung mit einem Photolithographieprozeßschritt, bei dem 10 ein Photolack mit einer Dicke von etwa 1,5 μm aufgetragen, vermittels einer geeigneten Maske belichtet, und entwickelt wird, über eine nachfolgende Implantation mit Bor bei einer Energie von etwa 20 KeV und einer Dosis von etwa $5,0 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ gefertigt. Nach Entfernen der Photolackmaske durch 15 Strichen in einer sauerstoffhaltigen Plasmaumgebung werden die Leiterbahnstücke 24 und 25 bei einer Temperatur von etwa 900° Celsius und einer Dauer von etwa 20 min ausgeheilt. Die Abmessungen und Dotierungskonzentrationen der Leiterbahnstücke, 24, 25, der Lücke 26, und des umgebenden Diffusionsgebietes 20 27 sind so gewählt, daß bei einer ausreichend hohen Aktivierungstemperatur, die größer ist als die normale Betriebstemperatur der Leitungsunterbrechung bzw. der sonstigen auf dem Substrat ausgebildeten integrierten Schaltkreise, über den gesamten Abstand der Lücke 26 der Leitungsbahnstücke 24 25 und 25 eine thermodynamisch irreversible Diffusion der Dotierstoffe der Leitungsbahnstücke 24, 25, 32, 33 erfolgt. Durch lokale Aufheizung des Aktivierungsabschnittes 30 bis zu der vorbestimmten Aktivierungstemperatur, beispielsweise vermittels einen auf den Aktivierungsabschnitt 30 gerichteten 30 Laserstrahl, findet somit eine gegenseitige Ineinanderdiffusion der n- und p-Dopanden statt. Bei ausreichend hoher Konzentration der p⁺-Dotierung wird der Aktivierungsabschnitt 30 und damit die Lücke 26 p-dotiert, was zu einer dauerhaften elektrischen Verbindung der beiden p⁺-dotierten Leitungsbahnstücke 24 und 25 führt. Ebenso wie bei der Fuse-Anordnung ist 35 dieser Vorgang irreversibel; die Anti-Fuse-Anordnung ist ebenso schwer zu kontaktieren. Im Gegensatz zur Fuse-Anord-

nung gemäß den Figuren 1 bis 5 ist eine direkte Erwärmung durch elektrischen Stromfluß nicht möglich, jedoch sind indirekte Heizverfahren einsetzbar, beispielsweise eine resistive Beheizung durch (in den Figuren nicht näher dargestellte) benachbarte Widerstandsmäander aus Polysilizium.

Figur 8 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einer vertikal angeordneten Diffusions-Anti-Fuse-Anordnung 31 mit zwei hoch p⁺-dotierten Schichten 32 und 33, welche durch eine dünne n-dotierte Schicht 34 voneinander isoliert sind. Die die beiden Leitungsbahnstücke der Anti-Fuse-Anordnung 31 bildenden p⁺-dotierten Schichten 32 und 33 mit der dazwischen angeordneten, die Lücke 26 zwischen den Leitungsbahnstücken darstellenden n-dotierten Schicht 34 kann mit Implantationsschritten oder Epitaxieschritten hergestellt werden.

Figur 9 zeigt exemplarisch für die vielfachen Anwendungen der erfindungsgemäßen Fuse- bzw. Anti-Fuseanordnungen ein Verdrahtungsfeld mit einer Vielzahl von integriert ausgebildeten Schaltungsgruppen 35, die durch die lediglich schematisch durch Doppelpfeile dargestellten Diffusions-Anti-Fuses 36 verbindbar sind. Eingezeichnet sind in beispielhafter Form zwei mögliche Verdrahtungswege 37 und 38.

Die Figuren 10A und 10B zeigen ein weiteres bevorzugtes Anwendungsbeispiel in der Form eines programmierbaren NAND-Gatters 39 und eines programmierbaren NOR-Gatters 40 mit schematisch durch gestrichelte Linien dargestellten Diffusions-Anti-Fuseanordnungen a, b, c, d, e, und f. Dieses Ausführungsbeispiel eignet sich insbesondere für nachträgliche Testschaltungsmodifikationen, bei dem durch Aktivierung der Anti-Fuseanordnungen a, b, c bzw. d, e, f und entsprechende Verschaltung der MOS-Transistoren T bzw. Ankopplung an eine Versorgungsspannung V_{DD} und eine Masse V_{SS} eine NAND- bzw. NOR-Funktion mit Eingängen E1, E2 und einem Ausgang Aus realisiert werden kann.

Figur 11A zeigt in schematischer Draufsicht die Layout-Darstellung solcher programmierbaren NAND-NOR-Gatter 39 und 40, wobei in Figur 11B die Symbole der einzelnen Schichten erklärt ist.

Patentansprüche

1. Auftrennbare Verbindungsbrücke (Fuse) mit einer in einem aus Halbleitermaterial eines ersten Leitungstyps bestehenden Substrat ausgebildeten elektrisch leitenden, in Längserstreckung kontinuierlich durchgehenden, quer zur Längserstreckung eine vorbestimmte Breite (m) aufweisenden Leitungsbahn eines zweiten, vom ersten Leitungstyp entgegengesetzten Leitungstyps, wobei das Halbleitermaterial des ersten Leitungstyps eine solche Konzentration gegenüber dem Material der Leitungsbahn aufweist, daß bei einer vorbestimmten Aktivierungstemperatur, die größer ist als die Betriebstemperatur der Verbindungsbrücke, über die gesamte Breite (m) der Leitungsbahn eine Unterbrechung durch Diffusion des Halbleitermaterials des ersten Leitungstyps und/oder des Materials der Leitungsbahn vom zweiten Leitungstyp erfolgt.
2. Verbindungsbrücke nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Leitungsbahn ein in dem aus Halbleitermaterial bestehenden Substrat ausgebildeter Diffusionsbereich (7, 8) zugeordnet ist, der durch Dotierung mit einem Dotierstoff des ersten Leitungstyps ausgebildet ist.
3. Verbindungsbrücke nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der durch Dotierung mit dem Dotierstoff ausgebildete Diffusionsbereich (7, 8) des ersten Leitungstyps zu beiden Seiten der gegenüber den Abmessungen des Diffusionsbereiches (7, 8) eine geringere Breite (m) besitzenden Leitungsbahn des zweiten Leitungstyps ausgebildet ist.
4. Verbindungsbrücke nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitungsbahn des zweiten Leitungstyps durch Dotierung mit einem Dotierelement ausgebildet ist, dessen Dotierkonzentration betragsmäßig kleiner als die Dotierkonzentration des Dotierstoffs des Diffusionsbereiches (7, 8) des ersten Leitungstyps ist.

5. Verbindungsbrücke nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein aus einem Teil der Leitungsbahn und dem Halbleitermaterial und/oder dem Diffusionsbereich (7, 8) bestehender Aktivierungsabschnitt (30) mit einer auf einer 5 Hauptfläche (31) des Substrates ausgebildeten elektrisch isolierenden, für Strahlung einer vorbestimmten Wellenlänge zur lokalen Erwärmung des Aktivierungsabschnittes (30) transparenten oder wenigstens durchscheinenden Abdeckschicht (4) überdeckt ist.
- 10 6. Verbindungsbrücke nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitungsbahn des zweiten Leitungstyps innerhalb des aus Halbleitermaterial bestehenden Substrates in einer ausgehend von der Hauptoberfläche (31) des Substrates 15 vorbestimmten Tiefe angeordnet bzw. ausgebildet ist.
- 15 7. Verbindungsbrücke nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die innerhalb des Substrates ausgebildete Leitungsbahn in ihrer Längserstreckung im wesentlichen quer zur Hauptoberfläche (31) des Substrates verläuft.
- 20 8. Verbindungsbrücke nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitungsbahn durch geeignete Dotierung als Widerstandsbahn ausgebildet ist, welche nach Beaufschlagung 25 durch einen elektrischen Strom zur Aktivierung der Verbindungsbrücke erwärmbar ist.
- 25 9. Verbindbare Leitungsunterbrechung (Antifuse) mit einer in einem aus Halbleitermaterial bestehenden Substrat ausgebildeten 30 elektrisch leitenden, durch Dotierung mit einem Dotierstoff ausgebildeten Leitungsbahn (23) mit in Längserstreckung eine Lücke (26) mit einem vorbestimmten Abstand bildenden Leitungsbahnstücken (24, 25, 32, 33) eines ersten Leitungstyps und einem wenigstens den Bereich der Lücke (26) der 35 Leitungsbahnstücke (24, 25, 32, 33) ausfüllenden Diffusionsbereich (28) eines zweiten, vom ersten Leitungstyp entgegengesetzten Leitungstyps, wobei der Dotierstoff der Leitungs-

bahnstücke (24, 25, 32, 33) bei vorgegebener Diffusionskonstante bezüglich des Halbleitermaterials des Substrates (29) eine solche Dotierkonzentration aufweist, daß bei einer vorbestimmten Aktivierungstemperatur, die größer ist als die Betriebstemperatur der Leitungsunterbrechung, über den gesamten Abstand der Lücke (26) der Leiterbahn eine Diffusion des Dotierstoffes der Leitungsbahnstücke (24, 25, 32, 33) erfolgt.

10. Leitungsunterbrechung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Diffusionsbereich (28) des zweiten Leitungstyps durch Dotierung mit einem Dotierelement ausgebildet ist, dessen Dotierkonzentration betragsmäßig kleiner als die Dotierkonzentration des Dotierstoffes der Leitungsbahnstücke (24, 25, 32, 33) des ersten Leitungstyps ist.

15. Leitungsunterbrechung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Leitungsbahnstücke (24, 25, 32, 33) und den die Lücke (26) der Leitungsbahnstücke (24, 25, 32, 33) ausfüllenden Diffusionsbereich (28) ein Aktivierungsabschnitt (30) mit einem wenigstens zweimaligen p-n-Übergang ausgebildet ist.

20. Leitungsunterbrechung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitungsbahnstücke (24, 25, 32, 33) und der Diffusionsbereich (28) mit einer auf einer Hauptfläche (31) des Substrates (29) ausgebildeten elektrisch isolierenden, für Strahlung einer vorbestimmten Wellenlänge zur lokalen Erwärmung des Aktivierungsabschnittes (30) transparenten oder wenigstens durchscheinenden Abdeckschicht (4) überdeckt ist.

30. Leitungsunterbrechung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Teil der Leitungsbahnstücke (24, 25, 32, 33) innerhalb des aus Halbleitermaterial bestehenden Substrates in einer ausgehend von der Hauptoberfläche (31) des Substrates vorbestimmten Tiefe angeordnet bzw. ausgebildet ist.

14. Leitungsunterbrechung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens der innerhalb des Substrates ausgebildete Teil der Leitungsbahnstücke (24, 25, 32, 33) in seiner Längserstreckung im wesentlichen quer zur Hauptoberfläche 5 (31) des Substrates verläuft.

15. Verbindungsbrücke bzw. Leitungsunterbrechung nach Anspruch 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Leitungsbahn (23) in thermischen Kontakt mit einem Heizelement 10 befindet.

16. Verfahren zur Herstellung und Aktivierung einer auftrennbaren Verbindungsbrücke (Fuse) mit den Schritten:

- Vorsehen eines aus Halbleitermaterial eines ersten Leitungstyps bestehenden Substrates ,
15 - Ausbilden einer elektrisch leitenden, in Längserstreckung kontinuierlich durchgehenden, quer zur Längserstreckung eine vorbestimmte Breite aufweisenden Leitungsbahn eines zweiten, vom ersten Leitungstyp entgegengesetzten Leitungstyps in dem 20 aus Halbleitermaterial bestehenden Substrat , und
- Erwärmen eines die Leitungsbahn und wenigstens einen Teil des Halbleitermaterials des Substrates umfassenden Aktivierungsabschnittes (30) bis zu einer vorbestimmten Aktivierungstemperatur, die größer ist als die Betriebstemperatur 25 der Verbindungsbrücke (1, 12, 13), zur irreversiblen Unterbrechung über die gesamte Breite der Leitungsbahn durch Diffusion des Halbleitermaterials des ersten Leitungstyps und/oder des Materials der Leitungsbahn.

30 17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erwärmung des Aktivierungsabschnittes (30) die durch geeignete Dotierung als Widerstandsbahn ausgebildete Leitungsbahn mit einem Heizstrom beaufschlagt wird.

35 18. Verfahren zur Herstellung und Aktivierung einer verbindbaren Leitungsunterbrechung (Antifuse) mit den Schritten:

- Ausbilden einer elektrisch leitenden Leitungsbahn (23) durch Dotierung mit einem Dotierstoff mit in Längserstreckung eine Lücke (26) mit einem vorbestimmten Abstand bildenden Leitungsbahnstücken (24, 25, 32, 33) eines ersten Leitungstyps in einem aus Halbleitermaterial eines zweiten, vom ersten Leitungstyp entgegengesetzten Leitungstyps bestehenden Substrat, und
 - Erwärmen einer die Lücke (26) der Leitungsbahnstücke (24, 25, 32, 33) umfassenden Aktivierungsabschnittes (30) bis zu einer vorbestimmten Aktivierungstemperatur, die größer ist als die Betriebstemperatur der Leitungsunterbrechung, zur irreversiblen Diffusion des Dotierstoffes der Leitungsbahnstücke (24, 25, 32, 33) über die gesamte Lücke (26) der Leitungsbahn (23).
- 15 19. Verfahren nach Anspruch 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß zur lokalen Erwärmung des Aktivierungsabschnittes (30) eine Strahlung mit einer vorbestimmten Wellenlänge verwendet wird.
- 20 20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß zur lokalen Erwärmung des Aktivierungsabschnittes (30) die Strahlung einer Laserlichtquelle verwendet wird.
- 25 21. Verfahren nach Anspruch 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erwärmung des Aktivierungsabschnittes (30) ein in thermischen Kontakt mit der Leitungsbahn stehendes Heizelement verwendet wird.

1/5

Fig 1

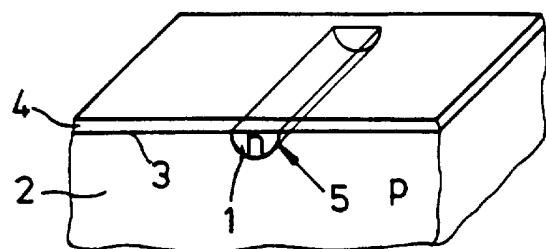


Fig 2

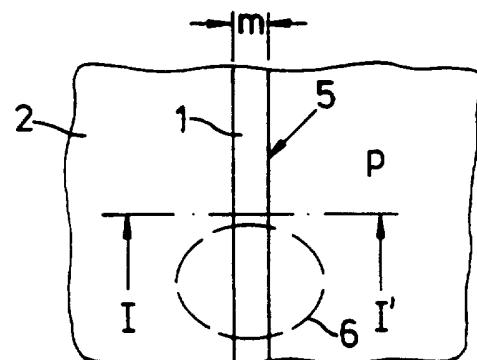
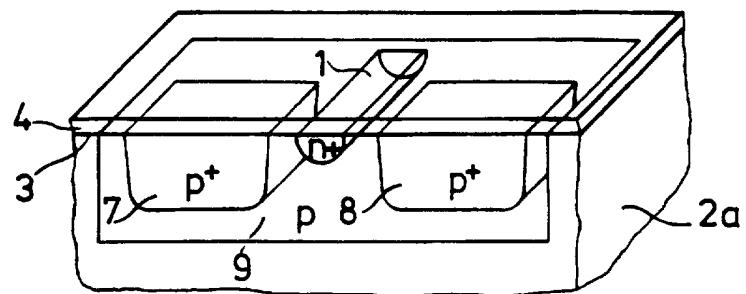


Fig 3



2/5

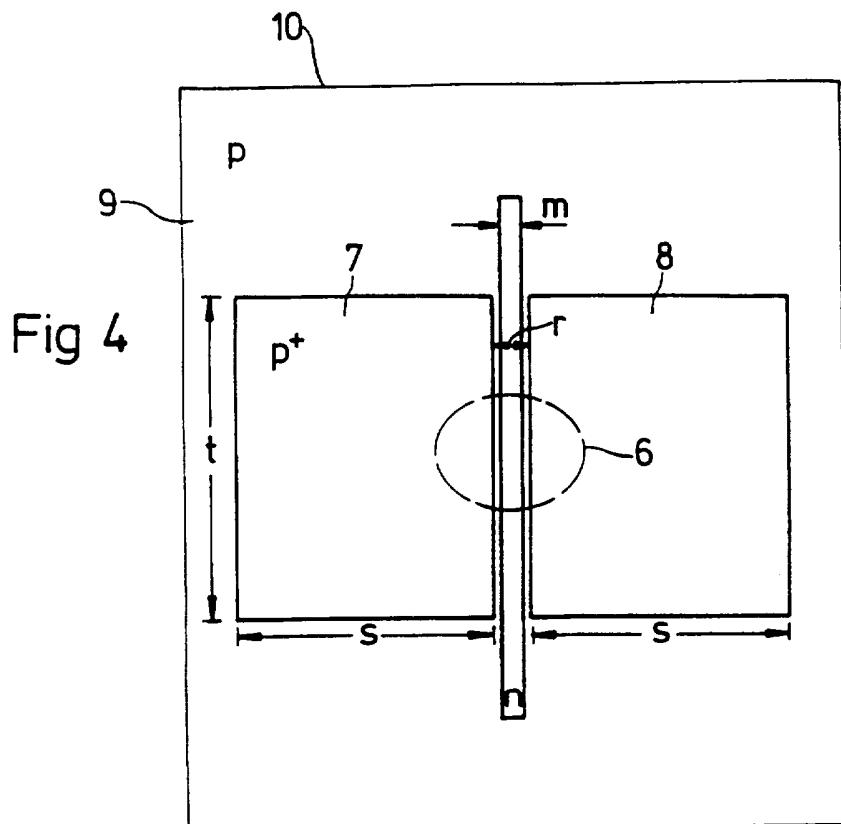
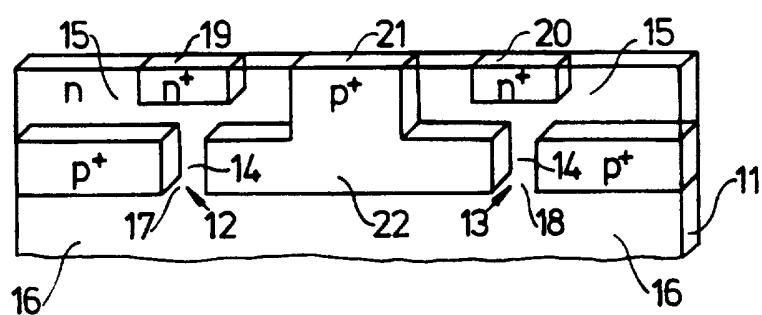


Fig 5



3/5

Fig 6

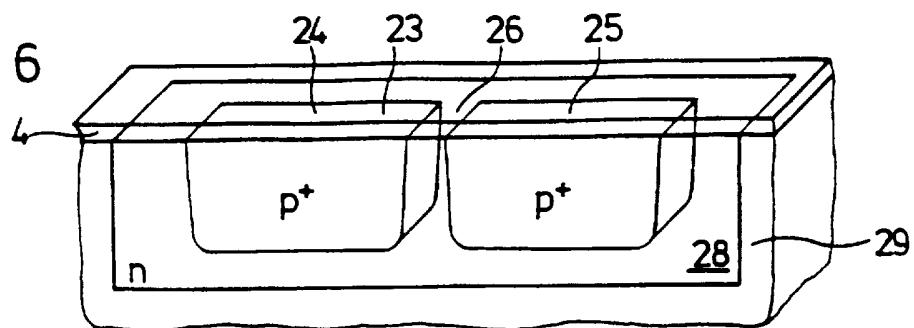


Fig 7

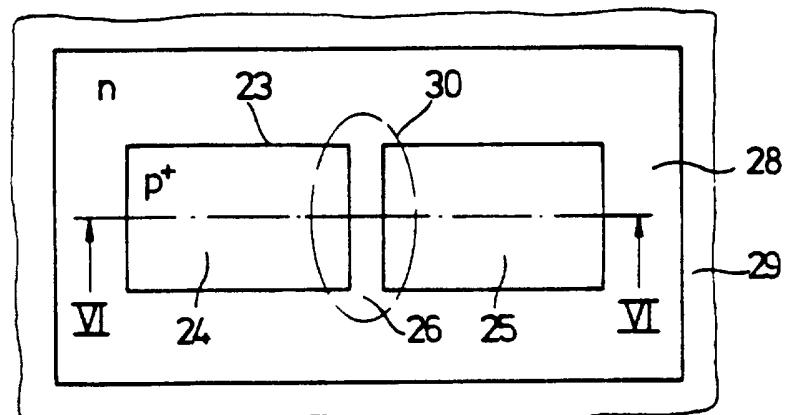
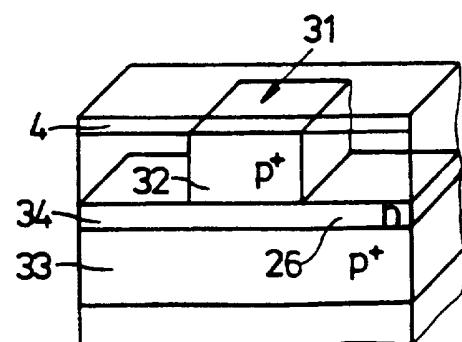
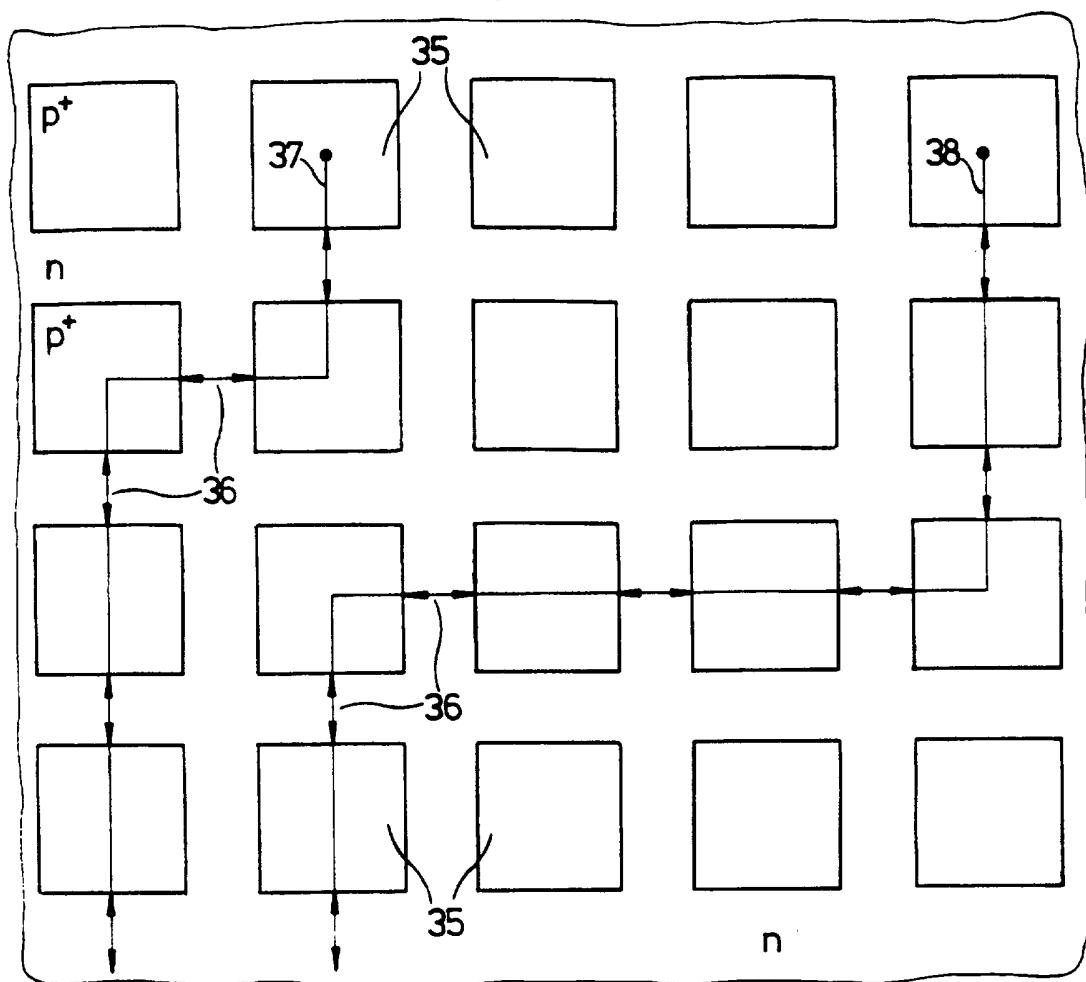


Fig 8



4/5

Fig 9



5/5

Fig 10A

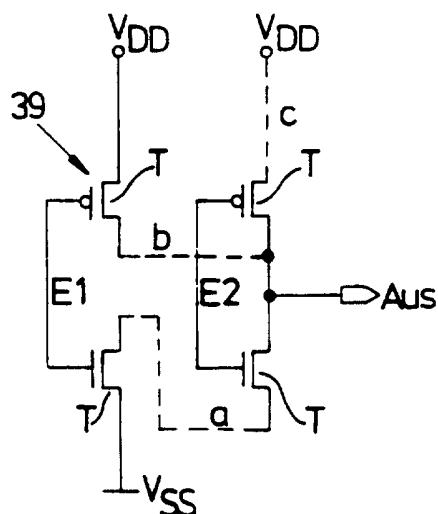


Fig 10B

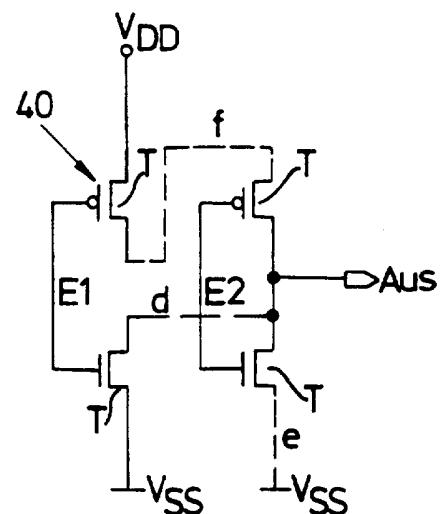


Fig 11A

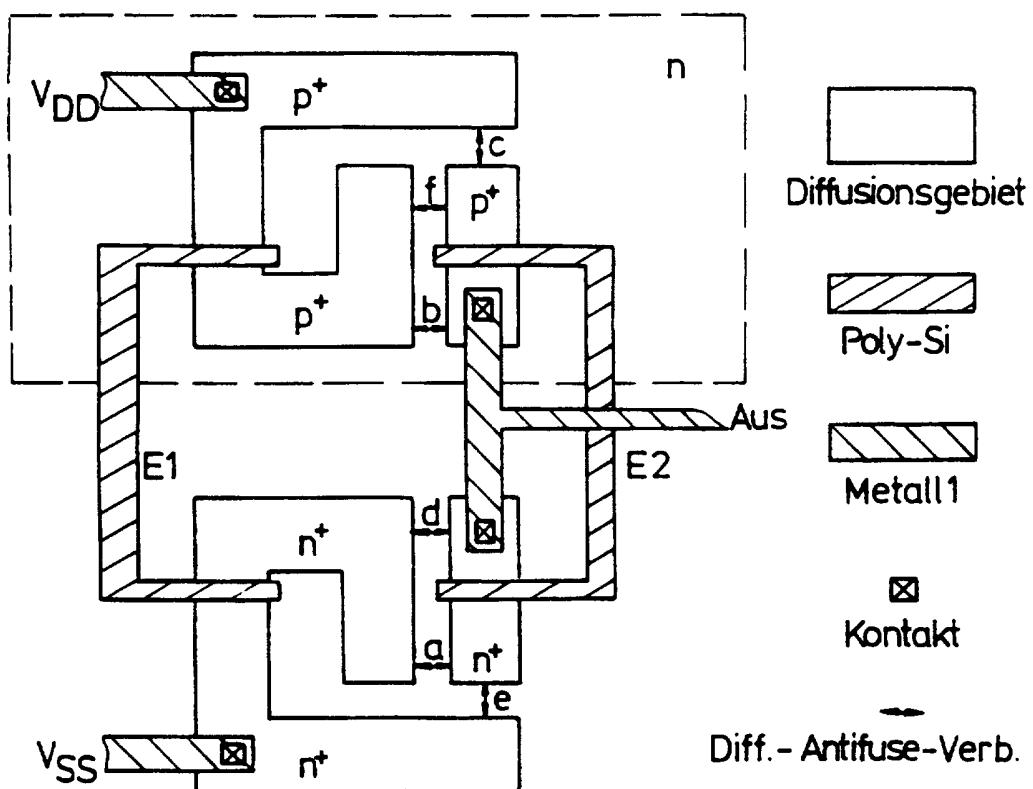


Fig 11B