



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **256 777 A1**

4(51) H 01 L 21/265

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP H 01 L / 282 066 2	(22)	25.10.85	(44)	18.05.88
------	-----------------------	------	----------	------	----------

(71)	VEB Mikroelektronik „Karl Liebknecht“ Stahnsdorf, Ruhlsdorfer Weg, Stahnsdorf, 1533, DD
(72)	Koch, Eberhard, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys.; Lemke, Heinz, Dr. rer. nat., DD

(54) Verfahren zum Erzeugen stabiler lokaler Rekombinationszentren in Silizium-Halbleiterbauelementen

(57) Verfahren zum Erzeugen stabiler lokaler Rekombinationszentren in Silizium-Halbleiterbauelementen, insbesondere für die Herstellung von Strukturen, bei denen lokalisiert geringe Ladungsträger-Lebensdauern benötigt werden. Das Ziel der Erfindung besteht in der rationellen Herstellung derartiger schneller Bereiche mit hoher Ausbeute. Die spezielle Aufgabe ist darin zu sehen, anstelle des üblicherweise verwendeten Goldes ein Material einzusetzen, das die Trägerlebensdauer entsprechend herabsetzt, gleichzeitig ein stabiles Verhalten gegenüber thermischen Prozessen aufweist und mit geringem technischem Aufwand einzubringen bzw. zu aktivieren ist. Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Verwendung von Molybdän zur direkten Bildung von Rekombinationszentren gelöst, das durch Implantation selektiv eingebracht und insbesondere durch Kurzeitausheilung aktiviert wird.

Erfindungsanspruch:

1. Verfahren zum Erzeugen stabiler lokaler Rekombinationszentren in Halbleiterbauelementen für die Herstellung schnell schaltender Bereiche in planaren integrierten Strukturen, **dadurch gekennzeichnet**, daß Molybdän direkt für die Bildung von Rekombinationszentren verwendet und mit einer Dosis von größer als 10^{12} cm^{-2} zu einem beliebigen Zeitpunkt im Verlauf des Herstellungsprozesses der Gesamtstruktur in diese eingebracht und nachfolgend durch einen Ausheilprozeß bei einer Temperatur von größer/gleich 1250°C aktiviert wird.
2. Verfahren nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Einbringen von Molybdän durch Ionenimplantation erfolgt.
3. Verfahren nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Ausheilung durch einen Kurzzeitausheilprozeß kleiner als 30 s erfolgt.

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung beinhaltet ein Verfahren zum Erzeugen stabiler lokaler Rekombinationszentren in Si-Halbleiterbauelementen, insbesondere bei der Herstellung von VLSI-Strukturen, in denen extrem lokalisiert geringe Ladungsträger-Lebensdauern, z. B. für schnell schaltende Bauelementestrukturen, benötigt werden. Ein weiteres Anwendungsgebiet sind Leistungs-Halbleiterbauelemente, die mit Ansteuer- oder Beschaltungselementen integriert sind, bei denen einerseits lokale Bereiche geringer Trägerlebensdauer funktionsbedingt, andererseits lange Hochtemperaturbehandlungen herstellungsbedingt erforderlich sind.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Verfahren zur Bildung von Rekombinationszentren im Halbleitermaterial durch den Einbau sogenannter Lebensdauer-Killer in das Kristallgitter sind bekannt. Vorzugsweise durch Einbringen von Gold oder Platin werden Hochfrequenz-Bauelemente oder schnell schaltende Leistungsbaulemente hergestellt. In der Integrationstechnik ist es notwendig, lokale Bereiche mit definierter Rekombinationsrate zu erzeugen. Nachteilig, besonders bei der Herstellung integrierter Strukturen ist, daß die lokale Begrenzung und die Dosierung technologisch schwer beherrschbar sind. Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß die verwendeten Edelmetalle hohe Diffusionskoeffizienten aufweisen und demzufolge bei nachfolgenden Temperaturbehandlungen zu schwer bestimmbaren Verteilungen und Konzentrationen führen. Durch Wechselwirkung zwischen Schwermetallatomen und Gitterdefekten treten lokale hohe Getterverluste auf, die eine inhomogene Reduzierung der Lebensdauer über die Fläche verursachen. Der Nachteil für die Anwendung der bekannten technologischen Verfahren besteht darin, daß man aufgrund der hohen Diffusionsgeschwindigkeit der Edelmetalle unter Inkaufnahme unökonomischer Verfahrensabläufe die Edelmetalldotierung nach dem letzten Hochtemperaturschritt durchführen, bzw. teure Niedertemperaturverfahren, wie CVD- oder Sputterverfahren, anwenden muß. In dem WP 212361 wird speziell für CMOS-Schaltkreise ein Verfahren vorgeschlagen, das ohne Edelmetalldotierung eine vertikal selektive Lebensdaueränderung mit stabilen Eigenschaften zuläßt. Nachteilig dabei ist, daß spezielles Czochralski-Material mit hohem O_2 -Anteil für die Chipherstellung eingesetzt werden muß. Der technologische Aufwand bezüglich der zusätzlichen Arbeitsschritte, der Arbeitszeit und des Energieaufwandes ist groß. Eine laterale Strukturierung ist nicht möglich. In der DE-OS 2642206 wird ein Verfahren zur vertikal selektiven Lebensdauerreduzierung durch Strahlungsdefekte mittels Implantation von Au, Si, Ge usw. angegeben. Der Nachteil ist, daß die Temperatur der nachfolgenden Prozeßschritte 450°C nicht übersteigen darf. Keines der bekannten Verfahren zur Reduzierung der Trägerlebensdauer ist mit der unter dem Begriff „defectengineering“ bekannten Lebensdauer- und Funktionsoptimierung kompatibel. Die Möglichkeiten der vertikalen und lateralen Strukturierung sind entweder nicht vorhanden oder gering.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen auf Si-Basis, speziell bei der Herstellung von hochintegrierten Schaltkreisen, exakt bestimmbare lokale Bereiche mit geringer Lebensdauer rationell herzustellen und damit die Integration schneller Bauelemente auf einem Chip bei hoher Ausbeute zu ermöglichen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Auf der Grundlage der Zielstellung stellt sich die technische Aufgabe, ein Material und ein Verfahren anzugeben, mit dem ohne besondere Anforderungen an das Ausgangsmaterial bzw. dessen Vertikalstruktur Strukturen herstellbar sind, die in ihrer lateralen Ebene neben Bereichen mit hoher Trägerlebensdauer selektive Bereiche mit geringer Trägerlebensdauer aufweisen, die mit geringer thermischer Belastung der Gesamtstruktur anwendbar sind und mit dem bekannten Verfahren des „defectengineering“ einschließlich Getterprozessen kompatibel sind. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch Verwendung von Molybdän gelöst, das z. B. durch Ionenimplantation mit seiner Dosis $> 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ unabhängig von nachfolgenden Hochtemperaturschritten zu einem beliebigen Zeitpunkt des Herstellungsprozesses in die gewünschten Bereiche eingebracht und durch einen Ausheilprozeß bei einer Temperatur von mindestens 1200°C in extrem kurzer Zeit aktiviert wird. Molybdän bildet in Silizium ein Donatorzentrum mit der energetischen Lage ($E_v + 0,28 \text{ eV}$) und einem Löchereinfangquerschnitt $r_p^0 = 1,2 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ sec}^{-1}$. Molybdän gehört zu den Dotanten im Si, die die Ladungsträgerlebensdauer mit Zentren reduzieren,

die bei üblichen Hochtemperaturprozessen einen extrem kleinen Diffusionskoeffizienten haben. Diese Eigenschaft erlaubt eine Strategie in Verfahrenskomplexen, bei denen Bauelementebereiche mit stark differierenden Trägerlebensdauern gefordert werden. Es wurde erkannt, daß zum Zweck der direkten Verwendung als Rekombinationszentrum Molybdän eingesetzt werden kann, dessen Eigenschaften bisher nur zur Erzielung sekundärer, indirekter Wirkungen (Erzeugung von Gitterdefekten) genutzt wurden. Molybdän als Störstelle wurde wegen des vermuteten geringen Diffusionskoeffizienten und den damit verbundenen Schwierigkeiten beim Einbringen der Störstellen nicht benutzt. Nach der Mo-Aktivierung bei Temperaturen $T \geq 1200^\circ\text{C}$ sind folgende Prozesse möglich, ohne daß Verteilung und Wirksamkeit der Mo-Rekombinationszentren signifikant verändert werden:

- 1) Mit üblichen Hochtemperaturschritten bis 1200°C können Dotierungen eingebracht und aktiviert werden.
- 2) Passivierungs- und andere Isolatorschichten (z. B. auch Gateoxide) können aufgebracht werden.
- 3) Getterschichten auf der Struktur oder Getterbereiche in der Si-Struktur können erzeugt werden.
- 4) Ein übliches „defectengineering“ (z. B. eine Langzeittemperung bei 900°C) kann auch als letzter Verfahrensschritt im Zyklus I ausgeführt werden.

Molybdän ist an Ausscheidungen, Komplexbildungen und Getterprozessen nicht direkt beteiligt. Untersuchungen, bei denen Phosphor- und Molybdänionen in Silizium implantiert werden, zeigten nach einer Blitzlampenausheilung unerwartet vergleichbare Diffusion von Molybdän und Phosphor. Obwohl bei der Blitzlampenausheilung nur für 30s eine Proben temperatur von 1250°C erreicht wurde, wurde im Si annähernd die Sättigungskonzentration der Mo-Rekombinationszentren aktiviert. Verglichen mit einer auch möglichen Langzeitdiffusion bzw. Ausheilung wurde im Kurzzeitregime ein um eine Größenordnung größerer Diffusionskoeffizient für Mo von $D = 4 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$ gemessen. Die effektiven Aktivierungsbedingungen im Kurzzeitregime mit Mo als einem Element mit extrem kleinem Verteilungskoeffizienten in Si können erklärt werden durch die hohe Phasenfrontgeschwindigkeit bei der Rekristallisation durch Ionenimplantation amorphisierter Bereiche, durch günstige Bedingungen für Störstellenreaktionen, die Zwischenstufen für die Zentrenaktivierung darstellen können, und durch Überschuß an Zwischengitteratomen. Bei der Herstellung von Rekombinationszentren durch Molybdän mittels Implantation und anschließender Kurzeit ausheilung lassen sich Eindringtiefen bis zu $1 \mu\text{m}$ ohne besonderen technologischen Aufwand herstellen. Für die Planarstrukturen reicht diese Tiefe in der Regel aus.

Wegen der guten Einstellbarkeit über Ionenenergie und -dosis und der hohen Reproduzierbarkeit wird zum Einbringen der Molybdänzentren unter den möglichen bekannten Verfahren, wie dotierte Deckschicht, Aufdampfen, Sputtern usw., die Ionenimplantation vorgezogen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß Deckschichten geeigneter Dicke, z. B. aus SiO_2 , zur vollständigen oder teilweisen Maskierung selektiver Bereiche der Siliziumoberfläche genutzt werden können. Die Ausheilungs- bzw. Aktivierungsbedingungen werden durch die gewünschte Tiefe der lebensdauerreduzierten Bereiche bestimmt. Erfindungsgemäß wird dies mit Sicherheit bei Temperaturen von 1250°C erreicht. Ein Ausheilen im Kurzzeitregime mit Blitzlampe, Laser oder Elektronenstrahl kann durch einen Diffusionsprozeß bei $T \geq 1200^\circ\text{C}$ ergänzt werden, wenn die Trägerlebensdauer bis in tiefere Bauelementebereiche reduziert werden soll.

Ausführungsbeispiel

Mo^{98} -Ionen werden mit einer Energie von 150 keV und einer Dosis von $9(14) \text{ cm}^{-2}$ in p-leitendes Si (200 Ohmcm) implantiert, in das vorher 10^{16} cm^{-2} p^{31} -Ionen mit 75 keV implantiert worden sind. Bereiche, deren Trägerlebensdauer nicht reduziert werden sollte, werden durch eine 100 nm dicke thermische SiO_2 -Schicht maskiert. Die Mo^{98} - und p^{31} -implantierte Probe wird von der Rückseite aus durch einen Lichtblitz ausgeheilt. Dabei wird für 30s eine Proben temperatur von 1250°C erreicht. In der Umgebung des durch das Kurzeit ausheilen entstandenen pn-Überganges wurden durch DLTS Mo-Rekombinationszentren mit ($E_v + 0,28 \text{ eV}$) und einer Konzentration von $6(12) \text{ cm}^{-3}$ nachgewiesen. Mit SEM/EBIC-Methodik wurde gezeigt, daß der pn-Übergang bei $x_j = 0,7 \mu\text{m}$ liegt und die Ladungsträgerlebensdauer nahezu konstant ist. EBIC-Kontraste durch stark rekombinationswirksame, also dekorierte Kristalldefekte fehlen. Die OCVD-Methode ergibt eine Trägerlebensdauer $\tau = 2 \mu\text{s}$, die durch eine Temperung mit PSG-Schicht bei 1150°C unverändert bleibt. Schnelldiffundierende Rekombinationszentren wie z. B. Au und Pt werden durch die PSG-Schicht und die hohe P-Dotierung gegettert und damit als Rekombinationszentrum unwirksam.