

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. Februar 2004 (26.02.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/017436 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01L 45/00**,
27/24

SCHULER, Franz [DE/DE]; Ludwig-Jahn-Str. 4, 01109
Dresden (DE). **TEMPEL, Georg** [DE/BE]; Maurice
Despretlaan 9, B-1933 Sterrebeek (BE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/002434

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. Juli 2003 (19.07.2003)

(74) **Anwalt: KARL, Frank**; Patentanwälte Kindermann,
Postfach 1330, 85627 Grasbrunn (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) **Bestimmungsstaaten (national):** CN, JP, KR, SG, US.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(30) Angaben zur Priorität:
102 34 660.7 26. Juli 2002 (26.07.2002) DE

(71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): INFINEON TECHNOLOGIES AG** [DE/DE]; St.
Martin-Strasse 53, 81669 München (DE). **IMEC VZW**.
[BE/BE]; Kapeldreef 75, B-3001 Leuven (BE).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

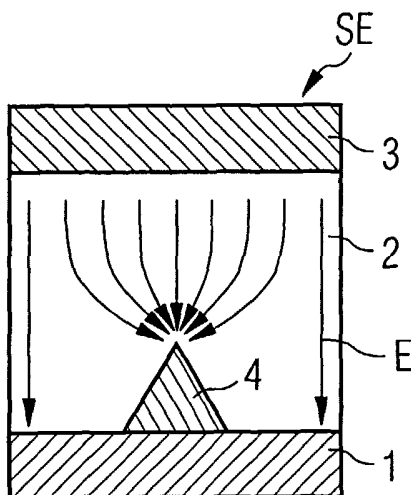
(72) **Erfinder; und**

(75) **Erfinder/Anmelder (nur für US): BREUIL, Lau-
rent** [FR/BE]; Kesseldallaan 97, B-3010 Leuven (BE).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.

(54) **Title:** NON-VOLATILE MEMORY ELEMENT AND PRODUCTION METHOD THEREOF AND STORAGE MEMORY
ARRANGEMENT

(54) **Bezeichnung:** NICHTFLÜCHTIGES SPEICHERELEMENT SOWIE ZUGEHÖRIGE HERSTELLUNGSVERFAHREN
UND SPEICHERELEMENTANORDNUNGEN



(57) **Abstract:** The invention relates to a non-volatile memory ele-
ment and production methods thereof and storage element arrange-
ment, whereby a first electrode (1) used to reduce a formation volt-
age comprises a field amplifier structure (4) used for amplifying the
field intensity of an electric field (E) produced by a second electrode
(3) in a switching material (2).

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein nichtflüchtiges
Speicherelement sowie zugehörige Herstellungsverfahren
und Speicherelementanordnungen, wobei zur Verringerung
einer Formierungs-Spannung eine erste Elektrode (1) eine
Feldverstärkerstruktur (4) zum Verstärken einer Feldstärke eines
miteiner zweiten Elektrode (3) erzeugten elektrischen Feldes (E)
in einem Umschaltmaterial (2) aufweist.

WO 2004/017436 A2

Beschreibung

Nichtflüchtiges Speicherelement sowie zugehörige Herstellungsverfahren und Speicherelementanordnungen

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein nichtflüchtiges Speicherelement sowie zugehörige Herstellungsverfahren und Speicherelementanordnungen und insbesondere auf ein nichtflüchtiges Speicherelement mit einem Umschaltmaterial, bei dem nach einem Formierungs-Schritt zumindest zwei verschiedene Leitfähigkeitszustände realisiert werden und durch Anlegen vorbestimmter Programmierspannungen zwischen den Leitfähigkeitszuständen ein- oder mehrmals umgeschaltet werden kann.

Die Figuren 1A bis 1C zeigen eine vereinfachte Schnittansicht bzw. vereinfachte U-I-Kennlinien eines gattungsgemäßen nichtflüchtigen Speicherelements, wie es beispielsweise aus der Druckschrift US 5,360,981 bekannt ist.

Gemäß Figur 1A besitzt ein derartiges nichtflüchtiges Speicherelement eine erste Elektrode 1, ein darauf ausgebildetes Umschaltmaterial 2 und eine zweite Elektrode 3, wobei zum Anlegen einer Spannung und zum Erzeugen eines elektrischen Feldes E die Elektroden 1 und 3 entsprechend beschaltet sind. Das Umschaltmaterial 2 besteht beispielsweise aus einem wasserstoffgesättigten amorphen Silizium-Halbleitermaterial (Hydrogenated Amorphous Silicon) welches eine p-Dotierung aufweist. Für die erste Elektrode 1 wird beispielsweise ein elektrisch leitendes Material und vorzugsweise Cr verwendet. Durch geeignete Auswahl für die zweite Elektrode 3 erhält man entweder analoges Umschaltverhalten für das Umschaltmaterial 2 oder digitales Umschaltverhalten. Bei Verwendung von V, Co, Ni und Tb erhält man gemäß Figur 1A beispielsweise analoges Umschaltverhalten, während für die Materialien Cr, W, oder Ag als zweite Elektrode 3 digitales Umschaltverhalten realisiert werden kann.

Kennzeichnend für derartige nichtflüchtige Speicherelemente ist insbesondere ein notwendiger und vorab durchgeführter Formierungs-Schritt (Forming), der die eigentlichen nichtflüchtigen Speichereigenschaften des Speicherelements erst ermöglicht.

Gemäß Figur 1B wird beispielsweise eine zunächst vorliegende lineare U-I-Kennlinie erst durch Anlegen einer Formierungs-Spannung F_A in einen Speicher-Kennlinienbereich gemäß Figur 1C umgewandelt. Derartige Formierungsspannungen F_A sind relativ hohe Spannungen und liegen üblicherweise in einem Bereich von 5 bis 30 Volt, wobei gemäß Figur 1B ein Formierungs-Schritt bei einer Formierungs-Spannung $F_A = -20$ V durchgeführt wird.

Demzufolge wird erst nach Durchführen dieses Formierungs-Schritts bzw. nach Anlegen dieser Formierungs-Spannung F_A im Umschaltmaterial 2 ein Kennlinienfeld K_A erzeugt, welches nichtflüchtige Speichereigenschaften und beispielsweise die in Figur 1C dargestellten zwei Leitfähigkeitszustände bzw. Kennlinienäste ON und OFF aufweist. Bei dem in Figur 1C dargestellten Kennlinienfeld K_A wurden als Elektrodenmaterial Cr und als Umschaltmaterial 2 wasserstoffgesättigtes amorphes Silizium mit p-Dotierung verwendet.

Anhand dieses nach dem Formierungs-Schritt gewonnenen komplexen Kennlinienfelds K_A gemäß Figur 1C kann nunmehr ein eigentliches nichtflüchtiges Speicherverhalten realisiert werden, wobei durch Anlegen entsprechender Betriebsspannungen die Leitfähigkeitszustände ON und OFF in Pfeilrichtung durchfahren werden.

Genauer gesagt kann beispielsweise ein den Leitfähigkeitszustand ON aufweisendes Umschaltmaterial 2 dadurch umprogrammiert werden, dass eine Programmierspannung $V_{l\ddot{o}sch}$ von ca. 2,5 Volt angelegt wird, wodurch der Leitfähigkeitszustand bzw.

3

Kennlinienast ON in den weiteren Leitfähigkeitszustand bzw. Kennlinienast OFF schaltet. In gleicher Weise kann durch Anlegen einer weiteren Programmierspannung V_{schreib} von beispielsweise -3 V wiederum der Leitfähigkeitszustand ON im Umschaltmaterial 2 erzeugt werden. Auf diese Weise kann zwischen den beiden Leitfähigkeitszuständen ON und OFF im Kennlinienfeld K_A hin und her geschaltet werden bzw. eine Programmierung erfolgen, wobei jeweilige Lesespannungen V_{lese} unterhalb der Programmierspannungen und gemäß Figur 1C beispielsweise 1 Volt aufweisen. Da sich das Kennlinienfeld K_A bzw. die einmal programmierten Leitfähigkeitszustände ON und OFF in derartigen Umschaltmaterialien 2 nicht ändern, erhält man somit unter Auswertung eines zugehörigen Lesestroms ein nichtflüchtiges Speicherelement.

Figur 2A zeigt eine vereinfachte Schnittansicht eines weiteren herkömmlichen nichtflüchtigen Speicherelements, wobei jedoch das Umschaltmaterial aus einer Mehrfach-Schichtenfolge besteht. Genauer gesagt ist auf einer ersten Elektrode 1 beispielsweise ein p-dotiertes wasserstoffgesättigtes amorphes Silizium 2A ausgebildet, an dessen Oberfläche sich eine n-dotierte wasserstoffgesättigte amorphe Siliziumschicht 2B anschließt. Zur zweiten Elektrode 3 besitzt das Umschaltmaterial 2 ferner ein nicht dotiertes wiederum wasserstoffgesättigtes amorphes Silizium, wodurch man eine sogenannte p-n-i-Struktur erhält. Derartige nichtflüchtige Speicherelemente haben zwar den Vorteil, dass die Elektrodenmaterialien weniger kritisch insbesondere für p-dotierte Halbleitermaterialien sind, die Spannungen für den notwendigen Formierungsschritt sind jedoch sogar noch höher als beim Umschaltmaterial gemäß Figur 1A, weshalb sie für eine Massenproduktion von nichtflüchtigen Speichern bisher nicht in Betracht gezogen wurden.

Figur 2B zeigt ein vereinfachtes Kennlinienfeld K_A wiederum nach einem durchgeführten Formierungsschritt, woraus sich eine verbesserte Programmierung auf Grund des höheren Abstan-

des zwischen den unterschiedlichen Leitfähigkeitszuständen ON und OFF ergibt.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde ein nichtflüchtiges Speicherelement sowie zugehörige Herstellungsverfahren und Speicherelementanordnungen zu schaffen, mit dem eine Integration in herkömmliche Halbleiterschaltungen realisiert werden kann. Insbesondere liegt der Erfindung die Aufgabe zu Grunde den zum Ausbilden des nichtflüchtigen Speicherverhaltens notwendigen Formierungs-Schritt zu optimieren.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe hinsichtlich des nichtflüchtigen Speicherelements durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Hinsichtlich des Verfahrens wird diese Aufgabe durch die Maßnahmen des Patentanspruchs 8 gelöst und hinsichtlich der Speicherelementanordnungen wird diese Aufgabe durch die Merkmale der Patentansprüche 22 bis 24 gelöst.

Insbesondere durch die Verwendung von zumindest einer Feldverstärkerstruktur an zumindest einer der Elektroden zum Verstärken einer Feldstärke des elektrischen Feldes im Umschaltmaterial können die für den Formierungs-Schritt notwendigen - jedoch sehr hohen - Spannungen wesentlich reduziert werden, wodurch diese Speicherelemente erstmals mit herkömmlichen Halbleiterschaltungen wie z.B. CMOS-Schaltungen verknüpft bzw. kombiniert ausgebildet werden können.

Vorzugsweise stellt die Feldverstärkerstruktur einen in das Umschaltmaterial ragenden Vorsprung der Elektroden wie z.B. eine Spitze, eine Ecke oder Kante dar, wobei ein Winkel vorzugsweise ≤ 90 Grad ist. Auf diese Weise können notwendige Feldspitzen bzw. Felderhöhungen besonders einfach in integrierten nichtflüchtigen Speicherelementen ausgebildet werden.

Vorzugsweise bestehen das Umschaltmaterial aus einem wasserstoffgesättigten amorphen Halbleitermaterial, wobei auch

Mehrschichtstrukturen verwendbar sind, und die Elektroden vorzugsweise aus metallischen Materialien.

Hinsichtlich des Verfahrens zur Herstellung eines nichtflüchtigen Speicherelements wird insbesondere eine Vertiefung in einer Hilfsschicht ausgebildet und zum Ausbilden der ersten Elektroden diese Vertiefung mit einem ersten elektrisch leitenden Material ausgefüllt, wodurch in nachfolgenden Schritten die Feldverstärkerstruktur besonders einfach ausgebildet werden kann.

Vorzugsweise wird hierbei das elektrisch leitende Material derart abgeschieden, dass sich im Bereich der Vertiefung eine angepasste Vertiefung ergibt, wobei mittels eines anisotropen Ätzverfahrens das elektrisch leitende Material zumindest bis zu Oberfläche der Hilfsschicht konformal zurückgeätzt wird und mittels eines anisotropen Ätzverfahrens die Hilfsschicht im Wesentlichen bis zum Bodenbereich der angepassten Vertiefung zurückgeätzt wird. Auf diese Weise werden an der ersten Elektrode scharfe Spitzen ausgebildet, die zu der erwünschten Felderhöhung und somit zur Verringerung der Formierungs-Spannung führen.

Alternativ kann jedoch auch mittels eines Polierverfahrens das elektrisch leitende Material zumindest bis zur Oberfläche der Hilfsschicht zurückgebildet und mittels eines anschließenden selektiven Ätzverfahrens die Hilfsschicht um einen vorbestimmten Betrag zurückgeätzt werden, wodurch man wiederum sehr scharfe Kanten bzw. Ecken an der ersten Elektrode erhält, die zur erwünschten Feldverstärkung bzw. Felderhöhung führen.

Gemäß einer weiteren Alternative kann mittels eines Ätzverfahrens zumindest ein vorbestimmter Betrag des elektrisch leitenden Materials in der Vertiefung entfernt werden, anschließend eine dünne konformale elektrisch leitende Schicht derart ausgebildet werden, dass eine angepasste Vertiefung im

Bereich der Vertiefung entsteht und abschließend mittels eines anisotropen Ätzverfahrens bzw. mittels eines Spacerverfahrens die elektrisch leitende Schicht zumindest bis zur Oberfläche der Hilfsschicht zurückgeätzt wird. Nach einem weiteren Rückätzschritt mittels eines anisotropen Ätzverfahrens der Hilfsschicht im Wesentlichen bis zum Bodenbereich der angepassten Vertiefung erhält man wiederum eine durch die Spacerstruktur hervorgerufene Feldverstärkerstruktur bzw. Feldüberhöhung im elektrischen Feld des Umschaltmaterials, wodurch sich die notwendigen Formierungs-Spannungen wesentlich reduzieren lassen.

Hinsichtlich der Speicherelementanordnung werden die nichtflüchtigen Speicherelemente matrixförmig angeordnet und über spaltenförmig angeordnete Bitleitungen und zeilenförmig angeordnete Wortleitungen angesteuert, wobei eine jeweilige erste Elektrode des Speicherelements unmittelbar über einen ohmschen Übergang oder einen Diodenübergang mit einer jeweiligen in einem Halbleitersubstrat ausgebildeten Wortleitung elektrisch verbunden ist und eine jeweilige zweite Elektrode zum Ausbilden einer jeweiligen Bitleitung streifenförmig an der Oberfläche des Halbleitersubstrats strukturiert ist.

Alternativ kann jedoch in einer Speicherelementanordnung für jedes nichtflüchtige Speicherelement einen Auswahltransistor mit einer als Steuerschicht dienenden Wortleitung und einer als erstes Source-/Draingebiet dienenden Bitleitung im Halbleitersubstrat ausgebildet werden, wobei ein zweites Source-/Draingebiet des Auswahltransistors mit einer jeweiligen ersten Elektrode des Speicherelements elektrisch verbunden ist. Dadurch erhält man ebenfalls eine neuartige und hochintegrierte nichtflüchtige Speicherelementanordnung.

In den weiteren Unteransprüchen sind weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gekennzeichnet.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben.

Es zeigen:

Figuren 1A bis 1C eine vereinfachte Schnittansicht sowie vereinfachte U-I-Kennlinienfelder eines nichtflüchtigen Speicherelements gemäß dem Stand der Technik;

Figuren 2A und 2B eine vereinfachte Schnittansicht und ein vereinfachtes U-I-Kennlinienfeld eines weiteren nichtflüchtigen Speicherelements gemäß dem Stand der Technik;

Figuren 3A bis 3C eine vereinfachte Schnittansicht sowie vereinfachte U-I-Kennlinienfelder eines nichtflüchtigen Speicherelements gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel;

Figuren 4A und 4B eine vereinfachte Schnittansicht und ein vereinfachtes U-I-Kennlinienfeld eines nichtflüchtigen Speicherelements gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel;

Figuren 5A bis 5E vereinfachte Schnittansichten zur Veranschaulichung wesentlicher Verfahrensschritte bei der Herstellung eines nichtflüchtigen Speicherelements gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel;

Figuren 6A bis 6C vereinfachte Schnittansichten zur Veranschaulichung wesentlicher Verfahrensschritte bei der Herstellung eines nichtflüchtigen Speicherelements gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel;

Figuren 7A bis 7D vereinfachte Schnittansichten zur Veranschaulichung wesentlicher Verfahrensschritte bei der Herstellung eines nichtflüchtigen Speicherelements gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel;

Figuren 8A und 8B ein vereinfachtes Ersatzschaltbild einer Speicherelementanordnung sowie eine vereinfachte Schnittansicht eines zugehörigen nichtflüchtigen Speicherelements gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel;

Figuren 9A und 9B ein vereinfachtes Ersatzschaltbild einer Speicherelementanordnung sowie eine vereinfachte Schnittansicht eines zugehörigen nichtflüchtigen Speicherelements gemäß einem siebten Ausführungsbeispiel; und

Figuren 10A und 10B ein vereinfachtes Ersatzschaltbild einer Speicherelementanordnung sowie eine vereinfachte Schnittansicht eines zugehörigen nichtflüchtigen Speicherelements gemäß einem achten Ausführungsbeispiel.

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines vereinfachten nichtflüchtigen Speicherelements auf der Grundlage eines Speicherelements gemäß Figur 1A beschrieben, wobei gleiche Bezugszeichen gleiche oder entsprechende Schichten oder Elemente bezeichnen und auf eine wiederholte Beschreibung nachfolgend verzichtet wird. Insbesondere sei jedoch darauf hingewiesen, dass das Umschaltmaterial 2 in gleicher Weise auch einen Mehrschichtaufbau aufweisen kann, wobei insbesondere amorphe Halbleitermaterialien mit unterschiedlicher Dotierung in Frage kommen.

Erstes Ausführungsbeispiel

Gemäß Figur 3A besteht das nichtflüchtige Speicherelement SE gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel wiederum aus einem Umschaltmaterial 2 und zwei am Umschaltmaterial 2 anliegenden elektrisch leitenden Elektroden 1 und 3, an die eine elektrische Spannung angelegt und ein elektrisches Feld E im Umschaltmaterial 2 erzeugt werden kann. Das Umschaltmaterial 2 besitzt hierbei wiederum die speziellen Eigenschaften, wobei nach einem Formierungs-Schritt zumindest zwei verschiedene Leitfähigkeitszustände vorherrschen, zwischen denen durch An-

legen vorbestimmter Programmierspannungen wiederholt umgeschaltet werden kann.

Vorzugsweise wird als Umschaltmaterial 2 wasserstoffgesättigtes amorphes Silizium oder ein entsprechender Mehrschichtaufbau verwendet, wobei das amorphe Silizium beispielsweise mittels des sogenannten Glüh-Entladungsverfahrens (Glow Discharge Technique) vorbereitet wird. Ferner bestehen die erste Elektrode 1 und die zweite Elektrode 3 aus einem geeigneten elektrisch leitenden Material, welches vorzugsweise ein Metall aufweist.

Eine beispielhafte Auflistung von möglichen Materialien für die erste und zweite Elektrode 1 und 3 sowie für das Umschaltmaterial 2 wird nachfolgend angegeben, wobei auch andere Materialien grundsätzlich denkbar sind:

Erste Elektrode	Umschaltmaterial	Zweite Elektrode
Rostfreier Stahl	p-n-i-dotiertes a-Si:H	Au oder Al
Rostfreier Stahl	p-n-i-dotiertes a-Si:H	Au oder Al oder NiCr
Cr	p-n-i-dotiertes a-Si:H oder n-p-i-dotiertes a-Si:H oder p-i-n-dotiertes Si:H	Al oder Cr
Cr	p-dotiertes a-Si:H	V
Cr	p-dotiertes a-Si:H	Ag, Al, Cr, Mn, Fe, W, V, Ni, Co, Mo, Pd
Cr	a-SiC:H	Ni
Cr	a-SiN:H oder a-SiC:H	Ni oder Mo
Al	Tetrahedral-amorpher Kohlenstoff	Al
Elektrochemische Inert-Katode	Calzogenides Glas mit bis zu 30% Ag	Oxidierbares Ag (Anode)

Indium-TiN-Oxid	Konjugierte Polymere	Al
Metall	Calzogenide Legierung	Metall

Die im Umschaltmaterial 2 auftretenden Vorgänge sind bislang nicht vollständig geklärt, wobei jedoch insbesondere bei Verwendung von amorphem Silizium davon ausgegangen wird, dass sich im Umschaltmaterial elektrisch leitende bzw. Metall-Filamente (filaments) innerhalb des amorphen Materials bei Anlegen einer vorbestimmten Spannung ausbilden, die bei Anlegen einer umgekehrten Spannung und/oder eines umgekehrten Stroms zerstört werden.

Wesentlich für die vorliegende Erfindung ist nunmehr, dass zumindest eine der Elektroden 1 oder 3 zumindest eine Feldverstärkerstruktur 4 zum Verstärken einer Feldstärke des elektrischen Feldes E im Umschaltmaterial 2 aufweist. Gemäß Figur 3A ist demnach an der ersten Elektrode 1 eine Spitze 4 als Feldverstärkerstruktur ausgebildet, die zu einer wesentlichen Verstärkung des im Umschaltmaterial 2 vorherrschenden elektrischen Feldes E führt. Auf Grund dieser Feldverstärkung ergeben sich Feldspitzen im Umschaltmaterial 2, die insbesondere den eingangs erwähnten Formierungs-Schritt günstig beeinflussen.

Gemäß Figur 3B wird demzufolge bei einem nichtflüchtigen Speicherelement SE mit der in Figur 3A dargestellten Feldverstärkerstruktur 4 die üblicherweise notwendige Formierungsspannung F_A von ca. -20 V auf beispielsweise eine verringerte Formierungsspannung F_B von beispielsweise -5 V verschoben, wodurch man in einen Spannungsbereich gelangt, wie er beispielsweise in herkömmlichen CMOS-Halbleiterschaltungen zur Verfügung steht. Genauer gesagt wird durch die im nichtflüchtigen Speicherelement ausgebildete Feldverstärkerstruktur 4 erstmals eine Integration dieses Bauelements mit herkömmlichen Halbleiterbauelementen ermöglicht, die in einem Spannungsbereich unterhalb von 10 Volt und vorzugsweise unterhalb von 5 Volt arbeiten. Ansteuerschaltungen für die notwendigen

Betriebsspannungen können somit vereinfacht und ein Leistungsverbrauch kann dadurch wesentlich verringert werden.

Gemäß Figur 3C besitzt das nichtflüchtige Speicherelement SE bzw. dessen Umschaltmaterial 2 nach dem Formierungs-Schritt, der nunmehr eine wesentlich geringere Formierungs-Spannung F_B aufweist, ein modifiziertes Kennlinienfeld K_B . Hierbei ist mit K_A ebenfalls ein Kennlinienfeld gemäß dem Stand der Technik dargestellt. Demzufolge wird mit der auf der ersten Elektrode 1 ausgebildeten Feldverstärkerstruktur 4 nicht nur eine Formierungs-Spannung verringert, sondern auch ein Kennlinienfeld des Umschaltmaterials 2 bzw. des nichtflüchtigen Speicherelements SE verändert. Genauer gesagt wird auf Grund der einseitigen Feldverstärkung das Kennlinienfeld von K_A nach K_B im negativen Spannungsbereich gestaucht, während es im positiven Spannungsbereich auf Grund der umgekehrten Vorzeichens gestreckt wird.

Dies hat zur Folge, dass nicht nur die Formierungs-Spannung verringert werden kann, sondern auch die Programmierspannungen $V_{\text{lösch}}$ und V_{schreib} an jeweilige Rahmenbedingungen angepasst werden können.

Zweites Ausführungsbeispiel

Figur 4A und 4B zeigen eine vereinfachte Schnittansicht sowie ein zugehöriges U-I-Kennlinienfeld gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel, wobei gleiche Bezugszeichen gleiche oder entsprechende Elemente bzw. Schichten bezeichnen und auf eine wiederholte Beschreibung nachfolgend verzichtet wird.

Gemäß Figur 4A wird nunmehr nicht nur an der ersten Elektrode 1 eine Spitze 4A, sondern auch an der zweiten Elektrode 3 eine entsprechende der Spitze 4A gegenüber liegende Spitze 4B als Feldverstärkerstruktur ausgebildet, wodurch eine Feldverstärkung in beiden Richtungen, d.h. positiver und negativer Spannung, erzeugt werden kann. Wiederum ergibt sich durch

diese Feldverstärkerstruktur 4A und 4B im nichtflüchtigen Speicherelement SE eine Verringerung der Formierungs-Spannung, wobei sich gemäß Figur 4B nunmehr auch eine Stauung der Kennlinienfelder von K_A nach K_B im positiven Spannungsbereich ergibt. Demzufolge können nicht nur die Programmierspannungen V_{schreib} zum Schreiben bzw. zum Umschalten des Leitfähigkeitszustands von OFF nach ON verringert werden, sondern auch die Programmierspannungen $V_{\text{lösch}}$ zum Löschen des nichtflüchtigen Speicherelements SE bzw. zum Umschalten vom ON-Leitfähigkeitszustand zum OFF-Leitfähigkeitszustand. Neben der wesentlich verringerten Formierungs-Spannung F_B zum Erzeugen des nicht flüchtigen Speicherverhaltens im Umschaltmaterial 2 bzw. nicht flüchtigen Speicherelement SE erhält man durch die Feldverstärkerstruktur auch eine Anpassung des Kennlinienfeldes und insbesondere eine Verringerung der notwendigen Schreib- und Lösch-Spannungen. Auf diese Weise können daher völlig neuartige nichtflüchtige Speicher mit wesentlich verringerten Betriebsspannungen und stark verbessertem Strom- bzw. Leistungsverbrauch realisiert werden.

Gemäß dem ersten und zweiten Ausführungsbeispiel wurde als Feldverstärkerstruktur eine Spitze an der ersten Elektrode 1 und/oder der zweiten Elektrode 3 ausgebildet. Es können jedoch in gleicher Weise auch andere Vorsprünge der Elektroden 1 und 3 wie z.B. ausgebildete Ecken oder Kanten als Feldverstärkerstrukturen verwendet werden, sofern sie in das Umschaltmaterial 2 hineinragen und darin eine Feldstärke des elektrischen Feldes E zumindest lokal verstärken. Vorzugsweise weist ein Winkel der Spitzen, Ecken oder Kanten in den Elektroden 1 und 3 einen spitzen Winkel, d.h. einen Winkel ≤ 90 Grad auf, wodurch lokale Feldspitzen besonders einfach realisiert werden können. Zur besonders einfachen und kostengünstigen Realisierung bieten sich jedoch insbesondere die nachfolgend beschriebenen Verfahren an.

Drittes Ausführungsbeispiel

Figuren 5A bis 5E zeigen vereinfachte Schnittansichten zur Veranschaulichung wesentlicher Verfahrensschritte bei der Herstellung eines nichtflüchtigen Speicherelements gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel, wobei gleiche Bezugszeichen gleiche oder entsprechende Elemente oder Schichten bezeichnen und auf eine wiederholte Beschreibung nachfolgend verzichtet wird.

Gemäß Figur 5A wird zunächst auf einem Trägermaterial T eine Hilfsschicht I ausgebildet und darin eine Vertiefung V erzeugt. Vorzugsweise wird als Trägermaterial T ein Halbleitersubstrat (Si) verwendet, in dem beispielsweise bereits aktive Gebiete mittels STI-Verfahren (Shallow Trench Isolation) sowie Dotierwannen ausgebildet sind und/oder bereits vollständige oder teilfertige Halbleiterbauelemente existieren. Selbstverständlich können neben dem bevorzugten Silizium-Halbleitersubstrat auch andere Trägermaterialien wie SOI- oder Siliziumoxid, Silicon on Saphir usw. verwendet werden.

Als Hilfsschicht I wird vorzugsweise eine dielektrische Schicht bzw. Isolatorschicht ganzflächig auf dem Trägermaterial T abgeschieden und mit der Vertiefung V versehen, wobei jedoch auch alternative Materialien und sogar elektrisch leitende Materialein verwendet werden können.

Beim Ausbilden der Vertiefung V, die beispielsweise einen Graben oder ein Loch in der Hilfsschicht I darstellt, wird beispielsweise eine (nicht dargestellte) Resistschicht ausgebildet und anschließend mittels herkömmlicher fotolithographischer Verfahren strukturiert. Anschließend wird zumindest ein Teil der Hilfsschicht I unter Verwendung der (nicht dargestellten) strukturierten Resistschicht entfernt, wobei gemäß Figur 5A die Hilfsschicht I vollständig bis zum Trägermaterial T entfernt wird und somit ein tiefer Graben bzw. ein tiefes Loch als Vertiefung V entsteht. Abschließend wird die Resistschicht entfernt und eventuell ein Reinigungsschritt (Post Cleaning) zum Entfernen von eventuell entstandenen Ver-

unreinigungen durchgeführt. Vorzugsweise wird zum Ausbilden der Vertiefung ein anisotropes Ätzen wie z.B. reaktives Ionensätzen (RIE, Reactive Ion Etch) durchgeführt, wodurch man im Wesentlichen senkrechte Wände der Vertiefung V erhält.

Gemäß Figur 5B wird in einem nachfolgenden Schritt die Vertiefung V mit einem ersten elektrisch leitenden Material zum Ausbilden einer ersten Elektrode 1 aufgefüllt, wobei beispielsweise ein chemisches Abscheideverfahren (CVD, Chemical Vapor Deposition) eines Metalls wie z.B. Wolfram derart an der Oberfläche der Hilfsschicht I durchgeführt wird, dass sich im Bereich der Vertiefung V nunmehr eine angepasste Vertiefung VV im abgeschiedenen Material 1 ergibt.

Wie bereits vorstehend beschrieben wurde, kann als elektrisch leitendes Material für die erste Elektrode 1 auch ein Material aus der oben genannten Tabelle ausgewählt oder anderweitig ausgebildet werden.

Gemäß Figur 5C wird in einem nachfolgenden Verfahrensschritt das elektrisch leitende Material 1 zumindest bis zur Oberfläche der Hilfsschicht I konformal, d.h. gleich stark zur Ausgangsoberfläche zurückgebildet, wobei insbesondere ein anisotropes Ätzverfahren als Rückätzschritt durchgeführt wird und sich somit die in Figur 5C dargestellte Struktur für die erste Elektrode 1 ergibt. Die angepasste Vertiefung VV wird demzufolge unverändert übernommen bzw. in die Vertiefung V transformiert.

Gemäß Figur 5D wird anschließend die Hilfsschicht I derart zurückgebildet, dass sich die Spitzen 4A als Feldverstärkerstruktur in der ersten Elektrode 1 ergeben und über die Hilfsschicht I ausreichend hinausragen. Vorzugsweise wird die Hilfsschicht im Wesentlichen bis zu einer Höhe des Bodenbereichs der angepassten Vertiefung VV zurückgeätzt, wodurch man eine optimierte Ausbildung der Spitzen bzw. Ecken oder Kanten (im Falle eines Grabens) erhält. Dieser Rückbildungs-

prozess der Hilfsschicht I ist vorzugsweise wiederum ein anisotroper Rückätzschritt selektiv zum Material der ersten Elektrode 1.

Abschließend wird gemäß Figur 5E auf der ersten Elektrode 1 mit ihrer darin ausgebildeten Feldverstärkerstruktur 4A ein Umschaltmaterial 2 ausgebildet, wobei wiederum als Materialien die in der oben genannten Tabelle verwendeten Materialien oder Mehrfach-Schichtstrukturen verwendet werden können. Vorzugsweise wird hierbei eine Abscheidung von wasserstoffgesättigtem amorphem Silizium oder einer entsprechenden Mehrfachsicht durchgeführt.

Zur Vervollständigung des nichtflüchtigen Speicherelements SE wird schließlich an der Oberfläche des Umschaltmaterials 2 eine zweite elektrisch leitende Elektrode 3 ausgebildet, wobei wiederum die in der oben genannten Tabelle aufgeführten Materialien grundsätzlich zur Verfügung stehen. In Abhängigkeit von einer jeweiligen Anwendung können nachfolgend eine Planarisierung und/oder Strukturierung der zweiten elektrisch leitenden Elektrode 3 durchgeführt werden.

Beispielsweise erfolgt das Ausbilden der zweiten Elektrode 3 durch Abscheiden einer metallhaltigen Schicht.

Viertes Ausführungsbeispiel

Figuren 6A bis 6C zeigen vereinfachte Schnittansichten wesentlicher Verfahrensschritte bei der Herstellung eines nichtflüchtigen Speicherelements gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel, wobei gleiche Bezugszeichen gleiche Schichten oder Elemente bezeichnen wie in den Figuren 1 bis 4 und auf eine wiederholte Beschreibung nachfolgend verzichtet wird.

Gemäß diesem vierten Ausführungsbeispiel werden wiederum die vorbereitenden Verfahrensschritte gemäß Figuren 5A und 5B des dritten Ausführungsbeispiels durchgeführt, weshalb an dieser

Stelle ausdrücklich auf die entsprechende Beschreibung verwiesen wird.

Gemäß Figur 6A wird im vorliegenden vierten Ausführungsbeispiel nach dem Auffüllen der Vertiefung V mit einem ersten elektrisch leitenden Material zum Ausbilden einer ersten Elektrode 1 (siehe Figur 5B) zunächst ein Planarisierungsverfahren zum Rückbilden des elektrisch leitenden Materials 1 zumindest bis zur Oberfläche der Hilfsschicht I durchgeführt. Vorzugsweise wird ein chemisch-mechanisches Polieren (CMP, Chemical Mechanical Polishing) der Wolframschicht 1 durchgeführt, wodurch man die in Figur 6A dargestellte Schnittansicht erhält.

Gemäß Figur 6B wird anschließend die Hilfsschicht I um einen vorbestimmten Betrag d_1 zurückgebildet, wobei beispielsweise ein selektiver Rückätzschritt zum Freilegen der ersten Elektrode 1 und der darin ausgebildeten Kanten 4A als Feldverstärkerstruktur erfolgt.

Gemäß Figur 6C wird wie im dritten Ausführungsbeispiel wiederum ein Umschaltmaterial 2 an der Oberfläche der Hilfsschicht I und der ersten Elektrode 1 ausgebildet und anschließend die zweite elektrisch leitende Elektrode 3 darauf ausgebildet, wodurch man ein nichtflüchtiges Speicherelement mit verringerten Formierungs-Spannungen erhält. Die Feldverstärkerstrukturen liegen hierbei in den rechtwinkligen Kanten 4A der ersten Elektrode 1. Hinsichtlich des Ausbildevorgangs der Umschaltmaterialschicht 2 und der zweiten Elektrode 3 wird an dieser Stelle ausdrücklich auf das dritte Ausführungsbeispiel verwiesen.

Fünftes Ausführungsbeispiel

Figuren 7A bis 7D zeigen vereinfachte Schnittansichten zur Veranschaulichung wesentlicher Verfahrensschritte bei der Herstellung eines nichtflüchtigen Speicherelements gemäß ei-

nem fünften Ausführungsbeispiel, wobei gleiche Bezugszeichen gleiche Schichten oder Elemente bezeichnen wie in Figuren 1 bis 6 und auf eine wiederholte Beschreibung nachfolgend verzichtet wird.

Gemäß Figur 7A wird nach vorbereitenden Schritten, wie sie beispielsweise in den Figuren 5A und 5B oder 6A dargestellt sind, zunächst ein vorbestimmter Betrag (d_2) des elektrisch leitenden Materials 1 der ersten Elektrode in der Vertiefung V entfernt. Vorzugsweise wird hierbei ein herkömmliches Ätzverfahren zum Rückätzen der elektrisch leitenden Schicht 1 verwendet.

Gemäß Figur 7B wird anschließend eine dünne konformale elektrisch leitende Schicht derart ausgebildet, dass eine angepasste Vertiefung VV im Bereich der Vertiefung V verbleibt. Vorzugsweise besteht die konformale, d.h. mit gleicher Dicke zur Bezugsoberfläche, ausgebildete Schicht aus dem gleichen Material wie das erste elektrisch leitende Material 1, wobei jedoch auch andere elektrisch leitende Materialien aufgebracht werden können und sich dadurch eine Mehrfach-Schichtstruktur für die erste Elektrode ergibt.

Gemäß Figur 7C wird nachfolgend durch ein anisotropes Ätzverfahren die konformal ausgebildete elektrisch leitende Schicht bzw. die darunter liegende elektrisch leitende Schicht zumindest bis zur Oberfläche der Hilfsschicht I zurückgebildet bzw. zurückgeätzt, wodurch man die Spitzen 4A erhält. Vorzugsweise werden zur Ausbildung der Spitzen 4A in der ersten Elektrode 1 herkömmliche Spacer-Verfahren in den Figuren 7B und 7C durchgeführt.

Gemäß Figur 7D erfolgt wiederum der in den Figuren 6B und 6C beschriebene Verfahrensablauf, wobei beispielsweise mittels eines anisotropen Ätzverfahrens die Hilfsschicht I im Wesentlichen bis zum Bodenbereich der angepassten Vertiefung VV zurückgeätzt wird und anschließend die Umschaltmaterial-Schicht

2 und die zweite Elektrode 3 ausgebildet werden. Zur Vermeidung von Wiederholungen wird an dieser Stelle wiederum auf die jeweiligen Beschreibungen der vorhergehenden Ausführungsbeispiele verwiesen.

Auf diese Weise kann mit sehr einfachen Herstellungsschritten ein nichtflüchtiges Speicherelement SE mit Feldverstärkerstrukturen geschaffen werden, wodurch sich insbesondere sogenannte Formierungs-Spannungen wesentlich reduzieren lassen.

Nachfolgend werden typische Speicherelementanordnungen beispielhaft aufgeführt, die mit den vorstehend beschriebenen nichtflüchtigen Speicherelementen zur Realisierung eines nichtflüchtigen Speichers ausgebildet werden können.

Sechstes Ausführungsbeispiel

Figur 8A zeigt ein vereinfachtes Ersatzschaltbild einer Speicherelementanordnung unter Verwendung eines nichtflüchtigen Speicherelements gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel, wie es in Figur 8B in einer vereinfachten Schnittansicht dargestellt ist.

Gemäß Figur 8B sind im Trägermaterial T, welches beispielsweise ein Halbleitermaterial aufweist, Wortleitungen WL beispielsweise durch Dotiergebiete ausgebildet, die mittels flacher Grabenisolierung STI (Shallow Trench Isolation) voneinander isoliert bzw. getrennt sind. Der weitere Speicherelementaufbau entspricht dem des Speicherelements gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel, wobei das Material der ersten Elektrode 1 derart gewählt ist, dass es mit der Wortleitung WL bzw. dem Dotiergebiet einen Diodenübergang bzw. eine Schottky-Diode bildet.

Figur 8A zeigt eine Speicherelementanordnung mit einer Vielzahl von matrixförmig angeordneten nichtflüchtigen Speicherelementen SE und zugehörigen Dioden DI, die über spaltenförmig

mig angeordnete Bitleitungen BL1, BL2 usw. und zeilenförmig angeordnete Wortleitungen WL1, WL2 usw. ansteuerbar sind, wobei die erste Elektrode 1 über einen jeweiligen Diodenübergang bzw. eine Diode DI mit einer jeweiligen im Halbleiter-substrat T ausgebildeten Wortleitung elektrisch verbunden ist und eine jeweilige zweite Elektrode 3 zum Ausbilden einer jeweiligen Bitleitung BL streifenförmig an der Oberfläche der Hilfsschicht I strukturiert ist. Auf diese Weise erhält man eine Speicherelementanordnung mit außerordentlich hoher Integrationsdichte, die mit geringen Formierungs-Spannungen vorbereitet werden kann.

Siebtes Ausführungsbeispiel

Figur 9A zeigt ein vereinfachtes Ersatzschaltbild einer Speicherelementanordnung unter Verwendung eines nichtflüchtigen Speicherelements gemäß einem siebten Ausführungsbeispiel, wie es in Figur 9B in einer vereinfachten Schnittansicht dargestellt ist, wobei gleiche Bezugszeichen gleiche oder entsprechende Elemente wie in Figur 8 bezeichnen und auf eine wiederholte Beschreibung verzichtet wird.

Gemäß Figur 9B besteht ein jeweiliges nichtflüchtiges Speicherelement aus einer ersten Elektrode 1, die nunmehr über einen ohmschen Übergang bzw. einen ohmschen Widerstand unmittelbar mit einer jeweiligen elektrisch leitfähigen Wortleitung WL elektrisch verbunden ist, und einer jeweiligen zweiten Elektrode 3, die wiederum zum Ausbilden der Bitleitung BL streifenförmig an der Oberfläche der Hilfsschicht I strukturiert ist.

Achtes Ausführungsbeispiel

Figur 10A zeigt ein vereinfachtes Ersatzschaltbild zur Veranschaulichung einer Speicherelementanordnung unter Verwendung eines nichtflüchtigen Speicherelements gemäß einem achten Ausführungsbeispiel, wie es in Figur 10B in einer vereinfach-

ten Schnittansicht dargestellt ist, wobei gleiche Bezugszeichen gleiche oder entsprechende Elemente wie in Figuren 8 und 9 bezeichnen und auf eine wiederholte Beschreibung verzichtet wird.

Gemäß der in Figur 10B dargestellten Schnittansicht wird bei einer derartigen Speicherelementanordnung für jedes nichtflüchtige Speicherelement SE ein zugehöriger Auswahltransistor AT mit einer als Steuerschicht dienenden Wortleitung WL und einer als erstes Source-/Draingebiet S/D dienenden Bitleitung BL im Halbleitersubstrat T ausgebildet, wobei ein zweites Source-/Draingebiet S/D des Auswahltransistors AT mit einer jeweiligen ersten Elektrode 1 des nichtflüchtigen Speicherelements SE verbunden ist und eine jeweilige zweite Elektrode 3 auf einem gemeinsamen Bezugspotential (z.B. Common Source) liegt. Wiederum ergeben sich für ein bestimmtes Anwendungsgebiet besonders einfach zu realisierende Speicherelementanordnungen mit minimalem Flächenbedarf und wesentlich verringerten Formierungs-Spannungen. Bekanntermaßen erhält man ein deutlich verbessertes Signal-Rausch Verhältnis, wenn man einen seriellen Auswahltransistor dazufügt. Dadurch ist es möglich deutlich größere Zellenfelder bzw. Sektoren zu gestalten.

Die Erfindung wurde vorstehend anhand ausgewählter Materialien beschrieben und insbesondere anhand von wasserstoffgesättigtem amorphem Silizium als Umschaltmaterial. Sie ist jedoch nicht darauf beschränkt und umfasst in gleicher Weise alternative Materialien zur Realisierung eines nichtflüchtigen Speicherelements mit zumindest zwei verschiedenen Leitfähigkeitzuständen.

Patentansprüche

1. Nichtflüchtiges Speicherelement mit einem Umschaltmaterial (2) und zwei am Umschaltmaterial (2) anliegenden elektrisch leitenden Elektroden (1, 3) zum Anlegen einer Spannung und Erzeugen eines elektrischen Feldes (E) im Umschaltmaterial (2), wobei nach einem Formierungs-Schritt zumindest zwei verschiedene Leitfähigkeitszustände (ON, OFF) im Umschaltmaterial (2) vorherrschen, zwischen denen durch Anlegen vorbestimmter Programmierspannungen (V_{schreib} , $V_{\text{lösch}}$) wiederholt umgeschaltet werden kann,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass zumindest eine der Elektroden (1, 3) zumindest eine Feldverstärkerstruktur (4) zum Verstärken einer Feldstärke des elektrischen Feldes (E) im Umschaltmaterial (2) aufweist.
2. Nichtflüchtiges Speicherelement nach Patentanspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Feldverstärkerstruktur einen in das Umschaltmaterial (2) ragenden Vorsprung der Elektroden (1, 3) darstellt.
3. Nichtflüchtiges Speicherelement nach Patentanspruch 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der Vorsprung eine Spitze, Ecke oder Kante der Elektroden (1, 3) darstellt.
4. Nichtflüchtiges Speicherelement nach Patentanspruch 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass ein Winkel der Spitze, Ecke oder Kante ≤ 90 Grad ist.
5. Nichtflüchtiges Speicherelement nach einem der Patentansprüche 1 bis 4,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass das Umschaltmaterial (2) ein wasserstoffgesättigtes amorphes Halbleitermaterial aufweist.

6. Nichtflüchtiges Speicherelement nach einem der Patentansprüche 1 bis 5,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass das Umschaltmaterial (2) einen Mehrschichtaufbau (2A, 2B, 2C) aufweist.

7. Nichtflüchtiges Speicherelement nach einem der Patentansprüche 1 bis 5,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Elektroden (1, 3) ein Metall aufweisen.

8. Verfahren zur Herstellung eines nichtflüchtigen Speicherelements mit den Schritten:

- a) Vorbereiten eines Trägermaterials (T);
- b) Ausbilden einer Hilfsschicht (I);
- c) Ausbilden einer Vertiefung (V) in der Hilfsschicht (I);
- d) Auffüllen der Vertiefung (V) mit einem ersten elektrisch leitenden Material zum Ausbilden einer ersten Elektrode (1);
- e) Ausbilden von zumindest einer Feldverstärkerstruktur (4A) an der ersten Elektrode (1);
- f) Ausbilden eines Umschaltmaterials (2) auf der ersten Elektrode (1) mit der Feldverstärkerstruktur (4A), wobei nach einem Formierungs-Schritt zumindest zwei verschiedene Leitfähigkeitszustände (ON, OFF) im Umschaltmaterial (2) vorherrschen, zwischen denen durch Anlegen vorbestimmter Programmiervoltspannungen (V_{schreib} , $V_{\text{lösch}}$) wiederholt umgeschaltet werden kann; und
- g) Ausbilden einer zweiten elektrisch leitenden Elektrode (3) auf dem Umschaltmaterial (2).

9. Verfahren nach Patentanspruch 8,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass in Schritt a) ein Halbleitersubstrat als Trägermaterial (T) vorbereitet wird.

10. Verfahren nach Patentanspruch 8 oder 9,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass in Schritt a) eine Wortleitung (WL) im Trägermaterial (T) im Bereich der Vertiefung (V) ausgebildet wird, wobei die Wortleitung (WL) ein Material aufweist, das mit dem Material der ersten Elektrode (1) einen ohmschen- oder Dioden-Übergang (DI) realisiert.

11. Verfahren nach Patentanspruch 8 oder 9, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass in Schritt a) ein Auswahltransistor (AT) mit Source-/Draingebieten (S/D) im Trägermaterial (T) ausgebildet wird, wobei die Source-/Draingebiete (S/D) jeweils eine Bitleitung (BL) und ein Anschlussgebiet für die erste Elektrode (1) realisieren.

12. Verfahren nach einem der Patentansprüche 8 bis 11, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass in Schritt b) eine Isolatorschicht (I) ganzflächig auf dem Trägermaterial (T) abgeschieden wird.

13. Verfahren nach einem der Patentansprüche 8 bis 12, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass in Schritt c) eine Resistschicht ausgebildet und strukturiert wird; zumindest ein Teil der Hilfsschicht (I) unter Verwendung der strukturierten Resistschicht entfernt wird; die Resistschicht entfernt wird; und ein Reinigungsschritt durchgeführt wird.

14. Verfahren nach Patentanspruch 13, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass in Schritt c) zum zumindest teilweise Entfernen der Hilfsschicht (I) ein anisotropes Ätzen durchgeführt wird.

15. Verfahren nach einem der Patentansprüche 8 bis 14, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass in Schritt c) ein Graben oder ein Loch als Vertiefung (V) ausgebildet wird.

16. Verfahren nach einem der Patentansprüche 8 bis 15, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass in Schritt d) das elektrisch leitende Material (1) derart abgeschieden wird, dass sich im Bereich der Vertiefung (V) eine angepasste Vertiefung (VV) ergibt.

17. Verfahren nach Patentanspruch 16, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass in Schritt e)
e11) mittels eines anisotropen Ätzverfahrens das elektrisch leitende Material (1) zumindest bis zur Oberfläche der Hilfschicht (I) konformal zurückgeätzt wird; und
e12) mittels eines anisotropen Ätzverfahrens die Hilfsschicht (I) im Wesentlichen bis zum Bodenbereich der angepassten Vertiefung (VV) zurückgeätzt wird.

18. Verfahren nach einem der Patentansprüche 8 bis 16, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass in Schritt e)
e21) mittels eines Planarisierverfahrens das elektrisch leitende Material (1) zumindest bis zur Oberfläche der Hilfschicht (I) zurückgebildet wird; und
e22) mittels eines selektiven Ätzverfahrens die Hilfsschicht (I) um einen vorbestimmten Betrag (d1) zurückgeätzt wird.

19. Verfahren nach einem der Patentansprüche 8 bis 16, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass in Schritt e)
e31) mittels eines Ätzverfahrens zumindest ein vorbestimmter Betrag (d2) des elektrisch leitenden Materials (1) in der Vertiefung (V) entfernt;
e32) ein Ausbilden einer dünnen konformalen elektrisch leitenden Schicht derart durchgeführt wird, dass eine angepasste Vertiefung (VV) im Bereich der Vertiefung (V) verbleibt;

e33) mittels eines anisotropen Ätzverfahrens die elektrisch leitende Schicht (1) zumindest bis zur Oberfläche der Hilfsschicht (I) zurückgeätzt wird; und

e34) mittels eines anisotropen Ätzverfahrens die Hilfsschicht (I) im Wesentlichen bis zum Bodenbereich der angepassten Vertiefung (VV) zurückgeätzt wird.

20. Verfahren nach einem der Patentansprüche 8 bis 19, da d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass in Schritt f) eine einfache oder mehrfache wasserstoffgesättigte, amorphe Halbleiterschicht auf der ersten Elektrode (1) mit der Feldverstärkerstruktur (4; 4A, 4B) abgeschieden wird.

21. Verfahren nach einem der Patentansprüche 8 bis 20, da d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass in Schritt g) eine Cr-, Au-, Al-, Cu-, NiCr-, Ag-, Ni-, Mo-, V-, Co-, Fe-, W- oder Mn-Schicht als zweite Elektrode (3) abgeschieden wird.

22. Speicherelementanordnung mit einer Vielzahl von matrixförmig angeordneten nichtflüchtigen Speicherelementen nach einem der Patentansprüche 1 bis 7, die über spaltenförmig angeordnete Bitleitungen (BL) und zeilenförmig angeordnete Wortleitungen (WL) ansteuerbar sind, da d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass eine jeweilige erste Elektrode (1) über einen Diodenübergang (DI) mit einer jeweiligen in einem Halbleitersubstrat (T) ausgebildeten Wortleitung (WL) elektrisch verbunden ist und eine jeweilige zweite Elektrode (3) zum Ausbilden einer jeweiligen Bitleitung (BL) streifenförmig an der Oberfläche der Hilfsschicht (I) strukturiert ist.

23. Speicherelementanordnung mit einer Vielzahl von matrixförmig angeordneten nichtflüchtigen Speicherelementen nach einem der Patentansprüche 1 bis 7, die über spaltenförmig angeordnete Bitleitungen (BL) und zeilenförmig angeordnete Wortleitungen (WL) ansteuerbar sind,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass eine jeweilige erste Elektrode (1) über einen ohmschen Übergang mit einer jeweiligen in einem Halbleitersubstrat (T) ausgebildeten Wortleitung (WL) elektrisch verbunden ist, und eine jeweilige zweite Elektrode (3) zum Ausbilden der jeweiligen Bitleitung (BL) streifenförmig an der Oberfläche der Hilfsschicht (I) strukturiert ist.

24. Speicherelementanordnung mit einer Vielzahl von matrixförmig angeordneten nichtflüchtigen Speicherelementen nach einem der Patentansprüche 1 bis 7, die über spaltenförmig angeordnete Bitleitungen (BL) und zeilenförmig angeordnete Wortleitungen (WL) ansteuerbar sind,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass jedes Speicherelement (SE) einen Auswahltransistor (AT) mit einer als Steuerschicht dienenden Wortleitung (WL) und einer als erstes Source-/Draingebiet (S/D) dienenden Bitleitung (BL) im Halbleitersubstrat (T) ausgebildet ist, wobei ein zweites Source-/Draingebiet (S/D) des Auswahltransistors (AT) mit einer ersten Elektrode (1) des Speicherelements (SE) elektrisch verbunden ist und eine jeweilige zweite Elektrode (3) auf einem gemeinsamen Potential liegt.

FIG 1A Stand der Technik

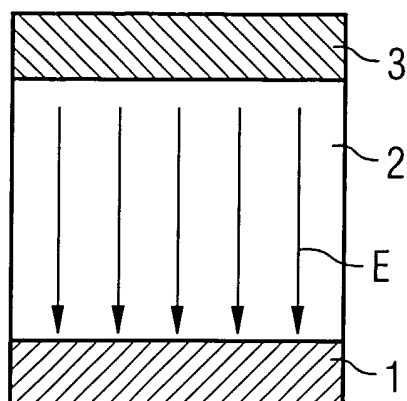


FIG 1B Stand der Technik

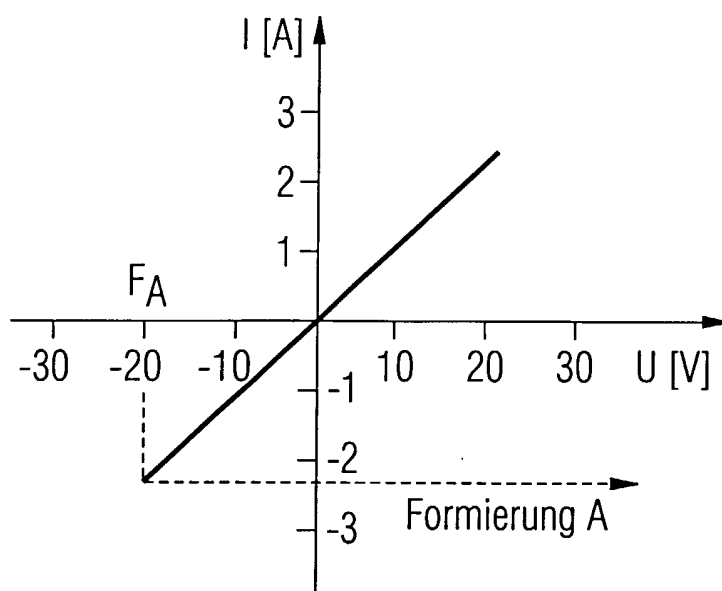


FIG 1C Stand der Technik

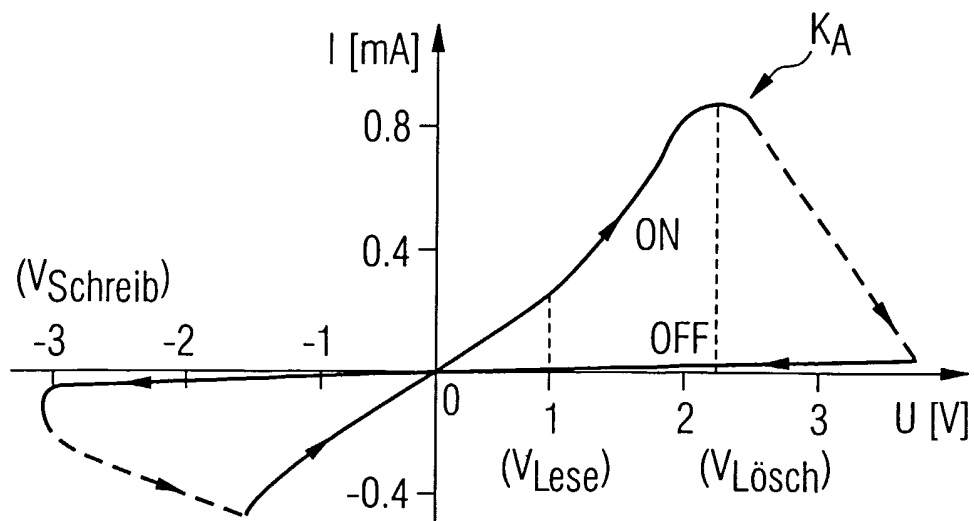


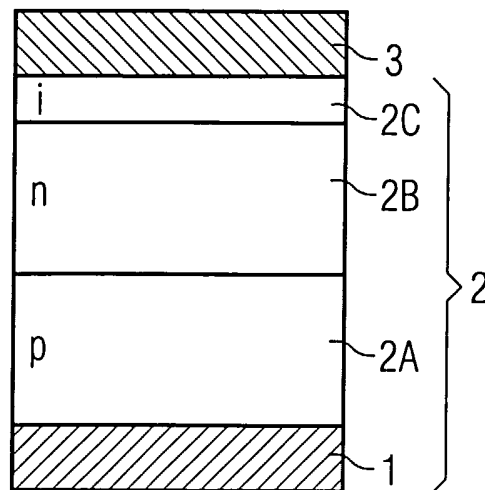
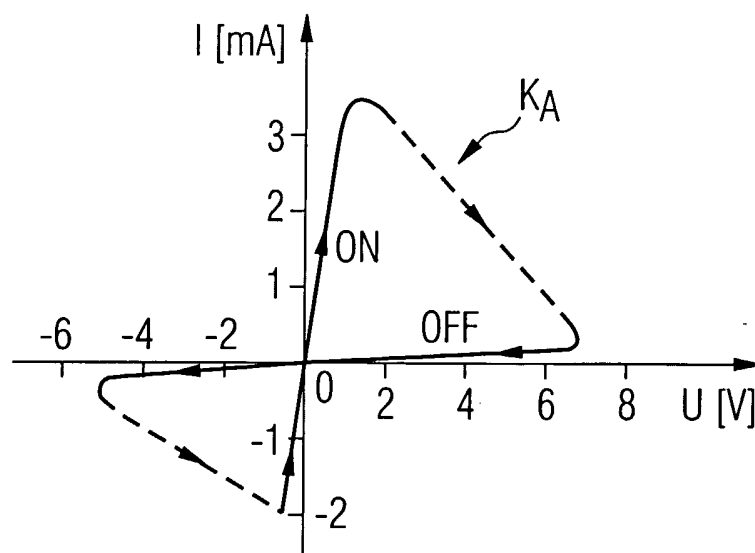
FIG 2A Stand der Technik**FIG 2B** Stand der Technik

FIG 3A

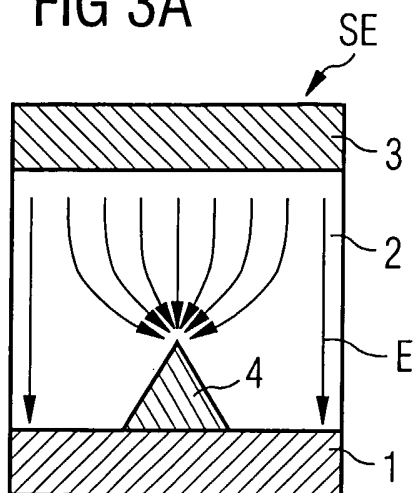


FIG 3B

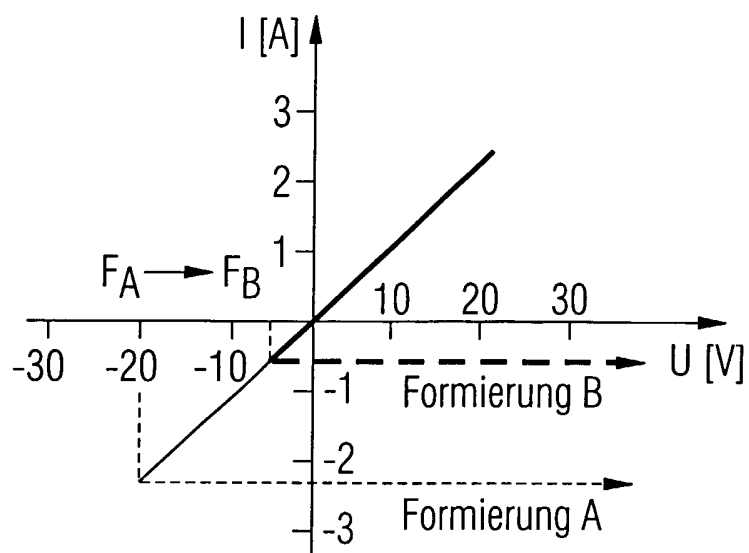


FIG 3C

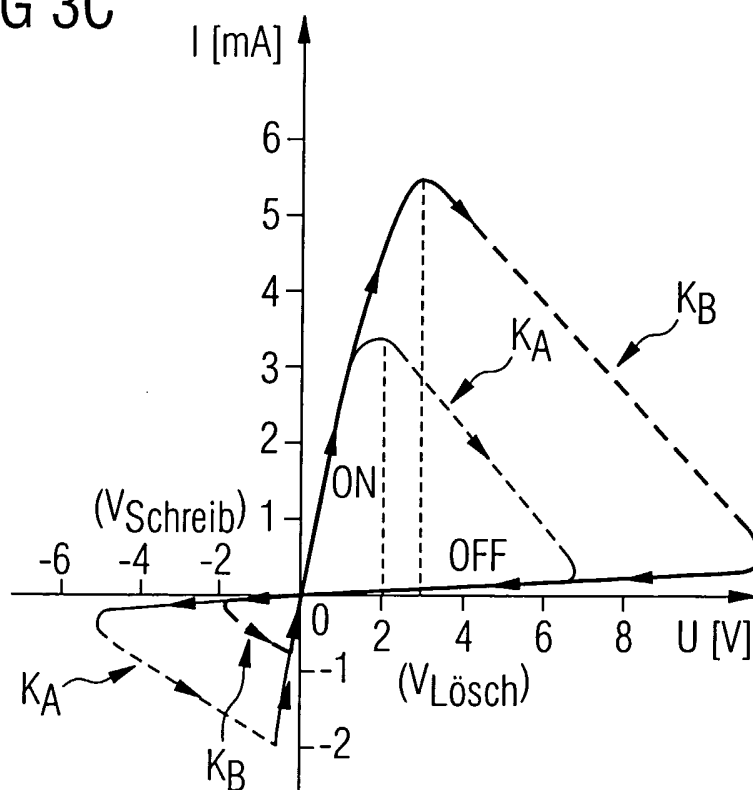


FIG 4A

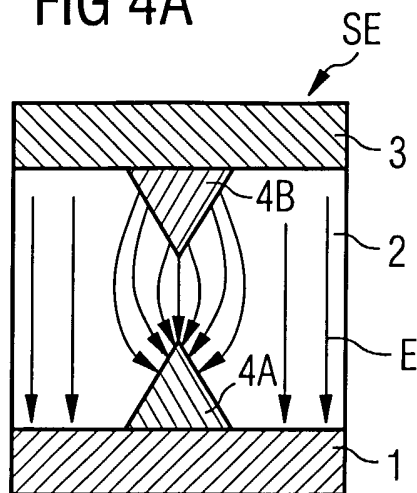


FIG 4B

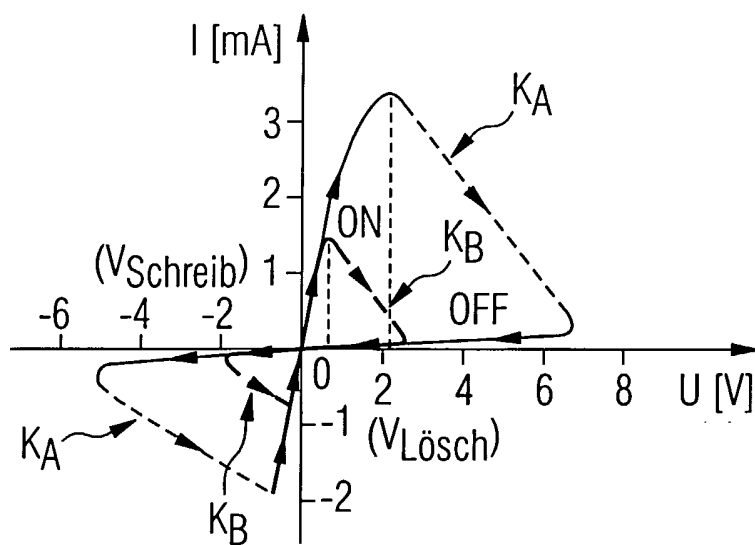


FIG 5A

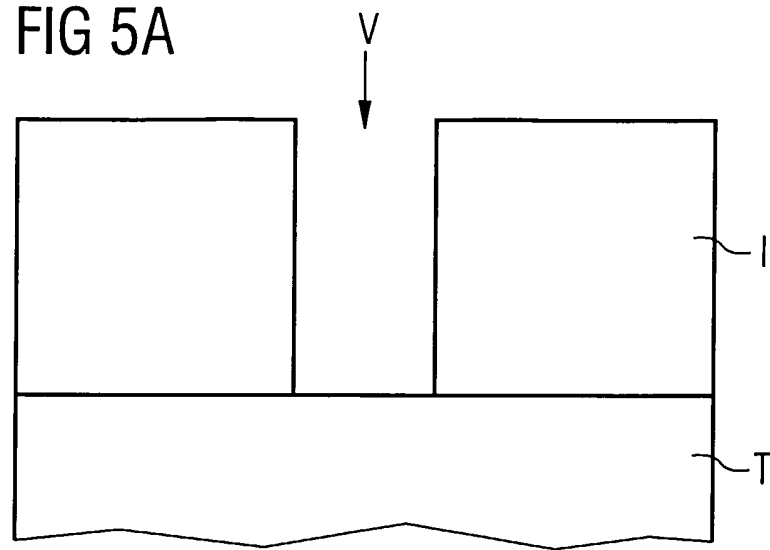
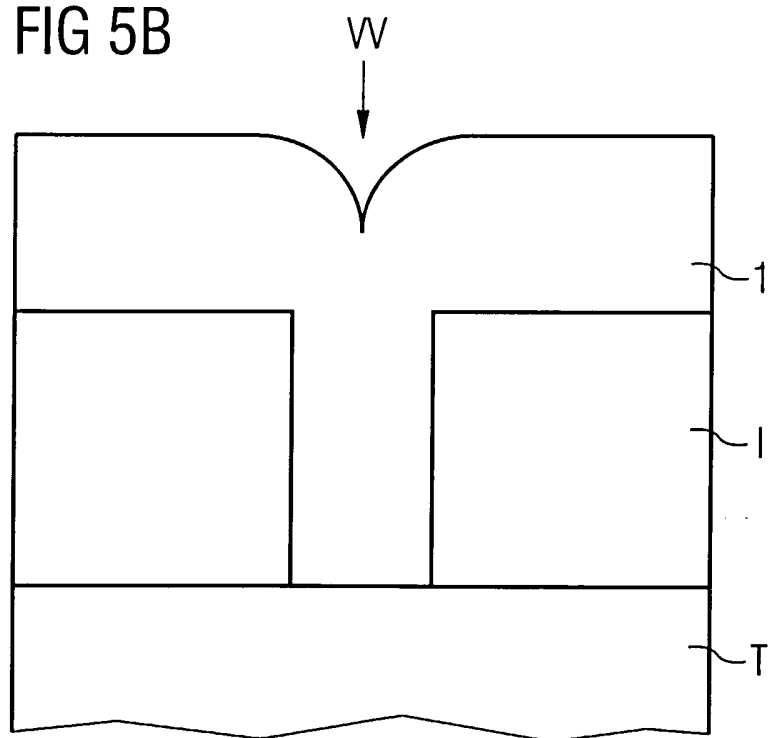


FIG 5B



6/11

FIG 5C

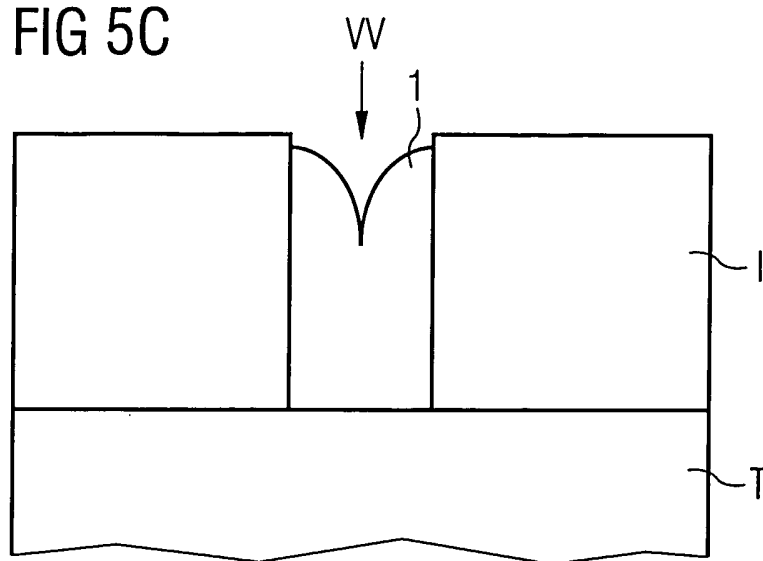


FIG 5D

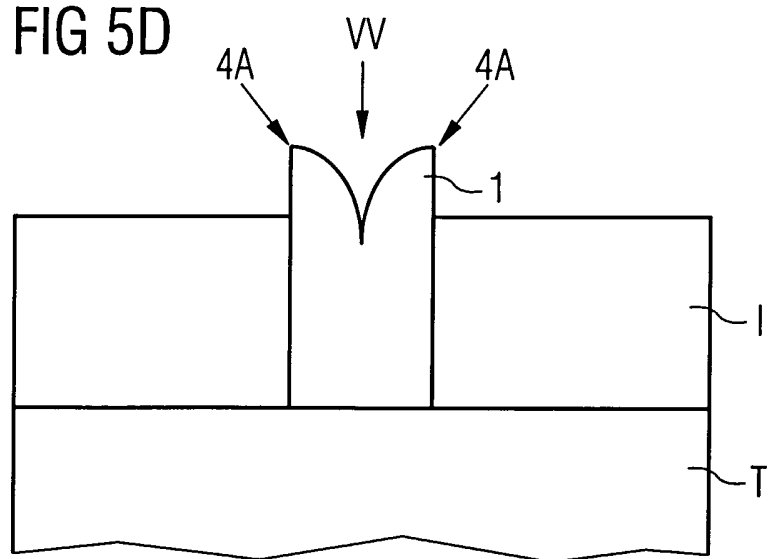
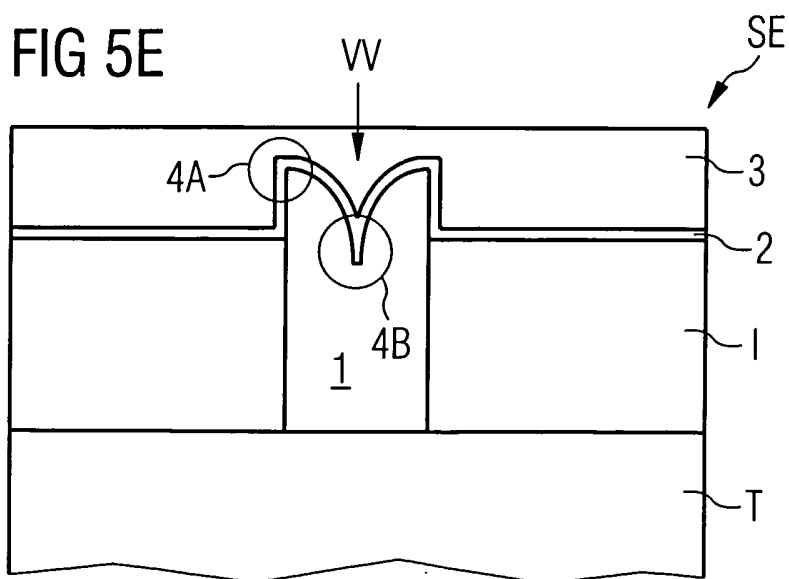


FIG 5E



7/11

FIG 6A

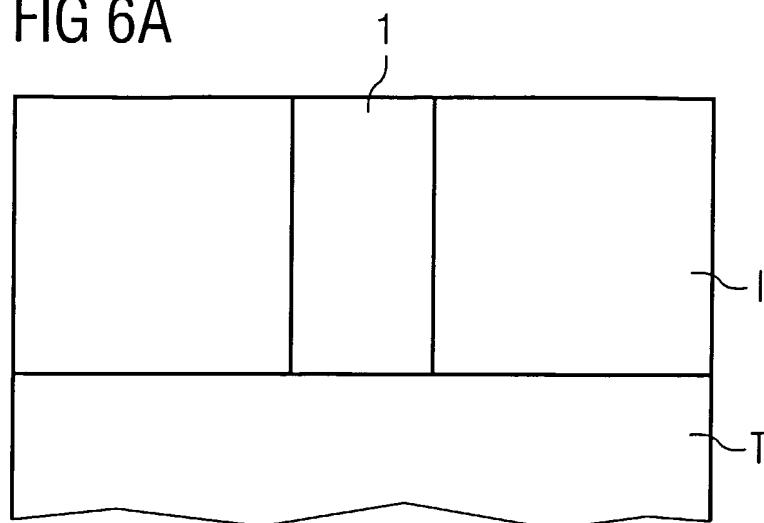


FIG 6B

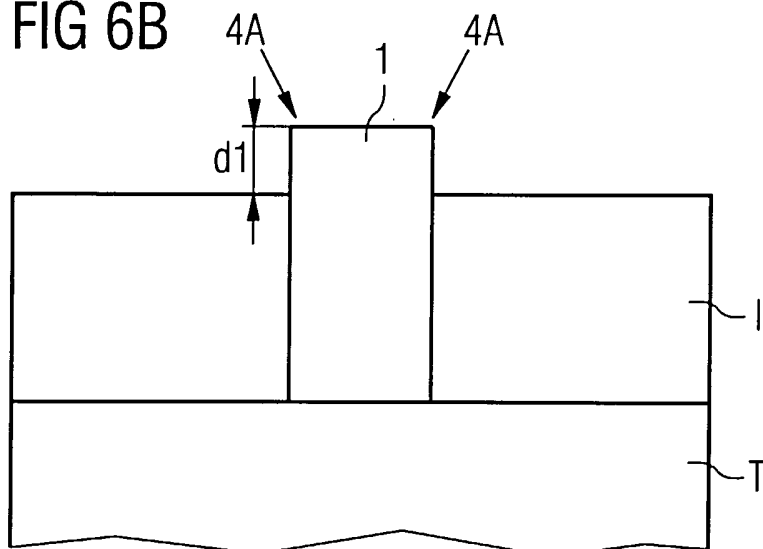


FIG 6C

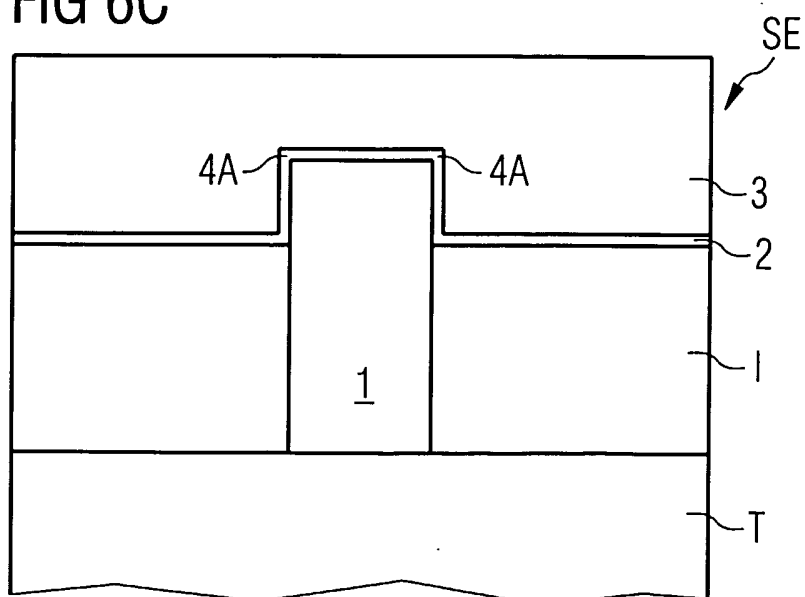


FIG 7A

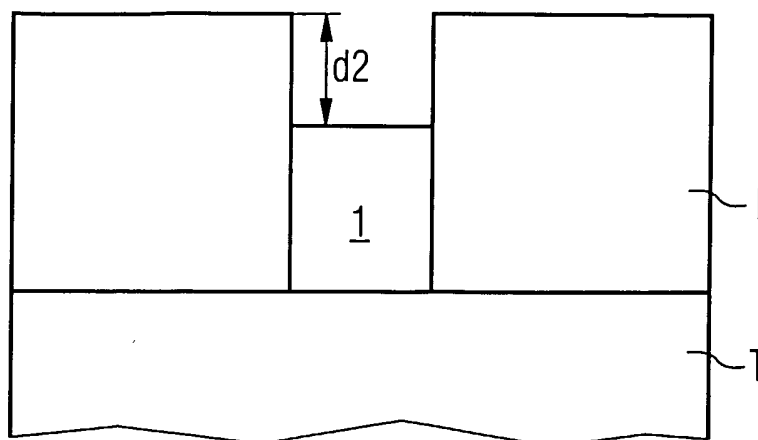


FIG 7B

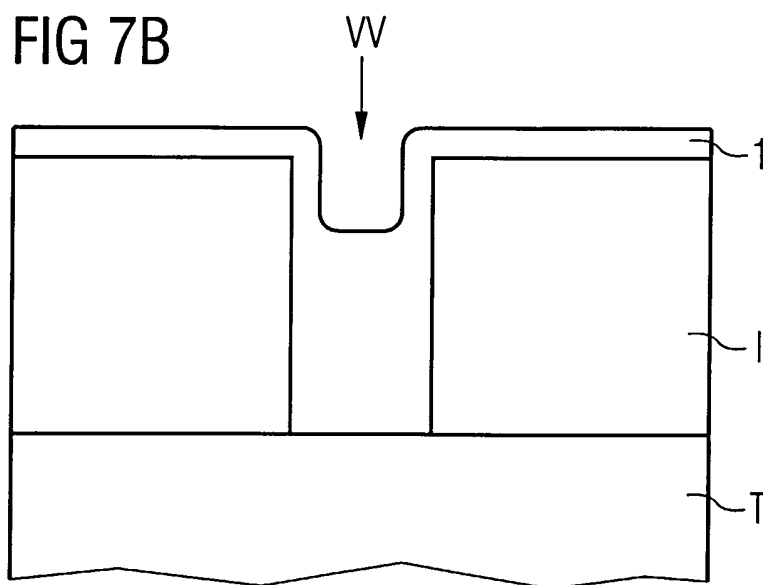
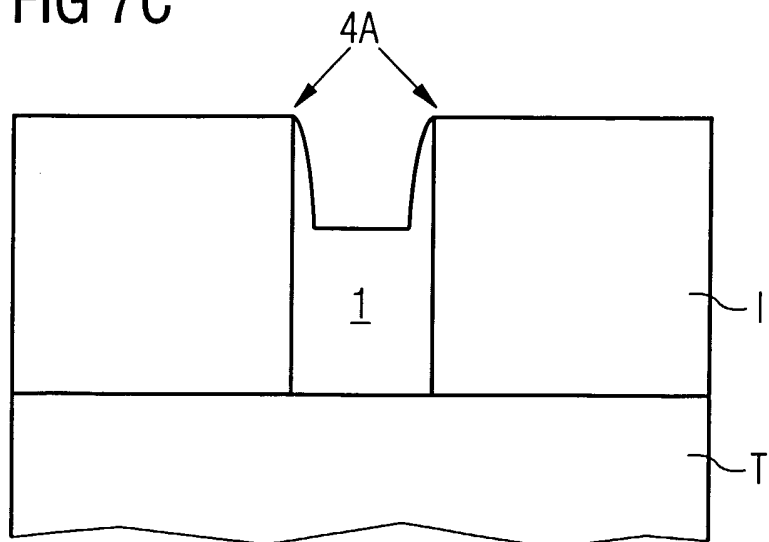


FIG 7C



9/11

FIG 7D

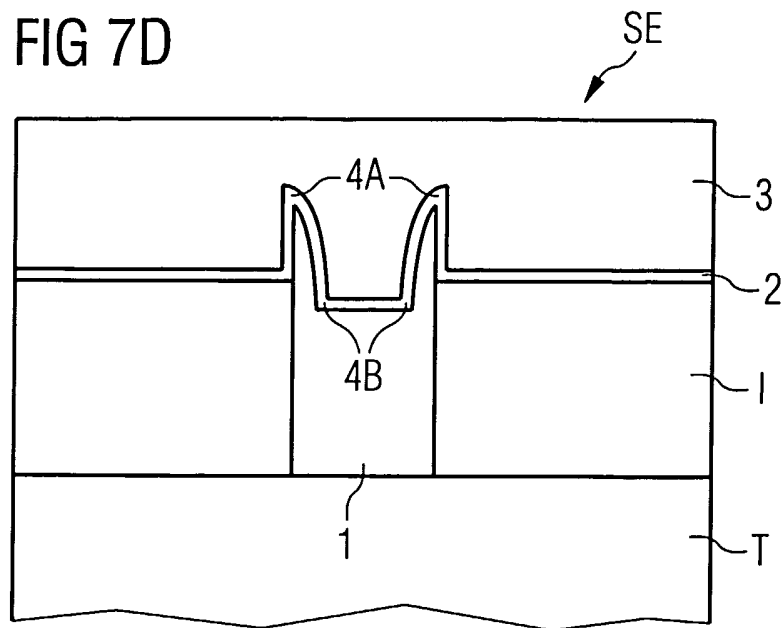


FIG 8A

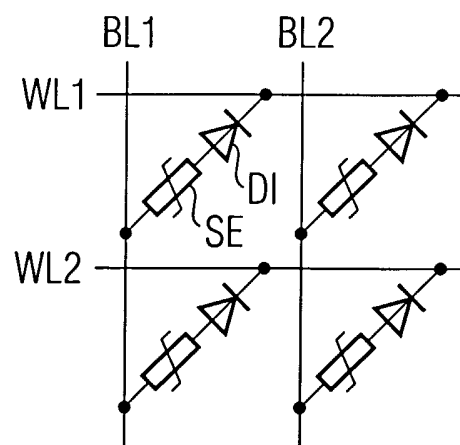
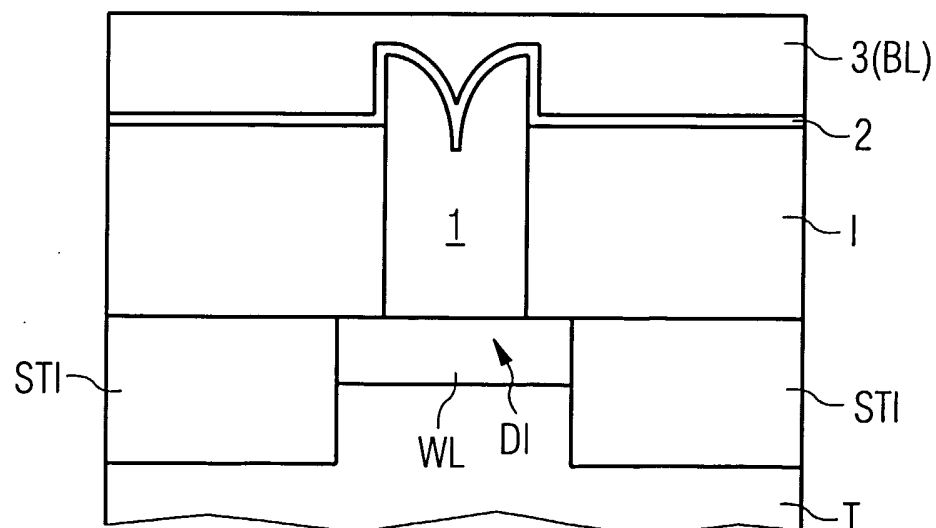


FIG 8B



10/11

FIG 9A

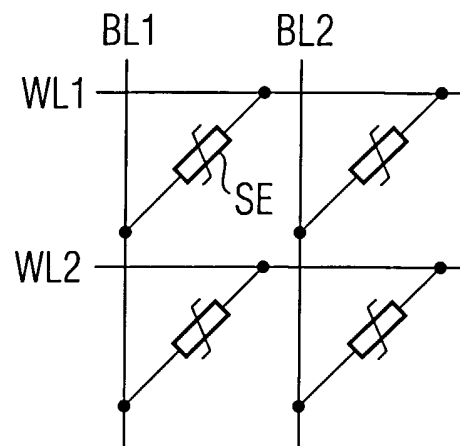
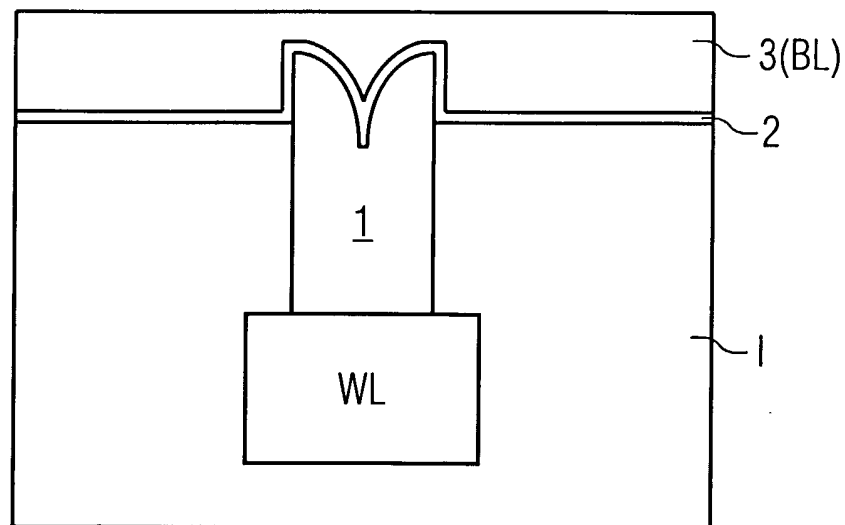


FIG 9B



11/11

FIG 10A

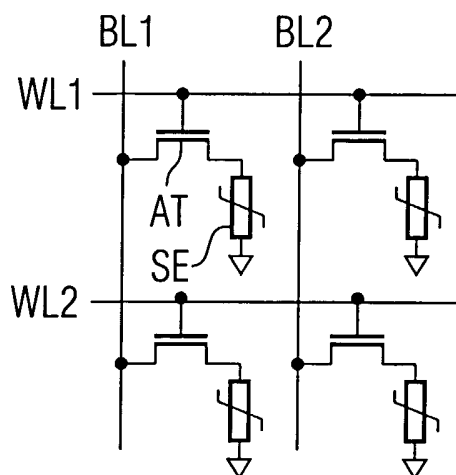


FIG 10B

