



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 696 34 007 T2** 2005.12.29

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 843 901 B1**

(51) Int Cl.⁷: **H01L 45/00**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **696 34 007.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US96/12013**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **96 924 647.9**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 97/005665**

(86) PCT-Anmeldetag: **19.07.1996**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **13.02.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **27.05.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **08.12.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **29.12.2005**

(30) Unionspriorität:

506630 25.07.1995 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:

Energy Conversion Devices, Inc., Troy, Mich., US

(72) Erfinder:

**KLERSY, J., Patrick, Lake Orion, US; STRAND, A.,
David, Oakland County, US; OVSHINSKY, R.,
Stanford, Bloomfield Hills, US**

(74) Vertreter:

PRÜFER & PARTNER GbR, 81545 München

(54) Bezeichnung: **ELEKTRISCH LÖSCHBARER, UNMITTELBAR ÜBERSCHREIBBARER, AUS MULTIBIT-EINZEL-
ZELLEN BESTEHENDER SPEICHER UND DARAUS HERGESTELLTE SPEICHERMATRIX**

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

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

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein ein außergewöhnlich gestaltetes elektrisch und optisch betriebenes, direkt überschreibbares, energiearmes, sehr schnell schaltendes, nichtflüchtiges analoges und Mehrebenen-Festkörper-Einzellen-Betriebsspeicherelement und aus diesen Elementen hergestellte elektrische Speicheranordnungen hoher Dichte. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung eine neue chemische Zusammensetzung für die Kontaktschichten, die ein integraler Bestandteil des Speicherelements sind.

Hintergrund und Stand der Technik

[0002] Der Ovonic-EEPROM ist eine neue, gesetzlich geschützte, nichtflüchtige elektronische Dünnschicht-Hochleistungs-Speichereinheit. Zu seinen Vorzügen gehören die nichtflüchtige Speicherung von Daten, das Potential für eine hohe Bitdichte und somit niedrige Kosten aufgrund seiner kleinen Anschlussfläche und seiner einfachen zweipoligen Bauelementkonfiguration, ein lange Neuprogrammierungs-Zykluslebensdauer, niedrige Programmierungsenergien und eine hohe Geschwindigkeit. Der Ovonic-EEPROM kann Informationen sowohl in analoger als auch in digitaler Form speichern. Die digitale Speicherung kann entweder binär (ein Bit je Speicherzelle) oder in mehreren Zuständen (mehrere Bits je Zelle) erfolgen. Es sind nur geringfügige Modifikationen erforderlich, um zwischen den beiden digitalen Betriebsarten umzuschalten. Im Sinne der vorliegenden Erfindung werden die Begriffe „Speicherelemente“ und „Steuerelemente“ synonym verwendet.

FRÜHER ELEKTRISCHER PHASENUMWANDLUNGSSPEICHER

[0003] Der allgemeine Gedanke der Nutzung elektrisch beschreibbarer und löschbarer Speicherstoffe (d. h. Stoffe, die zwischen im Großen und Ganzen amorphen und im Großen und Ganzen kristallinen Zuständen elektrisch umgeschaltet werden können) für elektronische Speicheranwendungen ist auf dem Fachgebiet bekannt, wie beispielsweise in dem US-Patent Nr. 3.271.591, das Ovshinsky am 06.09.1966 erteilt wurde, und in dem US-Patent Nr. 3.530.441, das Ovshinsky am 22.09.1970 erteilt wurde, offenbart ist, die beide auf den gleichen Rechtsnachfolger wie den der vorliegenden Erfindung übertragen sind und deren Beschreibungen hiermit im Rahmen dieser Anmeldung vollumfänglich als geoffenbart gelten (nachstehend als „Ovshinsky-Patente“ bezeichnet).

[0004] Wie in den Ovshinsky-Patenten beschrieben ist, können solche Speicherstoffe zwischen Strukturzuständen von im Großen und Ganzen amorpher und im Großen und Ganzen kristalliner lokaler Ordnung oder zwischen verschiedenen nachweisbaren Zuständen lokaler Ordnung über das gesamte Spektrum zwischen vollständig amorphen und vollständig kristallinen Zuständen elektrisch umgeschaltet werden. Das heißt, die Ovshinsky-Patente beschreiben, dass das elektrische Umschalten solcher Stoffe nicht zwischen vollständig amorphen und vollständig kristallinen Zuständen stattfinden muss, sondern vielmehr in inkrementalen Schritten erfolgen kann, die Änderungen lokaler Ordnung widerspiegeln, um eine „Grauskala“ zu schaffen, die durch eine Vielzahl von Zuständen lokaler Ordnung verkörpert wird, die das Spektrum zwischen den vollständig amorphen und den vollständig kristallinen Zuständen umfassen. Die von den Ovshinsky-Patenten beschriebenen frühen Stoffe könnten also gegebenenfalls zwischen genau den beiden Strukturzuständen von im Großen und Ganzen amorpher lokaler Ordnung und im Großen und Ganzen kristalliner lokaler Ordnung umgeschaltet werden, um die Speicherung und den Abruf von einzelnen Bits von codierten binären Informationen zu ermöglichen.

[0005] Die in den Ovshinsky-Patenten beschriebenen elektrisch löschbaren Speicherstoffe sowie spätere elektrische Festkörperspeicher hatten mehrere Beschränkungen: (I) eine (nach heutigen Standards) relativ niedrige elektrische Schaltgeschwindigkeit, insbesondere beim Schalten in Richtung der größeren lokalen Ordnung (in Richtung der zunehmenden Kristallisation); (II) einen relativ hohen Eingangsenergiebedarf, der zum Auslösen einer nachweisbaren Änderung der lokalen Ordnung erforderlich war; und (III) relativ hohe Kosten je Megabyte gespeicherte Informationen (insbesondere im Vergleich mit heutigen Festplattenlaufwerksmedien).

[0006] Die wichtigste dieser Beschränkungen ist die relativ hohe Energiezufuhr, die erforderlich war, um nachweisbare Änderungen der chemischen und/oder elektronischen Bindungskonfigurationen des Chalcogenid-Materials zu erhalten, um eine nachweisbare Änderung der lokalen Ordnung auszulösen. Ebenfalls von Bedeutung waren die Schaltzeiten der elektrischen Speicherstoffe, die in den Ovshinsky-Patenten beschrieben sind. Für diese Stoffe wurden normalerweise Zeiten im Bereich einiger Millisekunden für die Einstellzeit

(die Zeit, die benötigt wird, um den Stoff vom amorphen in den kristallinen Zustand umzuschalten) und ungefähr eine Mikrosekunde für die Rückstellzeit (die Zeit, die benötigt wird, um den Stoff vom kristallinen zurück in den amorphen Zustand zu schalten) benötigt. Die für das Umschalten dieser Stoffe benötigte elektrische Energie lag in der Regel bei etwa einem Mikrojoule.

[0007] Es ist zu beachten, dass diese Energiemenge jedem der Speicherelemente in der Festkörpermatrix von Reihen und Spalten von Speicherzellen zugeführt werden muss. Solche hohen Energieniveaus führen dazu, dass die Adressenleitungen und die Zellentrennungs-/Adressvorrichtung, die mit jedem diskreten Speicherelement verbunden ist, eine hohe Strombelastbarkeit haben müssen. Unter Berücksichtigung dieses Energiebedarfs wäre die Wahl von Speicherzellen-Trennelementen für einen Fachmann auf sehr große Einkristalldioden- oder -transistor-Trennelemente beschränkt, was die Anwendung der Lithographie im Mikrometer-Bereich und somit eine hohe Packungsdichte von Speicherelementen unmöglich macht. So würden die geringen Bitdichten von Matrix-Anordnungen aus diesem Material zu hohen Kosten je Megabyte gespeicherte Informationen führen.

[0008] Durch Verringern des Preis- und Leistungsunterschieds zwischen nichtflüchtigem Archiv-Massenspeicher und schnellem flüchtigen Systemspeicher ermöglichen die Speicherelemente der vorliegenden Erfindung ein neues nichthierarchisches „Universalspeichersystem“. Eigentlich der gesamte Speicher in dem System kann ein kostengünstiger und schneller Archivspeicher sein. Im Vergleich zu ursprünglichen elektrischen Ovs-hinsky-Phasenumwandlungsspeichern bieten die hier beschriebenen Speicherstoffe eine um sechs Größenordnungen kürzere Programmierungszeit (weniger als 30 Nanosekunden) und verbrauchen extrem wenig Programmierungsenergie (weniger als 0,1 bis 2 Nanojoule) bei nachgewiesener Langzeitstabilität und Zykluslebensdauer (über 10 Billionen Zyklen). Außerdem zeigen Versuchsergebnisse, dass weitere Verringerungen der Elementgröße die Schaltgeschwindigkeiten und Zykluslebensdauer vergrößern können.

[0009] Eine vor kurzem entwickelte Speichereinheit ist der elektrische Metall/amorphes Silicium/Metall-Speicherschalter (MSM-Speicherschalter) [siehe Rose et al., „Amorphous Silicon Analogue Memory Devices“ („Analoge Speichereinheiten aus amorphem Silicium“), Journal of Non-Crystalline Solids, 115 (1989), S. 168–170, und Hajto et al., „Quantized Electron Transport in Amorphous Silicon Memory Structures“ („Quantisierter Elektronentransport in Speicherstrukturen aus amorphem Silicium“), Physical Review Letters, Jg. 66, Nr. 14, 08.04.1991, S. 1981–1921]. Dieser MSM-Schalter wird durch die Aufdampfung speziell ausgewählter Metallkontakte auf jeder Seite einer p-leitenden Dünnschicht aus amorphem Silicium (a-Si) hergestellt. Die Bedeutung der Wahl der Metallkontakt-Materialien wird später erörtert. MSM-Speicherschalter werden als Schalter beschrieben, die ein relativ schnelles (10–100 ns) analoges Schaltverhalten für Spannungsimpulse von 1–5 Volt zeigen, wodurch ein Widerstandsbereich von etwa 10^3 bis etwa 10^6 Ohm ermöglicht wird, auf den sie nichtflüchtig eingestellt werden können. Wie Fachleuten sofort klar sein dürfte, weisen die MSM-Speicherschalter von Rose et al. und Hajto et al. zwar ähnliche elektrische Schalteigenschaften (d. h. Schaltzeiten, Schaltenergien und resultierende Gerätwiderstände) wie die elektrischen Schalteigenschaften der Speicherelemente der vorliegenden Erfindung auf, aber es gibt tatsächlich signifikante Betriebsunterschiede zwischen beiden.

[0010] Der signifikanteste elektrische Schaltunterschied liegt in dem Unvermögen der MSM-Speicherschalter, direkt überschrieben zu werden. Das heißt, die MSM-Schalter können nicht direkt bidirektional von einem Widerstand in dem analogen Bereich von Widerständen auf einen anderen Widerstand in diesem Bereich moduliert werden, ohne zunächst gelöscht zu werden (auf einen bestimmten Anfangswiderstand oder „Anfangszustand“ eingestellt zu werden). Insbesondere muss der MSM-Schalter zunächst auf den Zustand hohen Widerstands eingestellt (gelöscht) werden, bevor dieser Schalter auf einen anderen Widerstandswert in dem analogen Bereich eingestellt werden kann. Im Gegensatz dazu brauchen die erfindungsgemäßen Speicherelemente nicht gelöscht zu werden, bevor sie auf einen anderen Widerstand in dem Bereich eingestellt werden, d. h., sie sind direkt überschreibbar.

[0011] Ein weiterer signifikanter Unterschied in den elektrischen Schalteigenschaften, der zwischen den MSM-Speicherschaltern von Rose et al. und Hajto et al. einerseits und den elektrischen Speicherelementen der vorliegenden Erfindung andererseits besteht, ist das bipolare Verhalten der MSM-Schalter. Wie von Rose et al. beschrieben, müssen die MSM-Schalter mittels elektrischer Impulse entgegengesetzter Polarität aus den zum Schreiben verwendeten Impulsen gelöscht werden. Wichtig ist, dass bei den erfindungsgemäßen Speicherelementen diese Umkehrung der Polarität des angewendeten Impulses nicht erforderlich ist, gleichgültig, ob die erfindungsgemäßen Speicherelemente für das digitale oder analoge Umschalten verwendet werden.

[0012] Diese Unterschiede in den elektrischen Schalteigenschaften zwischen den MSM-Schaltern und den erfindungsgemäßen Speicherelementen deuten auf die grundlegenden Unterschiede in den Schaltmechanis-

men hin, die die Physik des Betriebs der beiden Einheiten kennzeichnen. Die elektrischen Schalteigenschaften der MSM-Speicherschalter hängen entscheidend von dem/den speziellen Metallen ab, aus dem/denen die Kontakte hergestellt sind. Das liegt daran, dass diese MSM-Schalter einen „Formgebungs“prozess sehr hoher Energie erfordern, in dem Metall von mindestens einem der Kontakte in den Schaltkörper transportiert und dort als integraler Bestandteil geformt wird. Bei diesem Prozess wird eine Vielzahl (mindestens 15 in [Fig. 1](#) der Schrift von Rose et al.) von progressiv ansteigenden 300-ns-Impulsen von 5–15 Volt verwendet, um den Schalter herzustellen. Rose et al. erklären: „... Es sind Röntgenfeinstruktur-Untersuchungen der Bauelemente durchgeführt worden, und es ist festgestellt worden, dass das obere Elektrodenmaterial in einen faserigen Bereich des a-Si eingebettet ist. Das lässt vermuten, dass das obere Metall in der Faser verteilt wird, und das kann eine Rolle im Schaltmechanismus spielen. ...“ Rose et al. stellen außerdem ausdrücklich fest, dass der dynamische Bereich der verfügbaren Widerstände von dem Metall bestimmt wird, aus dem der obere Elektrodenkontakt besteht. Wie von Rose et al. erklärt wird, ... wird festgestellt, dass sein Wert vollständig (sic!) abhängig von dem oberen Kontakt und vollständig unabhängig von der unteren Metallisierung (sic!) ist, d. h., unabhängig von der unteren Elektrode sind Elektroden-Bauelemente mit Cr an der Oberseite stets digital und Elektroden-Bauelemente mit V an der Oberseite stets analog. Genau in diesem Metallfaserbereich erfolgt die elektrische Umschaltung, und ohne diese Massenwanderung von Metall in das a-Si gäbe es keine Umschaltung (siehe die Schrift von Hajto et al.). Im Gegensatz dazu ist bei den erfindungsgemäßen Speicherelementen keine Wanderung des Kontaktmaterials in das Dünnschicht-Speicherelement erforderlich, um eine schnelle energiearme analoge Speicher-Umschaltung mit direkter Überschreibung zu erreichen. Bei der Herstellung der erfindungsgemäßen Speicherelemente wird darauf geachtet, eine Diffusion von Metall von einer Elektrode in das Chalcogenid-Material zu vermeiden.

[0013] Die MSM-Speicherschalter kommen nicht als Modulator mit freier Ladungskonzentration in Frage. Diese Schalter stützen sich einfach auf die Erzeugung eines fadenförmigen metallischen Pfades durch das amorphe Siliciummaterial, um einen Bereich von spezifischen Widerständen in fast der gleichen Weise zu erhalten, wie ein modulierter Schalter zum Regeln des Flusses des elektrischen Stroms verwendet wird. Es wird ein Perkolationspfad geschaffen, dessen Durchmesser vergrößert oder verkleinert werden kann, um seinen spezifischen Widerstand zu ändern. Der Schaltprozess ist nicht mit einer Bewegung der Fermi-Niveau-Position verbunden. Man braucht sich nicht auf eine Änderung der Aktivierung des Halbleitermaterials zu berufen, um den Betrieb zu erklären. Es liegt keine Bewegung einzelner Paare von nichtbindenden Elektronen im Atommaßstab vor. Die Größe der Kristallite und ihr Oberflächen-Volumen-Verhältnis sind nicht wichtig. Aber am wichtigsten ist, dass Rose et al. und Hajto et al. in den Zellen ihres Speichermaterials gespeicherte Informationen nicht direkt überschreiben können. Beim MSM-Schalter müssen gespeicherte Informationen gelöscht werden, bevor neue Informationen geschrieben werden können.

[0014] Kein Festkörperspeichersystem, das vor der vorliegenden Erfindung entwickelt wurde, ist preisgünstig, leicht herstellbar, nichtflüchtig, mit geringen Eingangsenergien elektrisch beschreibbar und direkt löschar (überschreibbar), zur Mehrbitspeicherung in einer einzigen Zelle in der Lage (hatte eine Grauskala) und zu einer sehr hohen Packungsdichte fähig gewesen. Da das nachstehend beschriebene Speichersystem auf alle Mängel bekannter Speichersysteme eingeht, wird es sofort breite Verwendung als universeller Ersatz für nahezu alle Arten von Computerspeichern finden, die zurzeit auf dem Markt sind. Es wurde bereits erwähnt, dass ein wichtiger Aspekt bei der Gestaltung und Herstellung der vorliegenden Erfindung die Vermeidung der Diffusion und Elektromigration von metallischem Elektrodenmaterial in das Chalcogenid-Speichermaterial ist. Frühere Ausführungsformen des Ovonic-EEPROM beinhalteten zwei Dünnschichtschichten aus Kohlenstoff, die angrenzend an die Ober- und Unterseite des Chalcogenid-Speichermaterials aufgebracht waren. Eine wichtige Rolle, die der Kohlenstoff spielte, war die einer Diffusionssperre, die vermeidet, dass Fremdstoff in das Chalcogenid gelangt. Obwohl er gute Diffusionssperreigenschaften hat, bereitet Kohlenstoff leider verschiedene Probleme, wenn er als Material während bestimmter Halbleiter-Herstellungsverfahren eingesetzt wird. Wenn beispielsweise ein Kohlenstoff-Target während der Zerstäubungsbeschichtung verwendet wird, können Kohlenstoff-Staubteilchen eine Quelle der Bauelemente- und Vorrichtungsverunreinigung werden. Ebenso können, wenn Kohlenstoff Bestandteil eines Halbleiter-Bauelements ist, das einem trockenen Resistablösungsverfahren unterzogen wird, die freigelegten Kohlenstoffschichten durch das gleiche Sauerstoffplasma entfernt werden, das zum Entfernen des Photoresistmaterials verwendet wird, was das Verfahren ungeeignet macht. Aufgrund dieser Probleme hat Kohlenstoff in der Halbleiterbranche keinen guten Ruf als günstiges Material für die Bauelementherstellung. Es muss daher ein geeigneter Ersatzstoff gefunden werden, der die notwendigen Eigenschaften für den richtigen Betrieb von Ovonic-EEPROM-Bauelementen hat und gleichzeitig besser vereinbar mit Halbleiter-Bearbeitungsverfahren ist, die dem neuesten Stand der Technik entsprechen.

[0015] Verwiesen sei auf US 5.406.509, dessen Inhalt hiermit im Rahmen der vorliegenden Erfindung vollumfänglich als offenbart gilt.

Kurze Darstellung der Erfindung

[0016] Die vorliegende Erfindung stellt ein elektrisch betriebenes, direkt überschreibbares Einzellen-Speicherelement bereit, das Folgendes aufweist:
 einen Datenträger aus Speichermaterial, das durch Anlegen eines elektrischen Eingangssignals auf einen einer Vielzahl von Widerstandswerten in einem dynamischen Bereich von Widerstandswerten ungeachtet des vorhergehenden Widerstandswerts des Speichermaterials einstellbar ist; und
 ein Paar mit Abstand angeordnete Kontakte zum Bereitstellen des elektrischen Eingangssignals, um das Speichermaterial auf einen gewählten Widerstandswert in dem dynamischen Bereich einzustellen, wobei jeder der mit Abstand angeordneten Kontakte eine an den Datenträger aus Speichermaterial angrenzende Dünnschicht aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass
 mindestens eine der angrenzenden Dünnschichten eine Verbindung aufweist, die Folgendes enthält:
 ein oder mehr Elemente aus der Gruppe Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta und W und
 zwei oder mehr Elemente aus der Gruppe B, C, N, O, Al, Si, P und S.

[0017] Der Begriff „Verbindung“ kann eine Legierung beinhalten.

[0018] Vorzugsweise besteht mindestens eine der angrenzenden Dünnschicht-Kontaktschichten aus Titancarbo- nitrid oder Titansiliconitrid.

[0019] Jeder der mit Abstand angeordneten Kontakte weist vorzugsweise eine zusätzliche Dünnschicht auf, die entfernt von dem Speichermaterial aufgebracht ist. Die entfernt aufgetragenen Dünnschichten be- stehen aus einem oder mehreren Elementen aus der Gruppe Ti, W, Mo und Gemischen oder Legierungen dar- aus. Vorzugsweise ist jede entfernt aufgetragene Dünnschicht eine Legierung, die aus Ti und W besteht.

[0020] Weitere Ausführungsformen und Merkmale der vorliegenden Erfindung sowie deren weitere Vorzüge und Ziele werden in der nachstehenden detaillierten Beschreibung der Erfindung dargelegt und gehen daraus hervor, insbesondere wenn sie in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen betrachtet werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0021] [Fig. 1](#) ist eine Schnittansicht eines einzelnen Speicherelements.

[0022] [Fig. 2](#) ist die Draufsicht einer möglichen Anordnung von mehreren Speicherelementen, die zeigt, wie die Elemente mit einer Gruppe von X-Y-Adressenleitungen verbunden wären.

[0023] [Fig. 3](#) ist eine schematische Darstellung der Speicherelemente von [Fig. 2](#), die außerdem zeigt, wie Trennelemente, wie etwa Dioden, mit den Speicherelementen in Reihe geschaltet sind, um jedes der Bauele- mente von den anderen elektrisch zu trennen.

[0024] [Fig. 4](#) ist eine schematische Darstellung, die ein Einkristall-Halbleitersubstrat mit der in [Fig. 1](#) gezeig- ten integrierten Speichermatrix der vorliegenden Erfindung zeigt, das in elektrischer Verbindung mit einem Chip mit integriertem Schaltkreis steht, auf dem die Adresstreiber/-decodierer wirksam angebracht sind.

[0025] [Fig. 5](#) ist ein Dreiphasendiagramm des Ge-Sb-Te-Legierungssystems, aus dem die erfindungsgemä- ßen Speicherelemente hergestellt sind, wobei das Phasendiagramm einige der mehreren Phasen zeigt, in die sich verschiedene Gemische dieser Elemente bei schneller Erstarrung trennen.

[0026] [Fig. 6](#) zeigt die Atomstruktur-Schichtenbildung von drei ternären Legierungen des Ge-Sb-Te-Systems von [Fig. 5](#) sowie die Atomstruktur des binären Ge-Te-Systems, um die anisotrope Struktur der Systeme zu ver- anschaulichen.

[0027] [Fig. 7](#) ist eine grafische Darstellung von Daten, die die Eigenschaften des Durchlaufens von periodi- schen Vorgängen eines Speicherelements mit an die Oberseite angrenzender Kontaktschicht aus Titancarbo- nitrid und an die Unterseite angrenzender Kontaktschicht aus Kohlenstoff zeigen.

[0028] [Fig. 8](#) ist eine grafische Darstellung von Daten, die die Eigenschaften des Durchlaufens von periodi- schen Vorgängen eines Speicherelements mit an die Oberseite angrenzender Kontaktschicht aus Titansilico- nitrid und an die Unterseite angrenzender Kontaktschicht aus Kohlenstoff darstellen.

[0029] [Fig. 9](#) ist eine grafische Darstellung von Daten, die Mehrzustandsfähigkeiten (d. h. die Fähigkeit des Speicherelements, auf mehrere Widerstandswerte in dem dynamischen Bereich von Widerständen eingestellt zu werden) eines Speicherelements mit an die Oberseite angrenzender Kontaktschicht aus Titancarbonitrid darstellen.

[0030] [Fig. 10](#) ist eine grafische Darstellung von Daten, die Einstell- und Rückstell-Widerstandswerte von Speicheranordnungen mit an die Oberseite angrenzenden Kontaktschichten aus Titancarbonitrid-Material mit vier verschiedenen spezifischen Widerstandswerten darstellen.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0031] Löschbare elektrische Speicher, die aus der großen Klasse von Chalcogenid-Materialien hergestellt werden, haben Strukturänderungen verwendet, die durch Bewegung bestimmter Atomarten in dem Material erzielt werden, um eine Phasenänderung beim Umschalten des Materials vom amorphen in den kristallinen Zustand zu ermöglichen. Beispielsweise bei elektrisch schaltbaren Chalcogenid-Legierungen, die aus Tellur und Germanium bestehen, wie etwa solchen, die zu etwa 80 bis 85% aus Tellur und zu etwa 15% aus Germanium sowie in geringen Mengen von jeweils etwa 1 bis 2% aus bestimmten anderen Elementen, wie etwa Schwefel und Arsen, bestehen, war der geordnetere oder kristalline Zustand normalerweise durch die Bildung einer elektrisch gut leitenden kristallinen Te-Faser in der schaltbaren Pore des Speichermaterials gekennzeichnet. Eine typische Zusammensetzung eines solchen herkömmlichen Materials wäre beispielsweise $\text{Te}_{81}\text{Ge}_{15}\text{S}_2\text{As}_2$ oder $\text{Te}_{81}\text{Ge}_{15}\text{S}_2\text{Sb}_2$. Da Te in seinem kristallinen Zustand so gut leitend ist, wurde durch die Te-Faser ein Zustand eines sehr niedrigen Widerstands in dem geordneteren oder kristallinen Zustand hergestellt, wobei dieser Widerstand mehrere Größenordnungen niedriger als der Widerstand der Pore in dem weniger geordneten oder amorphen Zustand ist.

[0032] Die Bildung der leitfähigen Te-Faser im kristallinen Zustand erforderte jedoch eine Migration der Te-Atome von ihrer Atomkonfiguration im amorphen Zustand zu der neuen lokal konzentrierten Atomkonfiguration im kristallinen Zustand der Te-Faser. Ebenso musste, wenn das Chalcogenid-Fasermaterial in den amorphen Zustand zurückgeschaltet wurde, das Te, das sich in die kristalline Faser abgeschieden hatte, in dem Material von seiner lokal konzentrierten Form in der Faser zurück zu seiner Atomkonfiguration im amorphen Zustand migrieren. Diese atomare Migration, Diffusion oder Umlagerung zwischen dem amorphen und kristallinen Zustand verlangte in jedem Fall eine Halte- oder Verweilzeit ausreichender Länge, um die Migration zu bewerkstelligen, wodurch die erforderliche Schaltzeit und Energie relativ hoch wurden.

[0033] Die Erfinder der vorliegenden Erfindung haben eine bemerkenswerte Verringerung der erforderlichen Schaltzeit und der Energiezufuhr für einen grundlegend anderen Typ von elektrisch löschbarem, direkt überschreibbarem Speicher nachgewiesen, der auf einer neuen Klasse von Chalcogenid-Halbleitermaterialien beruht. Außerdem ermöglichen die Chalcogenid-Materialien das Umschalten in einem breiten dynamischen Bereich stabiler Zustände mit bemerkenswert niedriger Energiezufuhr bei beachtlich hohen Geschwindigkeiten, sodass diese neu entdeckte Klasse von Materialien zur Herstellung besserer elektrischer Speicherelemente verwendet werden kann.

[0034] Insbesondere kann das Speichermaterial zwischen elektrisch nachweisbaren Zuständen unterschiedlichen Widerstands in Nanosekunden-Zeiträumen mit der Zufuhr von Picojoules von Energie umgeschaltet werden [die erforderliche Mindestschaltgeschwindigkeit und Mindestenergie sind zwar noch nicht ermittelt worden, aber Versuchsdaten nach der Einreichung dieser Anmeldung haben gezeigt, dass der elektrische Speicher mit Programmierimpulsen von nur 1 Nanosekunde moduliert (wenn auch nicht optimiert) werden kann]. Dieses Speichermaterial ist nichtflüchtig und erhält die Unversehrtheit der von der Speicherzelle gespeicherten Informationen (in einem gewählten Streubereich) aufrecht, ohne dass periodische Auffrischsignale erforderlich sind. Im Gegensatz zu vielen anderen Halbleitermaterialien und -systemen, die bisher für Speicher-Anwendungen beschrieben wurden, können das Halbleiter-Speichermaterial und die Halbleiter-Speichersysteme der vorliegenden Erfindung direkt überschrieben werden, sodass die diskreten Speicherelemente nicht gelöscht (auf einen festgelegten Ausgangspunkt eingestellt) werden müssen, um dort gespeicherte Informationen zu ändern. Das beachtlich schnelle und energiearme Umschalten auf einen der verschiedenen Widerstandswerte kann dem Umstand zugeschrieben werden, dass das Umschalten erfolgt, ohne dass eine starke Atom-Umlagerung des Schaltmaterials notwendig ist.

[0035] Das Speichermaterial besteht aus einer Vielzahl von Atom-Elementarbestandteilen, die jeweils in dem gesamten Datenträger aus Speichermaterial vorhanden sind. Die Vielzahl der Atom-Elementarbestandteile beinhaltet vorzugsweise mindestens ein Chalcogen-Element und kann mindestens ein Übergangsmetall-Ele-

ment beinhalten. Der hier verwendete Begriff „Übergangsmetall“ beinhaltet die Elemente **21 bis 30, 39 bis 48, 57 und 72 bis 80**. Noch mehr bevorzugt, beinhaltet die Vielzahl von Atom-Elementarbestandteilen, die den Datenträger aus Speichermaterial bilden, Elemente aus der Gruppe Te, Se, Ge, Sb, Bi, Pb, Sn, As, S, Si, P, O und Gemische oder Legierungen daraus. Noch mehr bevorzugt, beinhaltet das Übergangsmetall Cr, Fe, Ni und Gemische oder Legierungen daraus, und das Chalcogen-Element beinhaltet Te und Se. Am besten ist das Übergangsmetall Ni. Spezielle Beispiele für diese Mehrelement-Systeme sind nachstehend für das Te-Ge-Sb-System mit oder ohne Ni und/oder Se angegeben.

[0036] Ungeachtet der Erläuterung der Art und Weise, in der die Programmierung erfolgt, stellt die vorliegende Erfindung eine Kombination aus nützlichen elektrischen Schalteigenschaften bereit, die nie zuvor in einem einzelnen Speicherelement verfügbar gewesen sind.

[0037] Die speziellen Halbleiter-Legierungen, die bei der Herstellung der Speicher-Bauelemente verwendet werden, enthalten Chalcogenid-Elemente, die wegen des Vorhandenseins von „Einzelpaar“-Elektronen besonders beachtet werden. Daher muss der Einfluss dieser Einzelpaar-Elektronen in vorhandenen chemischen Bindungskonfigurationen erörtert werden. Einfach gesagt, ist ein Einzelpaar ein Paar von Elektronen in der Valenzschale eines Atoms, das normalerweise nicht an der Bindung beteiligt ist. Solche Einzelpaar-Elektronen sind sowohl in Bezug auf die Struktur als auch chemisch von Bedeutung. Sie beeinflussen die Form von Molekülen und Kristallgitterstrukturen, indem sie starke Abstoßungskräfte auf benachbarte Elektronenpaare, die an Bindungskonfigurationen beteiligt sind, und auch auf andere Einzelpaare ausüben. Da Einzelpaar-Elektronen nicht durch einen zweiten Kern an einen Bindungsbereich gebunden sind, können sie energiearme Elektronenübergänge beeinflussen und an ihnen mitwirken. Wie erstmals von Ovshinsky dargelegt wurde, können die Einzelpaare eine 1- und 3-Mittelbindung haben, und wie von Kastner, Adler und Fritsche nachgewiesen wurde, haben sie Valenzwechselpaare.

[0038] Insbesondere haben die hier beschriebenen Tellur-Legierungen ein Valenzband, das aus Einzelpaarzuständen besteht. Da in Te vier p-Schalen-Elektronen vorhanden sind und das Te-Atom durch zwei dieser Bindungselektronen in der p-Schale chemisch gebunden ist, werden die anderen beiden äußeren Elektronen (das Einzelpaar) nicht für Bindungszwecke genutzt und ändern somit die atomare Energie des Systems nicht wesentlich. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass das höchste besetzte Molekülorbital das Orbital ist, das die Einzelpaar-Elektronen enthält. Das ist wichtig, da in einem idealen stöchiometrischen Kristall aus Tellur- und Germanium-Atomen bei Einwirkung einer bestimmten inneren Spannung in dem Gitter, aus dem der Kristallit besteht, das Valenzband breiter werden kann und sich nach oben zu der Position des dann vorhandenen Fermi-Niveaus bewegen kann. Te-Ge-Kristalle sind jedoch von Natur aus „selbstkompensiert“, das heißt, der Kristall will bevorzugt eine Te-reiche (ungefähr 52% Te und 48% Ge) Zusammensetzung annehmen. Der stöchiometrische Kristall ist zwar ein flächenzentrierter Kubus, aber bei Zufuhr einer geringen Energiemenge kann der Kristall eine rhomboedrische Gitterstruktur dadurch annehmen, dass die Anzahl seiner Ge- und/oder Sb-Leerstellen erhöht wird. Es ist diese Schaffung von Leerstellen in der Kristallgitterstruktur, die die Gitterspannung in Te-Ge-Legierungen verringern kann, für die Verringerung des Energiezustands des Materials verantwortlich ist und das Fermi-Niveau zum Valenzband verschiebt.

[0039] Es ist akzeptabel, wenn auch nicht wesentlich, ein amorphes Modell lokaler Ordnung auf ein Nahordnungsmodell lokaler Ordnung mit dem Ziel aufzulegen, eine deskriptive, wenn auch nicht vollkommen prädiktive Erklärung des Atomverhaltens zu erhalten. Beim Betrachten der amorphen Beschaffenheit des Materials ist zu beachten, dass die Dichte der Fehlstellenzustände an den Band-Ausläufern am größten neben den Bandkanten ist, während die Tiefe der Rekombinationszentren für eingefangene Ladungsträger weiter weg von den Bandkanten größer ist. Das Vorhandensein dieser tiefen Haftstellen und Ausläufer-Zustände würde eine mögliche Erklärung für stabile Widerstandswerte zwischen der Fermi-Niveau-Position und der Bandkante darstellen. Ungeachtet der Theorie: Wenn es vollständig kristallin ist, ist das erfindungsgemäße Halbleitmaterial ein entarteter Halbleiter, der eine Metall-ähnliche Leitung zeigt.

[0040] Es wird weiterhin angenommen, dass die Größe der Kristalliten, die in dem kompakten Material des Halbleiter- und Speichermaterials vorhanden sind, relativ klein ist, vorzugsweise weniger als etwa 2000 Å (1 Å = 0,1 nm), besser etwa 50 Å bis 500 Å beträgt und am besten in der Größenordnung von etwa 200 Å bis etwa 400 Å liegt. Außerdem wird angenommen, dass diese Kristallite von einer amorphen Randzone umgeben sind, die zu der raschen Entstehung der zahlreichen Fermi-Niveau-Positionen des Materials, die als unterschiedliche Widerstände (spezifische elektrische Leitfähigkeiten) nachweisbar sind, sowie zu dem geringeren Energiebedarf für die Übergänge zwischen diesen nachweisbaren Widerstandswerten beitragen kann, auf die das Material zuverlässig und wiederholbar eingestellt werden kann.

[0041] Es ist auch festgestellt worden, dass die Modulation der Schalteigenschaften von zwei oder drei End-Halbleiter-Bauelementen, die aus den mikrokristallinen Materialien der vorliegenden Erfindung hergestellt wurden, so gesteuert werden kann, dass die wiederholbaren und nachweisbaren Widerstandswerte erzielt werden können. Es ist herausgefunden worden, dass, damit die erfindungsgemäßen Materialien schnell durch energiearme Eingangssignale auf eine gewünschte Leitfähigkeit (bestimmt durch die Fermi-Niveau-Position) eingestellt werden, diese Materialien lediglich stabil (oder langlebig metastabil) an mindestens zwei verschiedenen Fermi-Niveau-Positionen vorliegen können müssen, die durch im Wesentlichen konstante Bandabstände, aber unterschiedliche elektrische Leitfähigkeiten gekennzeichnet sind. Wie vorstehend dargelegt, wird auch angenommen, dass die relativ geringe Kristallitengröße zu dem raschen Übergang zwischen nachweisbaren Widerstandswerten beitragen kann.

[0042] Eine Eigenschaft der Halbleitermaterialien der vorliegenden Erfindung ist ihre Tendenz zur Bildung mehrerer und kleinerer Kristallite je Volumeneinheit. Es ist gefunden worden, dass die Kristallitengrößen des größten bevorzugten Bereichs typischer Materialien, die die vorliegende Erfindung verkörpern, weit unter etwa 2000 Å und im Allgemeinen unter dem Bereich von etwa 2000 Å bis 5000 Å liegen, der charakteristisch für herkömmliche Materialien war. Die Kristallitengröße wird hier als der Durchmesser der Kristallite oder als ihr „charakteristisches Maß“ definiert, das gleichbedeutend mit dem Durchmesser ist, wenn die Kristallite nicht kugelförmig gestaltet sind.

[0043] Es ist ermittelt worden, dass Zusammensetzungen in dem hochohmigen Zustand der Klasse der Te-GeSb-Materialien, die die Kriterien der vorliegenden Erfindung erfüllen, im Allgemeinen durch wesentlich geringere Konzentrationen von Te gegenüber denen in herkömmlichen elektrisch löschraren Speichermaterialien gekennzeichnet sind. Bei einer Zusammensetzung, die wesentlich bessere elektrische Schalteigenschaften bietet, lag die mittlere Konzentration von Te in den aufgetragenen Materialien weit unter 70%, normalerweise unter etwa 60%, und lag in der Regel in dem Bereich von mindestens etwa 23% bis etwa 58% Te und am besten von etwa 40% bis 58% Te. Die Konzentrationen von Ge lagen über etwa 5% und reichten von einem Minimum von etwa 8% bis zu etwa 30% im Durchschnitt in dem Material, wobei sie im Allgemeinen unter 50% blieben. Der Rest der Haupt-Elementarbestandteile in dieser Zusammensetzung war Sb. Die angegebenen Prozentgehalte sind Atomprozente, die 100% der Atome der Elementarbestandteile ergeben. Somit kann diese Zusammensetzung als $\text{Te}_a\text{Ge}_b\text{Sb}_{100-(a+b)}$ gekennzeichnet werden. Diese ternären Te-Ge-Sb-Legierungen sind nützliche Ausgangsstoffe für die Entwicklung von weiteren Speichermaterialien mit noch besseren elektrischen Eigenschaften.

[0044] Ein Dreiphasendiagramm des Te-Ge-Sb-Systems ist in [Fig. 6](#) gezeigt. Es wurden Schmelzen aus verschiedenen Gemischen von Te, Ge und Sb hergestellt, und die Schmelzen trennten sich bei rascher Erstarrung in mehrere Phasen. Die Analyse dieser rasch erstarrten Schmelzen zeigte das Vorhandensein zehn verschiedener Phasen (die nicht alle in jeder rasch erstarrten Schmelze vorhanden waren). Diese Phasen sind elementares Ge, Te und Sb, die binären Verbindungen GeTe und Sb_2Te_3 und fünf verschiedene ternäre Phasen. Die Elementarzusammensetzungen aller ternären Phasen liegen auf der pseudobinären GeTe-Sb $_2$ Te $_3$ -Linie und sind in dem in [Fig. 6](#) gezeigten Dreiphasendiagramm mit den Bezugsbuchstaben A, B, C, D und E bezeichnet. Die Atomverhältnisse der Elemente in diesen fünf ternären Phasen sind in Tabelle 1 angegeben. Nachstehend wird [Fig. 6](#) näher beschrieben.

Tabelle 1
Beobachtete ternäre kristalline Phasen des Te-Ge-Sb-Systems

<u>Bezeichnung</u>	<u>At-% Ge</u>	<u>At-% Sb</u>	<u>At-% Te</u>
A	40	10	50
B	26	18	56
C	18	26	56
D	14	29	57
E	8	35	56

[0045] Die neuen Speicherelemente der vorliegenden Erfindung enthalten einen Datenträger aus Speicher-material, das vorzugsweise mindestens ein Chalcogen-Element enthält und ein oder mehrere Übergangsmetalle enthalten kann. Die Speichermaterialien, die Übergangsmetalle enthalten, sind elementar modifizierte Formen unserer Speichermaterialien in dem ternären Te-Ge-Sb-System. Das heißt, die elementar modifizierten Speichermaterialien stellen modifizierte Formen der Te-Ge-Sb-Speicherlegierungen dar. Diese elementare Modifikation wird durch die Einlagerung von Übergangsmetallen in das ternäre Te-Ge-Sb-Grundsystem mit

oder ohne ein zusätzliches Chalcogen-Element wie Se erreicht. Im Großen und Ganzen lassen sich die elementar modifizierten Speichermaterialien in zwei Kategorien gliedern.

[0046] Die erste Kategorie ist ein Speichermaterial, das Te, Ge, Sb und ein Übergangsmetall in dem Verhältnis $(\text{Te}_a\text{Ge}_b\text{Sb}_{100-(a+b)})_c\text{TM}_{100-c}$ enthält, worin die tiefgestellten Indices auf Atomprozent lauten, die 100% der Elementarbestandteile ergeben, wobei TM für ein oder mehrere Übergangsmetalle steht, a und b vorstehend für das ternäre Te-Ge-Sb-Grundsystem angegeben sind und c zwischen etwa 90 und etwa 99,5% liegt. Das Übergangsmetall kann vorzugsweise Cr, Fe, Ni und Gemische oder Legierungen daraus umfassen. Spezielle Beispiele für Speichermaterialien, die dieses System umfasst, sind $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{95}\text{Ni}_5$, $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{90}\text{Ni}_{10}$, $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{95}\text{Cr}_5$, $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{90}\text{Cr}_{10}$, $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{95}\text{Fe}_5$, $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{90}\text{Fe}_{10}$, $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{90}\text{Ni}_5\text{Cr}_5$, $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{90}\text{Ni}_5\text{Fe}_5$, $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{90}\text{Cr}_5\text{Fe}_5$ usw.

[0047] Die zweite Kategorie ist ein Speichermaterial, das Te, Ge, Sb, Se und ein Übergangsmetall in dem Verhältnis $(\text{Te}_a\text{Ge}_b\text{Sb}_{100-(a+b)})_c\text{TM}_d\text{Se}_{100-(c+d)}$ enthält, worin die tiefgestellten Indices auf Atomprozent lauten, die 100% der Elementarbestandteile ergeben, wobei TM für ein oder mehrere Übergangsmetalle steht, a und b vorstehend für das ternäre Te-Ge-Sb-Grundsystem angegeben sind, c zwischen etwa 80 und 99% liegt und d zwischen etwa 0,5 und 10% liegt. Das Übergangsmetall kann vorzugsweise Cr, Fe, Ni und Gemische oder Legierungen daraus umfassen. Spezielle Beispiele für Speichermaterialien, die dieses System umfasst, sind $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{90}\text{Ni}_5\text{Se}_5$, $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{80}\text{Ni}_{10}\text{Se}_{10}$, $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{90}\text{Cr}_5\text{Se}_5$, $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{80}\text{Cr}_{10}\text{Se}_{10}$, $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{90}\text{Fe}_5\text{Se}_5$, $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{80}\text{Fe}_{10}\text{Se}_{10}$, $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{85}\text{Ni}_5\text{Cr}_5\text{Se}_5$, $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{80}\text{Ni}_5\text{Fe}_5\text{Se}_{10}$, $(\text{Te}_{56}\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22})_{85}\text{Cr}_5\text{Fe}_5\text{Se}_5$ usw.

[0048] Die Speicherelemente der vorliegenden Patentanmeldung haben im Wesentlichen nichtflüchtig eingestellte Widerstandswerte. Wenn jedoch der Widerstandswert der vorliegenden Speicherelemente unter bestimmten Umständen tatsächlich von seinem ursprünglich eingestellten Wert abdriftet, kann eine „Zusammensetzungsmodifikation“, die nachstehend beschrieben wird, verwendet werden, um diese Drift zu beseitigen. Der hier benutzte Begriff „nichtflüchtig“ betrifft den Zustand, in dem der eingestellte Widerstandswert in Archivzeiträumen im Wesentlichen konstant bleibt. Natürlich kann Software (unter anderem das nachstehend erwähnte Rückkopplungssystem) verwendet werden, um sicherzustellen, dass absolut keine „Drift“ außerhalb eines gewählten Streubereichs auftritt. Da die Drift des Widerstandswerts der Speicherelemente, wenn sie unbehindert bleibt, die Grauskalenspeicherung von Informationen behindern kann, ist es zweckmäßig, die Drift zu minimieren.

[0049] Die „Zusammensetzungsmodifikation“ wird hier so definiert, dass sie alle Mittel zum zusammensetzungsmäßigen Modifizieren des Datenträgers aus Speichermaterial zur Erzielung von im Wesentlichen stabilen Widerstandswerten, unter anderem die zusätzliche Verwendung von Bandabstandsvergrößerungs-Elementen zur Erhöhung des Eigenwiderstands des Materials, beinhaltet. Ein Beispiel für die Zusammensetzungsmodifikation besteht darin, abgestufte Zusammensetzungsinhomogenitäten in Bezug auf die Dicke einzubeziehen. Beispielsweise kann der Datenträger aus Speichermaterial von einer ersten Te-Ge-Sb-Legierung zu einer zweiten Te-Ge-Sb-Legierung anderer Zusammensetzung abgestuft werden. Die Zusammensetzungsabstufung kann jede Form annehmen, die die Drift des eingestellten Widerstandswerts verringert. Beispielsweise braucht die Zusammensetzungsabstufung nicht auf eine erste und eine zweite Legierung desselben Legierungssystems beschränkt zu werden. Die Abstufung kann auch mit mehr als zwei Legierungen erreicht werden. Die Abstufung kann gleichmäßig und kontinuierlich sein, oder sie kann auch ungleichmäßig oder nicht-kontinuierlich sein. Ein spezielles Beispiel für eine Zusammensetzungsabstufung, die zu einer verringerten Drift des Widerstandswerts führt, ist eine gleichmäßige und kontinuierliche Abstufung von $\text{Ge}_{14}\text{Sb}_{29}\text{Te}_{57}$ auf der einen Fläche zu $\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22}\text{Te}_{56}$ auf der gegenüberliegenden Fläche.

[0050] Eine andere Methode der Verwendung der Zusammensetzungsmodifikation zum Verringern der Widerstandsdrift besteht darin, den Datenträger aus Speichermaterial zu schichten. Das heißt, der Datenträger aus Speichermaterial kann aus einer Vielzahl einzelner, relativ dünner Schichten unterschiedlicher Zusammensetzung bestehen. Beispielsweise kann der Datenträger aus Speichermaterial ein oder mehrere Paare von Schichten aufweisen, die jeweils aus einer anderen Te-Ge-Sb-Legierung bestehen. Wie schon bei den abgestuften Zusammensetzungen kann auch hier wieder jede Kombination von Schichten verwendet werden, die zu einer wesentlich geringeren Widerstandsdrift führt. Diese Schichten können ähnliche oder unterschiedliche Dicken haben. Es kann jede Anzahl von Schichten verwendet werden, und es können mehrere Schichten der gleichen Legierung, entweder aneinander grenzend oder voneinander entfernt, in dem Datenträger aus Speichermaterial vorhanden sein. Es können auch Schichten mit jeder Anzahl von unterschiedlichen Legierungszusammensetzungen verwendet werden. Ein spezielles Beispiel für eine Zusammensetzungsschichtung ist ein Datenträger aus Speichermaterial, das wechselnde Schichtpaare aus $\text{Ge}_{14}\text{Sb}_{29}\text{Te}_{57}$

und $\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22}\text{Te}_{56}$ aufweist.

[0051] Eine weitere Form der Zusammensetzungsinhomogenität zum Verringern der Widerstandsdrift wird durch Kombinieren der Zusammensetzungsabstufung mit der Zusammensetzungsschichtung erreicht. Insbesondere kann die vorgenannte Zusammensetzungsabstufung mit einer der vorstehend beschriebenen Zusammensetzungsschichtungen kombiniert werden, um einen stabilen Datenträger aus Speichermaterial auszubilden. Exemplarische Datenträger aus Speichermaterial, die diese Kombination verwenden, sind: (1) ein Datenträger aus Speichermaterial, das eine einzelne Schicht aus $\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22}\text{Te}_{56}$ und daran anschließend eine abgestufte Zusammensetzung aus $\text{Ge}_{14}\text{Sb}_{29}\text{Te}_{57}$ und $\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22}\text{Te}_{56}$ aufweist, und (2) ein Datenträger aus Speichermaterial, das eine einzelne Schicht aus $\text{Ge}_{14}\text{Sb}_{29}\text{Te}_{57}$ und eine abgestufte Zusammensetzung aus $\text{Ge}_{14}\text{Sb}_{29}\text{Te}_{57}$ und $\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22}\text{Te}_{56}$ aufweist.

[0052] In [Fig. 1](#) ist eine Schnittansicht eines erfindungsgemäßen Speicherelements gezeigt, das auf einem Einkristall-Halbleiter-Siliziumwafer **10** ausgebildet ist. Ein Speicherelement **30** weist ein Speichermaterial **36** und ein Paar mit Abstand angeordnete Kontakte **6** und **8** zum Bereitstellen des elektrischen Eingangssignals für das Speichermaterial auf.

[0053] Jeder der mit Abstand angeordneten Kontakte kann aus zwei Dünnschichten **34** und **38** bestehen. Die Schichten **34** und **38**, die an das Speichermaterial angrenzend aufgebracht sind, haben hervorragende Diffusionssperreigenschaften, die die Migration von Fremdstoff in das Chalcogenid-Speichermaterial **36** behindern. Früher bestanden beim Ovonic-EEPROM die angrenzenden Dünnschichten **34** und **38** beide aus amorphem Kohlenstoff, amorphem Silizium oder einer Doppelstruktur aus amorphem Kohlenstoff und amorphem Silizium. In der vorliegenden Erfindung ist mindestens eine der angrenzenden Dünnschicht(kontakt)schichten zu einem neuen Material modifiziert worden. Das neue Material besteht aus einer Verbindung, die ein Element aus der Gruppe Ti, V, Cr, Zr, Nb, M, Hf, Ta, W und zwei Elemente aus der Gruppe B, C, N, O, Al, Si, P, S aufweist. Bei einer Ausführungsform besteht mindestens eine der angrenzenden Dünnschicht(kontakt)schichten aus Titancarbonitrid. Vorzugsweise besteht mindestens eine der angrenzenden Dünnschicht(kontakt)schichten aus einer Verbindung mit einer Zusammensetzung von etwa 10 bis 60 At-% Titan, 5 bis 50 At-% Kohlenstoff und 10 bis 60 At-% Stickstoff. Das Titancarbonitrid kann außerdem bis zu 40 At-% Wasserstoff enthalten. Bei einer anderen Ausführungsform besteht mindestens eine der angrenzenden Dünnschichten aus Titansiliconitrid. Vorzugsweise besteht bei dieser Ausführungsform mindestens eine der angrenzenden Dünnschichten aus einer Verbindung mit einer Zusammensetzung aus etwa 10 bis 60 At-% Titan, 5 bis 50 At-% Silizium und 10 bis 60 At-% Stickstoff. Das Titancarbonitrid und das Titansiliconitrid haben hervorragende Sperrereigenschaften, die die Diffusion und Elektromigration von Fremdstoff in das Chalcogenid-Speichermaterial verhindern.

[0054] Die Schichten aus Titansiliconitrid und Titancarbonitrid können durch solche Verfahren wie physikalische Aufdampfung, wie etwa Aufdampfen, Ionenplattierung sowie Gleichstrom- und HF-Zerstäubungsbeschichtung; chemische Aufdampfung und Plasma-gestützte chemische Aufdampfung aufgebracht werden. Das genaue Verfahren, das angewendet wird, hängt von zahlreichen Faktoren ab, von denen einer die Beschichtungstemperatur-Beschränkungen umfasst, die von der Zusammensetzung des Chalcogenid-Targetmaterials auferlegt werden. Die Schichten aus Titancarbonitrid oder Titansiliconitrid werden vorzugsweise in einer Dicke von etwa 100 Å bis 2000 Å aufgebracht. Sie werden stärker bevorzugt in einer Dicke von etwa 200 Å bis 1000 Å aufgebracht.

[0055] Das Paar mit Abstand angeordnete Kontakte **6** und **8** besteht vorzugsweise aus weiteren Dünnschichten **32** und **40**, die von dem Chalcogenid-Speichermaterial entfernt aufgebracht werden. Jede dieser entfernt aufgetragenen Dünnschichten besteht aus einem oder mehreren Elementen aus der Gruppe Ti, W und Mo. Bei einer Ausführungsform besteht jede der entfernten Dünnschichten aus Ti und W. Vorzugsweise bestehen die entfernten Dünnschichten aus einer Verbindung mit 5 bis 30 At-% Titan und 70 bis 95 At-% Wolfram. Die Ti-W-Legierungsschichten **32** und **40** werden vorzugsweise mit einem Gleichstrom-Zerstäubungsbeschichtungsverfahren aufgebracht. Sie werden vorzugsweise in einer Dicke von etwa 100 Å bis 4000 Å aufgebracht. Sie werden stärker bevorzugt in einer Dicke von etwa 200 Å bis 2000 Å aufgebracht. Die Ti-W-Legierungsschichten **32** und **40** haben hervorragende ohmsche Kontakteigenschaften. Außerdem haben sie die Sperrereigenschaften, die zur Vermeidung der Elektromigration und Diffusion von Elektroden-Fremdstoff in das Chalcogenid-Speichermaterial erforderlich sind.

[0056] Die Schicht aus Speichermaterial **36** besteht aus einem Mehrelement-Halbleitermaterial, wie etwa den hier beschriebenen Chalcogenid-Materialien. Die Schicht **36** kann mit Verfahren wie Sputtern, Aufdampfen oder durch chemische Aufdampfung (CVD) aufgebracht werden, die durch Plasma-Verfahren wie HF-Glimm-

entladung verbessert werden können. Die erfindungsgemäßen Chalcogenid-Speichermaterialien werden vorzugsweise durch HF-Sputtern und Aufdampfen hergestellt. Typische Beschichtungsparameter für das HF-Sputtern und Aufdampfen der Chalcogenid-Schicht **36** sind nachstehend in den Tabellen 2 bzw. 3 angegeben.

Tabelle 2
Parameter für die HF-Zerstäubungsbeschichtung

Parameter	Typischer Bereich
Basisdruck	8×10^{-7} bis 1×10^{-6} Torr (1 Torr = 133 Pa)
Druck des Zerstäubungsgases (Ar)	4 bis 8 mTorr
Zerstäubungsleistung	40 bis 60 W
Frequenz	13 bis 14 MHz
Beschichtungsgeschwindigkeit	0,5 bis 10 Å/s
Beschichtungsdauer	2 bis 25 min
Filmdicke	250 bis 1500 Å
Substrattemperatur	Umgebungstemperatur bis 300°C

Tabelle 3
Parameter für die Aufdampfung

Parameter	Typischer Bereich
Basisdruck	1×10^{-6} bis 5×10^{-6} Torr (1 Torr = 133 Pa)
Aufdampftemperatur	450 bis 600°C
Beschichtungsgeschwindigkeit	2 bis 4 Å/s
Beschichtungsdauer	2 bis 20 min
Filmdicke	250 bis 1500 Å
Substrattemperatur	Umgebungstemperatur bis 300°C

[0057] Es ist unbedingt zu beachten, dass aufgedampfte Filme, die auf ein erwärmtes Substrat aufgebracht werden, anisotrope Wachstumseigenschaften zeigen (siehe Beschreibung zu [Fig. 6](#)), bei denen orientierte Schichten der Chalcogenid-Elemente nacheinander aufgebracht werden. Ob das für elektrische Anwendungen von Bedeutung ist, muss noch nachgewiesen werden, aber diese Art von Film macht Hoffnung auf Thermoelektrizitätsanwendungen (aufgrund der um den Faktor 4 höheren Thermoleistung, die bereits für diese Zusammensetzungen gemessen wurde, als die Thermoleistung, die für Wismut-Systeme gemessen wurde) oder auf spezielle Halbleiter- und Supraleitfähigkeitsanwendungen. Die Schicht aus Speichermaterial **36** wird vorzugsweise in einer Dicke von etwa 200 Å bis 5000 Å, besser von etwa 250 Å bis 2500 Å und am besten von etwa 400 Å bis 1250 Å aufgebracht.

[0058] Der hier verwendete Begriff „Porendurchmesser“ bezeichnet im Allgemeinen den mittleren Querschnitt des kleinsten Bereichs des Kontakts zwischen dem Speichermaterial **36** und den elektrischen Kontaktschichten **6** und **8**. Der Porendurchmesser des Speichermaterials **36** ist kleiner als etwa ein bis zwei Mikrometer, obwohl es keine praktische Grenze für die Querabmessung gibt. Es ist festgestellt worden, dass der Durchmesser des eigentlichen Leitungswegs aus dem gut leitenden Material wesentlich kleiner als ein Mikrometer ist. Der Porendurchmesser kann somit so klein sein, wie es die lithographischen Auflösungsgrenzen zulassen, und tatsächlich gilt: Je kleiner die Pore, umso geringer ist der Energiebedarf für das elektrische Umschalten.

[0059] Bevorzugt ist, dass der Porendurchmesser so gewählt wird, dass er im Wesentlichen mit dem Querschnitt des Speichermaterials übereinstimmt, dessen Widerstand effektiv geändert wird, wenn das Material auf den hoch- oder niederohmigen Zustand umgeschaltet wird. Der Porendurchmesser des Speichermaterials **36** ist daher vorzugsweise kleiner als etwa ein Mikrometer, sodass der Datenträger aus Speichermaterial **36** in dem lithographisch möglichen Umfang auf diesen Datenträger aus Speichermaterial **36** beschränkt ist, das effektiv zwischen den verschiedenen Widerstandszuständen umgeschaltet wird. Dadurch werden die Schaltdauer und die elektrische Energie, die zum Auslösen der nachweisbaren Änderung des Widerstands erforderlich sind, weiter verringert. Idealerweise sollte der Porendurchmesser gleich dem Durchmesser der Faser sein, die entsteht, wenn das Schaltmaterial im dynamischen Zustand ist.

[0060] Es ist weiterhin bevorzugt, dass der Porenbereich des Speicherelements **30**, abgesehen von dem elektrischen Kontakt mit der oberen und unteren Elektrode, der für einen einwandfreien Betrieb notwendig ist, wärmegeklämt und/oder -geregelt wird. Dadurch werden die Wärmeübertragung von dem geschalteten Vo-

lumen der Pore sowie die elektrische Energie, die für Widerstandsübergänge erforderlich ist, beschränkt, begrenzt und gesteuert. Diese Wärmedämmung wird bei der Ausführungsform von [Fig. 1](#) durch ein Isoliermaterial **39** erreicht, das die seitliche Peripherie des Speicherelements **30** umgibt.

[0061] Wir beobachten eine Tendenz in der Leistung von Speicherelementen, die im Großen und Ganzen mit dem Porendurchmesser verbunden ist. Wenn das Bauelement im binären Modus verwendet wird, sehen wir eine allgemeine Vergrößerung des Aus-Ein-Widerstandsverhältnisses, wenn wir Bauelemente über einen Wafer testen, in dem die Porendurchmesser systematisch von knapp über einem Mikrometer bis Null reichen. Wenn der Porendurchmesser in dem Bereich beispielsweise von einem Mikrometer bis etwa ein Sechstel Mikrometer gesteuert wird, besteht die Möglichkeit, die Leistung unserer Bauelemente zu verbessern. Da Faktoren wie Stromdichte und Energiedichte bei der Programmierung unserer Bauelemente wichtig sind, sollte einer Verringerung des Bauelement-Volumens, die aus der Verringerung des Porendurchmessers resultiert, zu einer Erhöhung der Empfindlichkeit und Geschwindigkeit führen. Um die eingestellte Energie/Stromstärke/Spannung zu minimieren, können Porendurchmesser von nur 1500 Å oder gar nur 100 Å verwendet werden.

[0062] Erfindungsgemäße Speicherelemente, die Faserbegrenzungsmittel **48** zwischen mindestens einem der mit Abstand angeordneten Kontakte und dem Datenträger aus Speichermaterial verwenden, ermöglichen Speicherelemente mit einer besseren Wärmebeständigkeit, einem geringeren Einstell-/Rückstell-Strombedarf, einer längeren Zykluslebensdauer und einem größeren dynamischen Bereich von Widerständen. Bei diesen Speicherelementen scheint die Widerstandsschaltung in einem Faserteil des Datenträgers aus Speichermaterial zu erfolgen, und dieser Faserteil scheint von den Faserbegrenzungsmitteln beeinflusst zu sein. Die Faserbegrenzungsmittel definieren die Größe und Lage des Faserteils bei der elektrischen Ausbildung des Speicherelements. Die Faserbegrenzungsmittel begrenzen auch die Größe und Lage des Faserteils bei Gebrauch des Speicherelements, wodurch eine hohe Stromdichte in dem Faserteil eines Einzellen-Speicherelements bei Zufuhr eines sehr geringen elektrischen Stroms zu den mit Abstand angeordneten Kontakten ermöglicht wird. Normalerweise sind die Faserbegrenzungsmittel eine Dünnschicht, die zwischen einem der mit Abstand angeordneten Kontakte und dem Datenträger aus Speichermaterial angeordnet ist. Vorzugsweise hat diese Dünnschicht eine Dicke von 10 bis 100 Å. Diese Dünnschicht besteht aus einem hochohmigen Material und hat mindestens einen niederohmigen Pfad über das Material, über den elektrische Signale zwischen dem elektrischen Kontakt und dem Datenträger aus Speichermaterial übertragen werden. Die Fläche des niederohmigen Pfades in der hochohmigen Dünnschicht kann weniger als etwa 2 Prozent der Gesamtfläche des Kontakts zwischen der Dünnschicht und dem Datenträger aus Speichermaterial betragen. Eine exemplarische Dünnschicht besteht aus einem Siliciumnitrid-Material, das Silicium, Stickstoff und Wasserstoff aufweist. Die Zusammensetzung dieser Dünnschicht ist vorzugsweise etwa 30–40 At-% Silicium, 40–50 At-% Stickstoff und bis zu 30 At-% Wasserstoff.

[0063] Die Faserbegrenzungsmittel spielen eine Rolle in dem „Prozess der elektrischen Ausbildung“ der Speichereinheit. Der Prozess der elektrischen Ausbildung besteht darin, elektrische Impulse mit einer höheren Stromstärke auf das neu gestaltete Speicherelement zu geben, bis sich das Speicherelement von seinem ursprünglich sehr hohen „jungfräulichen“ Widerstandswert auf einen niedrigeren Widerstandswert umschaltet. Wenn das geschehen ist, wird das Speicherelement als „ausgebildet“ bezeichnet. Es ist nun bereit für ein anschließendes Durchlaufen von periodischen elektrischen Vorgängen mit einer niedrigeren Stromstärke.

[0064] Durch den Ausbildungsprozess wird die Siliciumnitrid-Dünnschicht der Faserbegrenzungsmittel „durchbrochen“. Die aufgebrachte Siliciumnitrid-Dünnschicht hat einen hohen spezifischen Widerstand. Während eines oder mehrerer Impulse höherer Stromstärke, die während des Ausbildungsprozesses angelegt werden, wird das elektrisch schwächste „Durchbruch“-Gebiet in der Sperrschicht physikalisch verändert und wird viel besser leitend als die übrige Schicht. Genau durch diesen Bereich geht der gesamte Strom aller nachfolgenden Speicherzyklus-Impulse (d. h. Einstell- und Rückstell-Impulse). Dieser Strom definiert die Größe und Lage des Widerstandsschalt-Faserteils des Datenträgers aus Speichermaterial. Da sich das Durchbruchgebiet beim Speicherschalten mit geringem Strom nicht verschiebt oder vergrößert, wirkt es so, dass es die Lage und Größe des Widerstandsschalt-Faserteils bei Gebrauch des Speicherelements begrenzt. Wenn ein sehr geringer Strom an das Speicherelement angelegt wird, wird der gesamte Strom durch den Faserteil geleitet. Wegen seiner extrem geringen Größe ist somit die Stromdichte in diesem Bereich des Speichermaterials sehr hoch.

[0065] Das in [Fig. 1](#) gezeigte Speicherelement kann in einem Mehrschrittprozess ausgebildet werden. Die Schichten **32**, **34** und **46** werden zuerst aufgebracht, und die Isolierschicht **46** wird so geätzt, dass die Pore entsteht. Dann werden die übrigen Schichten **48**, **36**, **38** und **40** aufgebracht, und der gesamte Stapel von Schichten **32**, **34**, **36**, **46**, **48**, **38** und **40** wird auf das gewählte Maß geätzt. Aufgebracht auf die gesamte Struktur wird eine Schicht aus Isoliermaterial **39** aus SiO_2 oder Si_3N_4 . Diese wird geätzt, und eine Schicht aus Alu-

minium wird aufgebracht, um die zweite Elektrodengitterstruktur **42** auszubilden, die senkrecht zu den Leiterbahnen **12** verläuft und die X-Y-Gitterverbindung mit den einzelnen Speicherelementen vervollständigt. Auf der gesamten integrierten Struktur befindet sich eine obere Kapselschicht aus einem geeigneten Kapselungsmaterial wie Si_3N_4 oder einem Kunststoff wie Polyamid, die die Struktur gegen Feuchtigkeit und andere Fremd-Elemente abdichtet, die eine Qualitätsminderung und einen Leistungsabfall verursachen könnten. Das Si_3N_4 -Kapselungsmaterial kann beispielsweise mit einem Tieftemperatur-Plasmabeschichtungsverfahren aufgebracht werden. Das Polyamid-Material kann nach bekannten Verfahren aufgeschleudert und nach dem Aufschleudern gehärtet werden, um die Kapselungsschicht herzustellen.

[0066] Es ist unbedingt zu beachten, dass die herkömmliche CMOS-Technik nicht verwendet werden kann, um diese Art von dreidimensionaler Speicheranordnung herzustellen, da bei der CMOS-Technik die benötigten Halbleiter-Bauelemente in das kompakte Material des Einkristall-Halbleiterwafers eingebaut werden und diese Technik daher nur zur Herstellung einer Einzelschicht von Bauelementen verwendet werden kann. Außerdem ist es nicht möglich, (1) mit CMOS eine so kleine Anschlussfläche (tatsächliches Elementmaß) herzustellen, dass große Anordnungen mit vergleichsweise niedrigen Kosten effektiv hergestellt werden können, und (2) CMOS-Bauelemente entlang der Z-Richtung zusammenzuschalten, da sie in nur einer Ebene vorliegen. Daher können keine CMOS-Bauelemente mit der komplexen dreidimensionalen Zusammenschaltbarkeit hergestellt werden, die für modernste Parallelverarbeitungsrechner notwendig ist. Die erfindungsgemäßen dreidimensionalen Dünnschicht-Speicheranordnungsstrukturen sind andererseits in der Lage, sowohl eine herkömmliche serielle Informationsverarbeitung als auch eine parallele Informationsverarbeitung durchzuführen.

[0067] Eine Parallelverarbeitung und somit mehrdimensionale Speicheranordnungsstrukturen sind für eine schnelle Ausführung komplizierter Aufgaben wie Mustererkennung, Sortierung nach Klassen oder assoziatives Lernen erforderlich. Weitere Anwendungsmöglichkeiten für die Parallelverarbeitung und die Beschreibung der Parallelverarbeitung sind in dem US-Patent Nr. 5.159.661 zu finden, das auf den Rechtsnachfolger der vorliegenden Anmeldung übertragen ist. Mit der integrierten Struktur, die bei der Ausführungsform von [Fig. 1](#) gezeigt ist, kann jedoch eine vollständig vertikal integrierte Speicherstruktur hergestellt werden, sodass die auf dem Substrat eingenommene Fläche minimiert wird. Das bedeutet, dass die Dichte der Speicherelemente in dem Chip im Wesentlichen nur vom Auflösungsvermögen der Lithographie begrenzt wird.

[0068] Die Draufsicht einer möglichen Anordnung für mehrere Speicherelemente ist in [Fig. 2](#) gezeigt. Wie gezeigt, bilden die Bauelemente eine X-Y-Matrix aus Speicherelementen. Die horizontalen Streifen **12** stellen die X-Gruppe eines X-Y-Elektrodengitters zum Adressieren der einzelnen Elemente dar. Die vertikalen Streifen **42** stellen die Y-Gruppe von Adressleitungen dar.

[0069] Weitere Schaltungsanordnungen für den erfindungsgemäßen elektrisch löschbaren Speicher sind natürlich möglich und realisierbar. Eine besonders nützliche Anordnung ist eine dreidimensionale Mehrebenen-Anordnung, bei der eine Vielzahl von Ebenen von Speicher- oder Steuerelementen und ihre jeweiligen Trenn-Bauelemente aufeinandergeschichtet sind. Jede Ebene von Speicherelementen ist als Vielzahl von Reihen und Spalten von Speicherelementen angeordnet, wodurch eine X-Y-Adressierung möglich ist. Dieses Aufeinanderschichten von Ebenen ermöglicht außer einer Erhöhung der Speicherdichte auch eine weitere Z-Dimension für die Zusammenschaltung. Diese Anordnung ist besonders zweckmäßig, um ein neuronales Netz für einen wirklich intelligenten Rechner zu simulieren.

[0070] Jedes Speicherelement wird mittels einer Art Trennelement von den anderen elektrisch getrennt. [Fig. 3](#), eine schematische Darstellung der Anordnung der Speichereinheit, zeigt, wie die elektrische Trennung mittels Dioden erreicht werden kann. Die Schaltung weist ein X-Y-Gitter mit den Speicherelementen **30** auf, die mit Trenndioden **26** elektrisch in Reihe geschaltet sind. Die Adressleitungen **12** und **42** sind mit einer externen Adressierschaltungsanordnung in einer Weise verbunden, die Fachleuten bekannt ist. Der Zweck der Trennelemente besteht darin, dass jedes diskrete Speicherelement gelesen und beschrieben werden kann, ohne Informationen, die in benachbarten oder entfernten Speicherelementen der Matrix gespeichert sind, zu beeinträchtigen.

[0071] [Fig. 4](#) zeigt einen Teil eines Einkristall-Halbleitersubstrats **50** mit einer darauf ausgebildeten Speicher-matrix **51** der vorliegenden Erfindung. Auf demselben Substrat **50** ist auch eine Adressiermatrix **52** ausgebildet, die in geeigneter Weise durch integrierte Schaltungsverbindungen **53** mit der Speichermatrix **51** verbunden ist. Die Adressiermatrix **52** weist Signalerzeugungsmittel auf, die die auf die Speichermatrix **51** gegebenen Einstell- und Lese-Impulse definieren und steuern. Natürlich kann die Adressiermatrix **52** mit der Festkörper-Speichermatrix **51** integriert und mit dieser gleichzeitig ausgebildet werden.

[0072] Bei herkömmlichen Halbleiterspeichern, die die relativ hohen Schaltgeschwindigkeiten und niedrigen Schaltenergien haben, die für die meisten Anwendungen dieser Speicher als notwendig erachtet werden, wird mindestens ein Transistor- und Ladungsspeicherelement für jedes Speicherelement benötigt. Die Herstellung solcher Speicher in Form von integrierten Schaltkreisen erfordert mindestens drei Verbindungen, die unabhängig davon, wie das Layout des integrierten Schaltkreises ausgeführt ist, eine bestimmte Substrat-Mindestfläche einnehmen, und die Herstellung ist auch in manch anderer Hinsicht kompliziert. Die Anordnung des integrierten Schaltkreises des elektrisch löschbaren Speichers der vorliegenden Erfindung erfordert nur zwei Verbindungen mit jedem Speicherelement, und diese können in vertikaler Beziehung zueinander hergestellt werden. Außerdem wird jedes Speicherelement, komplett mit der Trenndiode und dem Kontaktpaar für das Element, selbst völlig vertikal so integriert, dass eine wesentlich höhere Bitdichte möglich ist. In der Tat ermöglicht der erfindungsgemäße Speicher eine Bitdichte, die sogar größer als die ist, die bei dynamischen Festkörper-Schreib-Lese-Speichern (DRAMs) erreichbar ist, die flüchtig sind und daher nicht die weiteren Vorteile haben, die die Nichtflüchtigkeit bietet, die mit der vorliegenden Erfindung erreichbar ist. Die Erhöhung der Bitdichte, die mit der vorliegenden Erfindung erreichbar ist, führt zu einer entsprechenden Verringerung der Herstellungskosten, da die Flächen des Wafers, die pro Bit der integrierten Schaltungsanordnung eingenommen werden, kleiner sind. Dadurch kann der erfindungsgemäße Speicher nicht nur hinsichtlich der elektrischen Leistung und der Speicherkapazität, sondern auch hinsichtlich der Kosten mit anderen erhältlichen Speichern um einen breiteren Bereich von Anwendungen konkurrieren und Sie übertreffen. Verglichen mit herkömmlichen Halbleiterspeichern, die aus mindestens einem Transistor und einem Kondensator für jedes Bit bestehen, können die erfindungsgemäßen integrierten Schaltungsanordnungen, wie in [Fig. 1](#) gezeigt, auf einem Chip mit einer größeren Bitdichte als herkömmliche Anordnungen mit der gleichen photolithographischen Auflösung hergestellt werden. Außer den Kostenvorteilen, die die höhere Bitdichte bietet, werden die Elemente auch näher aneinander positioniert und Leitungslängen, kapazitive Widerstände und andere entsprechende Parameter werden weiter minimiert, wodurch die Leistungsfähigkeit verbessert wird.

[0073] Versuche haben gezeigt, dass Faktoren wie Porenmaße (Durchmesser, Dicke und Volumen), Chalcogenid-Zusammensetzung, Wärmebehandlung (Ausheilen nach dem Beschichten), Signal-Impulsdauer, in der Zusammensetzung vorhandene Verunreinigungen wie Sauerstoff, Kristallitengröße und Signal-Impulswellenform Einfluss auf die Größe des dynamischen Widerstandsbereichs, die absoluten Endwiderstände dieses dynamischen Bereichs und die Spannungen haben, die erforderlich sind, um das Bauelement auf diese Widerstände einzustellen. Beispielsweise führen relativ dicke Chalcogenid-Dünnschichten (d. h. von etwa 4000 Å) dazu, dass höhere Spannungen eingestellt werden müssen (und sie führen somit zu höheren Stromdichten in dem Datenträger aus Speichermaterial), während relativ dünne Chalcogenid-Schichten (d. h. von etwa 250 Å) dazu führen, dass eine niedrigere Spannung eingestellt werden muss (und sie führen somit zu einer niedrigeren Stromdichte). Natürlich ist die mögliche Bedeutung der Kristallitengröße und damit des Verhältnisses der Anzahl von Oberflächenatomen zur Anzahl von Atomen des kompakten Materials bereits dargelegt worden.

[0074] Die Signal-Impulsdauer, die zum Einstellen des Speicherelements auf den gewünschten Widerstandswert in dem dynamischen Bereich von elektrischen Widerständen erforderlich ist, hängt ebenfalls von allen vorgenannten Faktoren sowie dem Signal-Strompegel ab. Normalerweise ist die Signal-Impulsdauer kürzer als etwa 250 Nanosekunden und vorzugsweise kürzer als etwa 50 Nanosekunden. Es ist hervorzuheben, dass selbst die festgestellte kurze Impulsdauer von 25 Nanosekunden von der Größe und Form der Pore sowie der Dicke und Zusammensetzung der verwendeten Halbleiterlegierung abhängt. Die Impulsdauer kann vermutlich wesentlich verkürzt werden, ohne den Betrieb des Speicherschalters zu beeinträchtigen. Versuche legen nahe, dass die Zufuhr von kleineren Energiemengen die Zykluslebensdauer der Elemente erhöht.

[0075] In die Speichersysteme der vorliegenden Erfindung kann eine Rückkopplungsschleife integriert werden, die den Widerstand eines bestimmten Speicherelements abliest und ihn gegebenenfalls verstellt. Beispielsweise kann ein Speicherelement anfangs auf einen gewünschten Widerstand eingestellt sein, aber mit der Zeit kann der Widerstand des Elements geringfügig von dem Wert abdriften, auf den es ursprünglich eingestellt war. Die Rückkopplungsschleife berechnet in diesem Fall einen Auffrischsignal-Impuls der benötigten Spannung und Dauer und sendet ihn zu dem Speicherelement, um es auf einen vorgewählten Widerstandswert zurückzubringen. Es kann auch Umstände geben, wo der Einstell-Impuls, der zu einem Speicherelement gesendet wird, nicht zur Einstellung des Elements auf den gewünschten Widerstandswert führt. In diesem Fall sendet die Rückkopplungsschleife zusätzliche Signal-Impulse zu dem Element, bis der gewünschte Widerstandswert erreicht ist. Die Gesamtdauer dieser Reihe von Einstell-/Verstellzyklen beträgt weniger als etwa 1000 Nanosekunden und vorzugsweise weniger als etwa 500 Nanosekunden.

[0076] Die Fähigkeit, sich den linearen Teil der Kurve Widerstand – Bauelement-Stromstärke reversibel hinauf und hinunter zu bewegen, kann nicht genug betont werden. Ein Impuls einer gewählten Stromstärke kann das

Speicherelement ungeachtet seines vorher eingestellten Zustands auf einen gewünschten Widerstand einstellen. Diese Fähigkeit, sich reversibel entlang der Kurve zu bewegen, ermöglicht ein direktes Überschreiben von früher gespeicherten Daten. Diese direkte Überschreibbarkeit ist mit den herkömmlichen Phasenumwandlungs- und MSM(a-Si)-Speicherstoffen nicht möglich. Diese Fähigkeit, Widerstandswerte reversibel einzustellen, ist bemerkenswert. Mit tausend aufeinanderfolgenden Impulsen mittlerer Stromstärke wird der gleiche Widerstandswert wie mit einem Impuls höherer Stromstärke und einem anschließenden einzelnen Impuls mittlerer Stromstärke oder wie mit einem Impuls niedrigerer Stromstärke und einem anschließenden einzelnen Impuls mittlerer Stromstärke erreicht.

[0077] Der dynamische Widerstandsbereich ermöglicht auch eine breite Grauskalen- und eine analoge Mehrebenen-Speicherung. Die Mehrebenen-Speicherung wird durch Unterteilen des breiten dynamischen Bereichs in eine Vielzahl von Teilbereichen oder Ebenen erreicht. Die kontinuierliche Widerstandsprogrammierbarkeit ermöglicht das Speichern mehrerer Bits von binären Informationen in einer einzigen Speicherzelle. Diese Mehrebenen-Speicherung erfolgt durch Imitieren mehrerer Bits von binären Informationen in pseudo-analoger Form und Speichern dieser analogen Informationen in einer einzigen Speicherzelle. Somit wird durch Unterteilen des dynamischen Widerstandsbereichs in 2^n analoge Ebenen jede Speicherzelle befähigt, n Bits von binären Informationen zu speichern.

[0078] Wie vorstehend dargelegt, ist [Fig. 5](#) ein Dreiphasendiagramm des Ge-Te-Sb-Halbleiterlegierungssystems. Zusätzlich zu den bereits genannten Informationen, deren binäre und ternäre Phasen mit Quadraten (■) gekennzeichnet sind, gibt dieses Diagramm Informationen zur Trennung anderer Legierungen. Diese anderen Legierungen sind mit Dreiecken (▲), Rhomben (◆) und Kreisen (●) gekennzeichnet, und Phasen, in die sich die Legierungen bei rascher Erstarrung aus der Schmelze trennen können, sind mit Linien (Voll- oder Strichlinien) gekennzeichnet, die von diesen Dreiecken, Rhomben und Kreisen ausgehen. Die Ausgangszusammensetzungen von zwei Te-reichen Schmelzen sind in dem Dreiphasendiagramm mit kreisförmigen Symbolen gekennzeichnet. Nach schneller Erstarrung trennen sich diese Gemische in elementares Te plus die Phasen B, C und D.

[0079] Schmelzen mit Zusammensetzungen rechts von der pseudobinären Linie, die mit Rhombensymbolen gekennzeichnet sind, erstarren zu Phasen, die in dem Diagramm mit Linien gekennzeichnet sind. Andere Gemische, die in dem Phasendiagramm mit Dreiecken gekennzeichnet sind, erstarren zu elementarem Ge und Sb und zur Phase A. Eine Legierung von besonderem Interesse für die Verwendung in den verbesserten Speicherelementen der vorliegenden Erfindung ist $\text{Ge}_{22}\text{Sb}_{22}\text{Te}_{56}$, die auch als $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ oder 2-2-5 bezeichnet wird. Diese 2-2-5-Legierung phasentrennt sich bei rascher Erstarrung in ein Gemisch aus zwei einzelnen Phasen der Zusammensetzungen B ($\text{Ge}_{26}\text{Sb}_{18}\text{Te}_{56}$) und C ($\text{Ge}_{18}\text{Sb}_{28}\text{Te}_{56}$), die in dem Phasendiagramm von [Fig. 5](#) angegeben sind. Eine weitere Legierung von besonderem Interesse ist $\text{Ge}_{14}\text{Sb}_{29}\text{Te}_{57}$ (auch als GeSb_2Te_4 oder 1-2-4 bezeichnet), die die Zusammensetzung D auf der pseudobinären $\text{GeTe-Sb}_2\text{Te}_3$ -Linie ist. Die Legierungen 2-2-5 und 1-2-4 sind von Interesse für die Herstellung des Datenträgers aus Speichermaterial in zusammensetzungsmäßig abgestufter, geschichteter oder kombinierter abgestufter/geschichteter Form, wie vorstehend dargelegt wurde.

[0080] [Fig. 6](#) zeigt die Atomstruktur von drei ternären Legierungen des Ge-Sb-Te-Systems sowie die Atomstruktur der binären Legierung Ge-Te. Zwei der drei ternären Legierungen sind die Zusammensetzungen 1-2-4 (Zusammensetzung D in dem Dreiphasendiagramm von [Fig. 5](#)) und die Zusammensetzung 2-2-5, die vorstehend beschrieben wurden. Die dritte ternäre Legierung ist $\text{Ge}_8\text{Sb}_{33}\text{Te}_{59}$, die auch als GeSb_4Te_7 oder 1-4-7 bezeichnet wird. Diese 1-4-7-Legierung entspricht der Zusammensetzung E in dem Dreiphasendiagramm von [Fig. 5](#). In den Darstellungen der Atomstrukturen dieser Legierungen stellen die Hohlkreise Ge-Atome dar, die gestreiften Kreise stellen Sb-Atome dar, und die gepunkteten Kreise stellen Te-Atome dar. Wie in [Fig. 6](#) gezeigt, besteht die Atomkonfiguration der einzelnen Legierungen, wenn sie eine kubisch-flächenzentrierte Kristallstruktur haben, aus geordneten, wiederholten Schichten von Atomen. Die kubisch-flächenzentrierte Konfiguration bildet drei verschiedene Arten von Schichten, die in [Fig. 6](#) mit A, B und C gekennzeichnet sind.

[0081] Die Legierungen 1-4-7, 1-2-4 und 2-2-5, die in [Fig. 6](#) dargestellt sind, sind von Interesse als Speichergrundmaterialien und für die Verwendung in den elementar modifizierten Speichermaterialien der vorliegenden Erfindung. Die Übergangsmetalle werden zusammen mit Se, wenn vorhanden, relativ gleichmäßig über die gesamte Te-Ge-Sb-Matrix hinweg eingebaut und verbessern die elektronische/atomare Struktur so, dass ein geringerer Schaltstrombedarf und eine höhere Wärmebeständigkeit der Daten-Erhaltung entstehen. Die Stromstärkenanalyse zeigt, dass Se Te in der Struktur ersetzt, und obwohl die genaue Lage des Übergangsmetalls nicht bekannt ist, scheint sich das Übergangsmetall mit dem Chalcogen-Element zu verbinden.

[0082] Wie vorstehend erwähnt, werden die Ge-Sb-Te-Legierungsstoffe, wenn sie auf ein erwärmtes Substrat aufgedampft werden, in anisotroper Form aufgebracht. Das heißt, beim Aufbringen in dieser Weise werden die Kristallite der Legierungsstoffe so orientiert, dass die Schichten aus atomaren Komponenten im Wesentlichen parallel zu der Substrat-Oberfläche ausgerichtet sind. Das führt natürlich zu anisotropem Stromfluss, bietet aber die Langzeitmöglichkeit, die Atome des Stoffes so anzuordnen, dass Einstell- und Rückstell-Impulse in Richtung des niedrigen Widerstands verwendet werden und dadurch noch niedrigere Einstell- und Rückstellströme, -spannungen und/oder -energien erzielt werden.

[0083] [Fig. 7](#) ist eine grafische Darstellung von Daten, die die Eigenschaften des Durchlaufens von periodischen Vorgängen eines Speicherelements mit an die Oberseite angrenzender Kontaktschicht aus Titancarbonitrid veranschaulichen. Der Widerstand des Bauelements ist auf der Ordinatenachse angegeben, und die Wechselzahl ist auf der Abszissenachse aufgetragen. Um von einem Zustand niedrigen Widerstands (Einstellzustand) zu einem Zustand höheren Widerstands (Rückstellzustand) zu gelangen, wird ein elektrischer Impuls mit einer Amplitude von etwa 2 mA und einer Dauer von etwa 40 ns auf das Speicherelement gegeben. Um zu dem Zustand niedrigen Widerstands zurückzukehren, wird ein Impuls mit einer Amplitude von etwa 1 mA und einer Dauer von etwa 100 ns auf das Element gegeben. Somit kann durch Geben einer Folge von Impulsen entsprechender Amplitude und Dauer das Element wie gezeigt zyklisch durchlaufen gelassen werden.

[0084] [Fig. 8](#) ist eine grafische Darstellung von Daten, die die Eigenschaften des Durchlaufens von periodischen Vorgängen eines Speicherelements mit an die Oberseite angrenzender Kontaktschicht aus Titansiliconitrid veranschaulichen. Um von einem Zustand niedrigen Widerstands (Einstellzustand) zu einem Zustand höheren Widerstands (Rückstellzustand) zu gelangen, wird ein elektrischer Impuls mit einer Amplitude von etwa 2 mA und einer Dauer von etwa 40 ns auf das Speicherelement gegeben. Um zu dem Zustand niedrigen Widerstands zurückzukehren, wird ein Impuls mit einer Amplitude von etwa 1 mA und einer Dauer von etwa 100 ns auf das Element gegeben.

[0085] [Fig. 9](#) ist eine grafische Darstellung von Daten, die die Mehrzustandsfähigkeiten (d. h. die Fähigkeit des Speicherelements, auf einen einer Vielzahl von Widerstandswerten in dem dynamischen Widerstandsreich eingestellt zu werden) eines erfindungsgemäßen Speicherelements veranschaulichen. Die dargestellten Daten sind die Daten eines Speicherelements mit an die Oberseite angrenzender Kontaktschicht **38** aus Titancarbonitrid. Die grafische Darstellung wird durch Programmieren des Speicherelements auf steigende Widerstandswerte erhalten. Das geschieht durch Anwenden elektrischer 40-ns-Impulse steigender Programmierungsstromstärken.

[0086] [Fig. 10](#) ist eine grafische Darstellung von Daten, die die mittleren Einstell- und Rückstellwiderstände für Speicherelemente mit Titancarbonitrid als an die Oberseite angrenzender Kontaktschicht zeigen. Die Einstell- und Rückstellwiderstände wurden unter Verwendung von Titancarbonitrid-Schichten mit vier verschiedenen spezifischen Widerständen bestimmt. Der spezifische Widerstand wurde durch Erhöhen des Anteils an Kohlenstoff in der Titancarbonitrid-Verbindung erhöht. Wie dargestellt, nimmt die Differenz zwischen den Einstell- und Rückstellwiderständen mit steigendem spezifischen Widerstand des Titancarbonitrids zu.

[0087] Es gibt einen Schaltspannungsgrenzwert, der mit der Programmierung des Ovonic-EEPROM verbunden ist, und es ist daher zu erwarten, dass wie bei Schwellwertschaltern die Programmierspannung des Ovonic-EEPROM eine Abhängigkeit von der Dicke der Chalcogenid-Legierungsschicht zeigt. In der Tat dient beim Ovonic-EEPROM ein Schaltspannungsgrenzwert dazu, Lese-Ereignisse von Programmierungseignissen zu trennen, wodurch Lesestörungen eliminiert werden und ein guter Betriebsgrenzwert beim Lesen von Daten ermöglicht wird. Unsere Bauelemente zeigen lineare Widerstandskennlinien, wenn das angelegte Feld gering ist, und daran schließt sich eine allmähliche Abnahme des Widerstands mit steigendem Feld bis zu einem Spannungsgrenzwert an. Wenn der Spannungsgrenzwert überschritten wird, zeigt das Bauelement einen negativen Widerstandsübergang zu einem gut leitenden „dynamischen Einschalt“zustand. Wenn das angelegte Feld aufgehoben wird, kehrt das Bauelement zu einem nichtflüchtig programmierten Widerstandszustand zurück, dessen Wert von dem Strom-/Energieprofil abhängt, dem das Bauelement während seiner „Speichergleichgewichtszeit“, als es im dynamischen Einschaltzustand war, ausgesetzt gewesen ist. Obwohl der Spannungsgrenzwert vom Widerstand des Bauelements abhängt, ist der Bauelementstrom am Spannungsgrenzwert für alle Bauelementwiderstände relativ konstant. Eine lineare Annäherung an die Beziehung Dicke – Spannungsgrenzwert zeigt einen Proportionalitätsfaktor von unter eins, was zu einem hohen Betriebsgrenzwert bei Bauelementen mit der gleichen Nenndicke beiträgt.

[0088] Durch die Verwendung der hier beschriebenen gesetzlich geschützten Stoffe und Bauelementkonfigurationen ist ein elektrisch löschbares, direkt überschreibbares Speicherelement entwickelt worden, das hohe

Schreib- und Lesegeschwindigkeiten, die sich denen von SRAM-Bauelementen nähern, Nichtflüchtigkeits- und Random-Access-Neuprogrammierungsfähigkeiten eines EEPROM und einen Preis pro Megabyte Speicher bietet, der wesentlich unter dem jedes anderen Halbleiterspeichers liegt.

[0089] Es ist klar, dass die hier vorgenommene Beschreibung in Form von detaillierten Ausführungsformen vorgelegt wird, die zum Zwecke einer vollständigen Offenbarung der vorliegenden Erfindung beschrieben werden, und dass diese Einzelheiten nicht als den eigentlichen Schutzbereich dieser Erfindung, der in den beigefügten Ansprüchen dargelegt und definiert ist, begrenzend angesehen werden dürfen.

Patentansprüche

1. Elektrisch betriebenes, direkt überschreibbares Einzellen-Speicherelement mit:
 einem Datenträger aus Speichermaterial (**36**), das durch Anlegen eines elektrischen Eingangssignals auf eine Vielzahl von Widerstandswerten in einem dynamischen Bereich von Widerstandswerten ungeachtet des vorhergehenden Widerstandswerts des Speichermaterials einstellbar ist; und
 einem Paar mit Abstand angeordnete Kontakte (**6, 8**) zum Bereitstellen des elektrischen Eingangssignals, um das Speichermaterial (**36**) auf einen gewählten Widerstandswert in dem dynamischen Bereich einzustellen, wobei jeder der mit Abstand angeordneten Kontakte eine an den Datenträger aus Speichermaterial angrenzende Dünnschicht (**34, 38**) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 mindestens eine der angrenzenden Dünnschichten (**34, 38**) eine Verbindung aufweist, die Folgendes enthält:
 ein oder mehr Elemente aus der Gruppe Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta und W und
 zwei oder mehr Elemente aus der Gruppe B, C, N, O, Al, Si, P und S.
2. Speicherelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die angrenzende Dünnschicht (**34, 38**) Ti und zwei oder mehr Elemente aus der Gruppe C, N, Al, Si enthält.
3. Speicherelement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die angrenzende Dünnschicht (**34, 38**) Ti, C und N enthält.
4. Speicherelement nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Elemente der angrenzenden Dünnschicht (**34, 38**) in folgenden Mengen (Atomprozent) vorliegen: etwa 10 bis 60% Titan, 5 bis 50% Kohlenstoff, 10 bis 60% Stickstoff.
5. Speicherelement nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die angrenzende Dünnschicht (**34, 38**) bis zu 40% Wasserstoff enthält.
6. Speicherelement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die angrenzende Dünnschicht (**34, 38**) Ti, Si und N enthält.
7. Speicherelement nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Elemente der angrenzenden Dünnschicht (**34, 38**) in folgenden Mengen (Atomprozent) vorliegen: etwa 10 bis 60% Titan, 5 bis 50% Silicium und 10 bis 60% Stickstoff.
8. Speicherelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der angrenzenden Dünnschicht (**34, 38**) etwa 10 nm (100 Å) bis 200 nm (2000 Å) beträgt.
9. Speicherelement nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der angrenzenden Dünnschicht (**34, 38**) etwa 20 nm (200 Å) bis 100 nm (1000 Å) beträgt.
10. Speicherelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jeder der mit Abstand angeordneten Kontakte (**6, 8**) eine von dem Speichermaterial entfernt angeordnete Dünnschicht (**32, 40**) aufweist, wobei die entfernte Dünnschicht (**32, 40**) aus einem oder mehreren Elementen aus der Gruppe Ti, W, Mo besteht.
11. Speicherelement nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die entfernte Dünnschicht (**32, 40**) Ti und W enthält.
12. Speicherelement nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die entfernte Dünnschicht (**32, 40**) aus etwa 5 bis 30 At-% Titan und 70 bis 95 At-% Wolfram besteht.

13. Speicherelement nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der entfernten Dünnschicht (32, 40) etwa 10 nm (100 Å) bis 400 nm (4000 Å) beträgt.
14. Speicherelement nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der entfernten Dünnschicht (32, 40) etwa 20 nm (200 Å) bis 200 nm (2000 Å) beträgt.
15. Speicherelement nach Anspruch 1, das weiterhin Filamentteil-Steuermitte (46) aufweist, die zwischen dem Datenträger aus Speichermaterial (36) und mindestens einem der mit Abstand angeordneten Kontakte (8) angeordnet sind, wobei die Mittele (46) während der elektrischen Ausbildung des Speicherelements die Größe und Position eines Filamentteils (48) definieren und während des Gebrauchs des Speicherelements die Größe des Filamentteils (48) begrenzen und seine Lage einschränken, wodurch eine hohe Stromdichte in dem Filamentteil (48) des Speicherelements bei Eingabe eines elektrischen Signals mit einem sehr niedrigen Gesamtstrom in die mit Abstand angeordneten Kontakte (6, 8) bereitgestellt wird, wobei die Filamentteil-Steuermitte (46) eine Schicht aus Siliciumnitrid aufweisen.
16. Speicherelement nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Filamentteil-Steuermitte (46) eine zwischen einem der mit Abstand angeordneten Kontakte (8) und dem Datenträger aus Speichermaterial (36) angeordnete Dünnschicht aus Siliciumnitrid aufweisen, wobei die Dünnschicht (46) weniger als etwa 10 nm (100 Å) dick ist.
17. Speicherelement nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Filamentteil-Steuermitte (46) eine Dünnschicht aus Siliciumnitrid mit einer Dicke zwischen 1 nm (10 Å) und 10 nm (100 Å) aufweisen.
18. Speicherelement nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Dünnschicht aus Siliciumnitrid (46) mindestens einen niederohmigen Pfad quer darüber enthält, über den elektrische Eingangssignale zwischen dem mit Abstand angeordneten Kontakt (8) und dem Datenträger aus Speichermaterial (36) gehen.
19. Speicherelement nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Dünnschicht aus Siliciumnitrid (46) Si, N und H aufweist.
20. Speicherelement nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Filamentteil-Steuermitte (46) eine Dünnschicht aufweisen, die aus etwa 30 bis 40 At-% Silicium, 40 bis 50 At-% Stickstoff, bis zu 30 At-% Wasserstoff und aus Verunreinigungen als Rest besteht.
21. Speicherelement nach einem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das Speicherelement so betrieben werden kann, dass es einen Mehrbitwert speichert.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

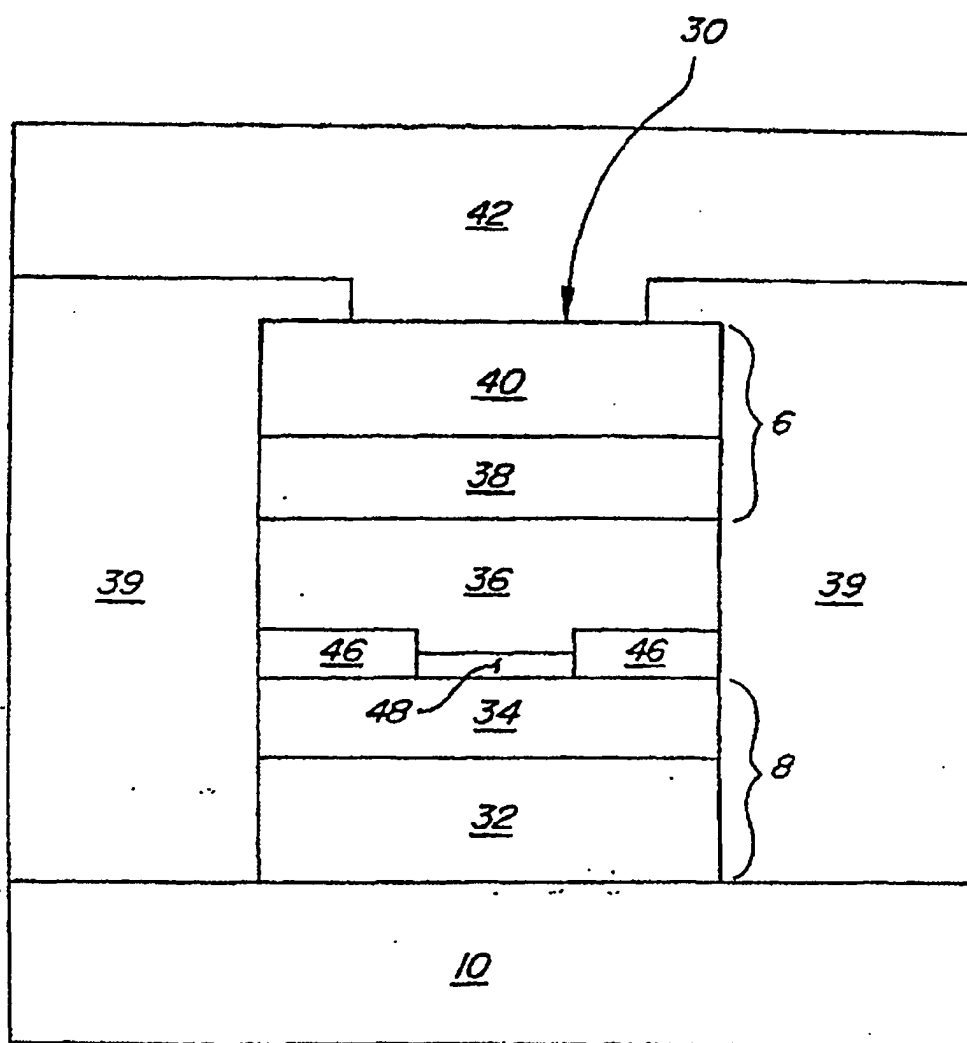


FIG - 1

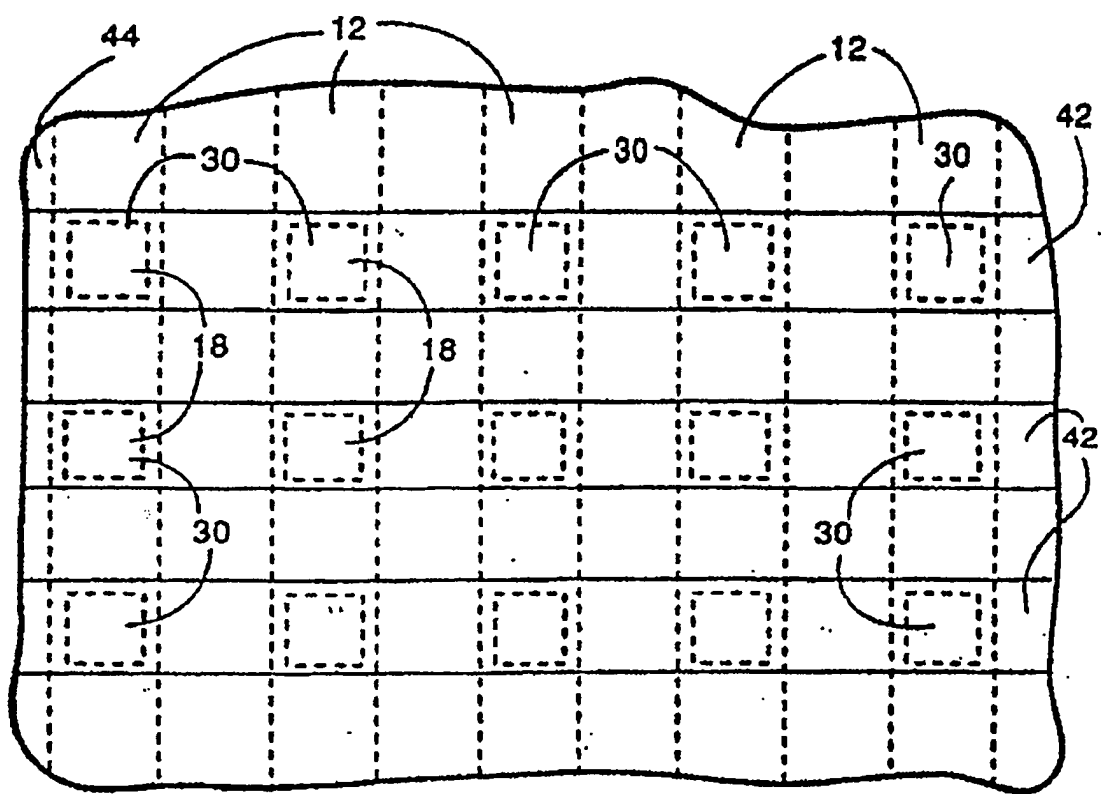


FIG - 2

FIG - 3

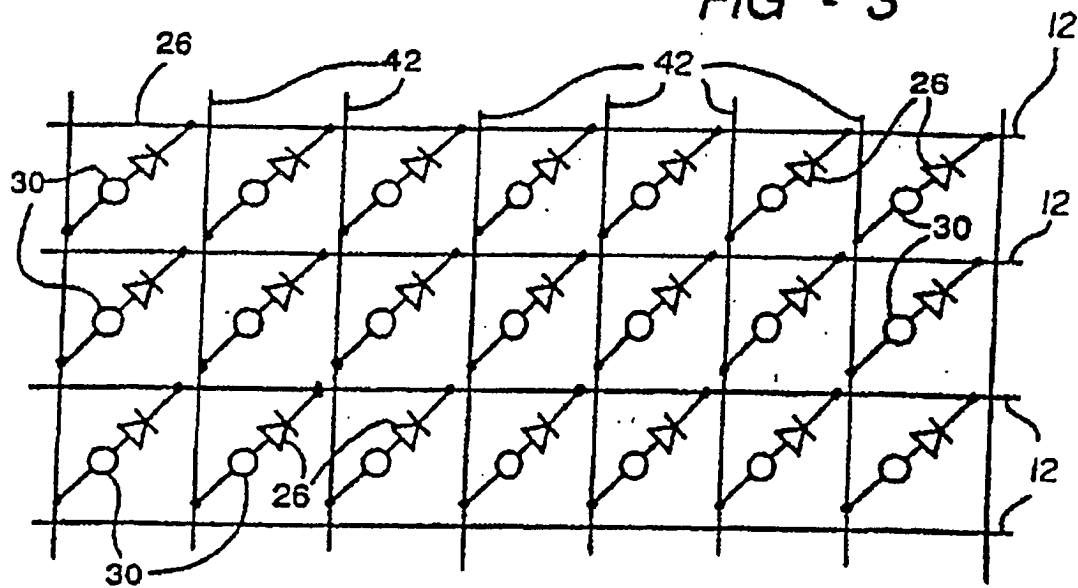
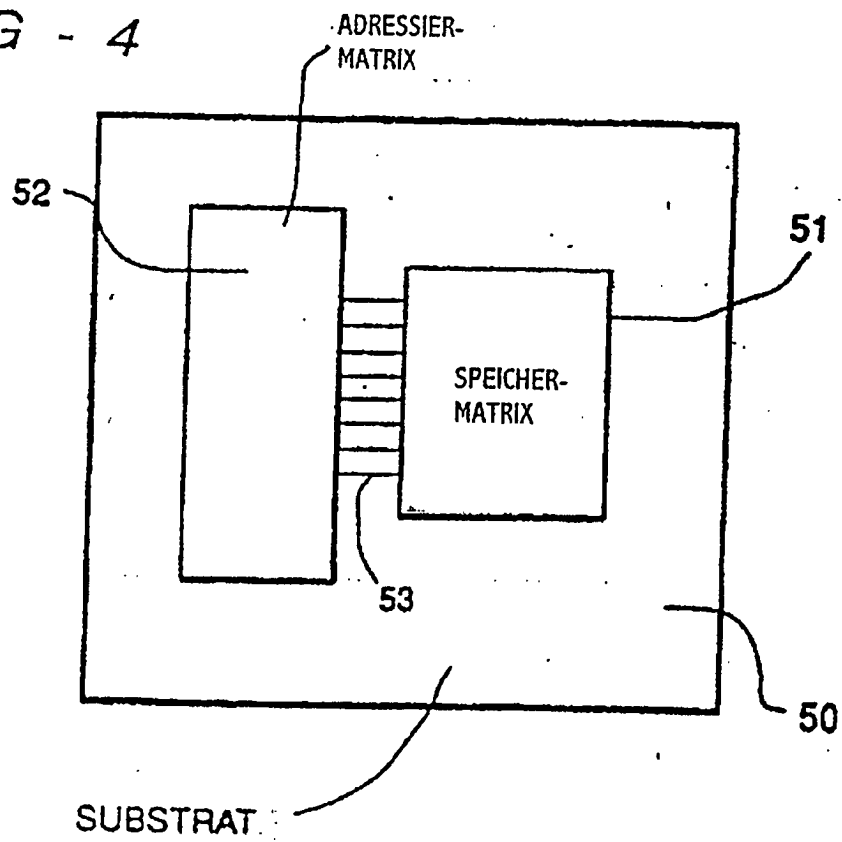


FIG - 4



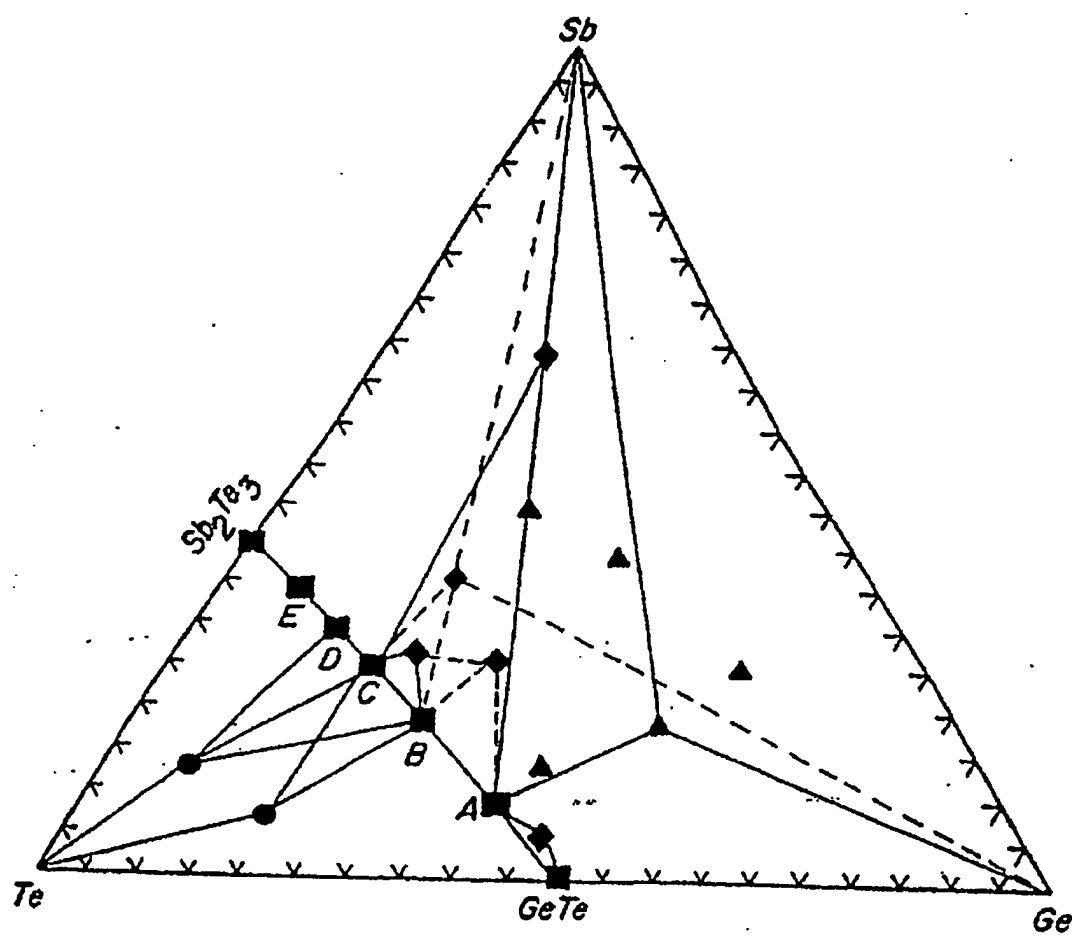
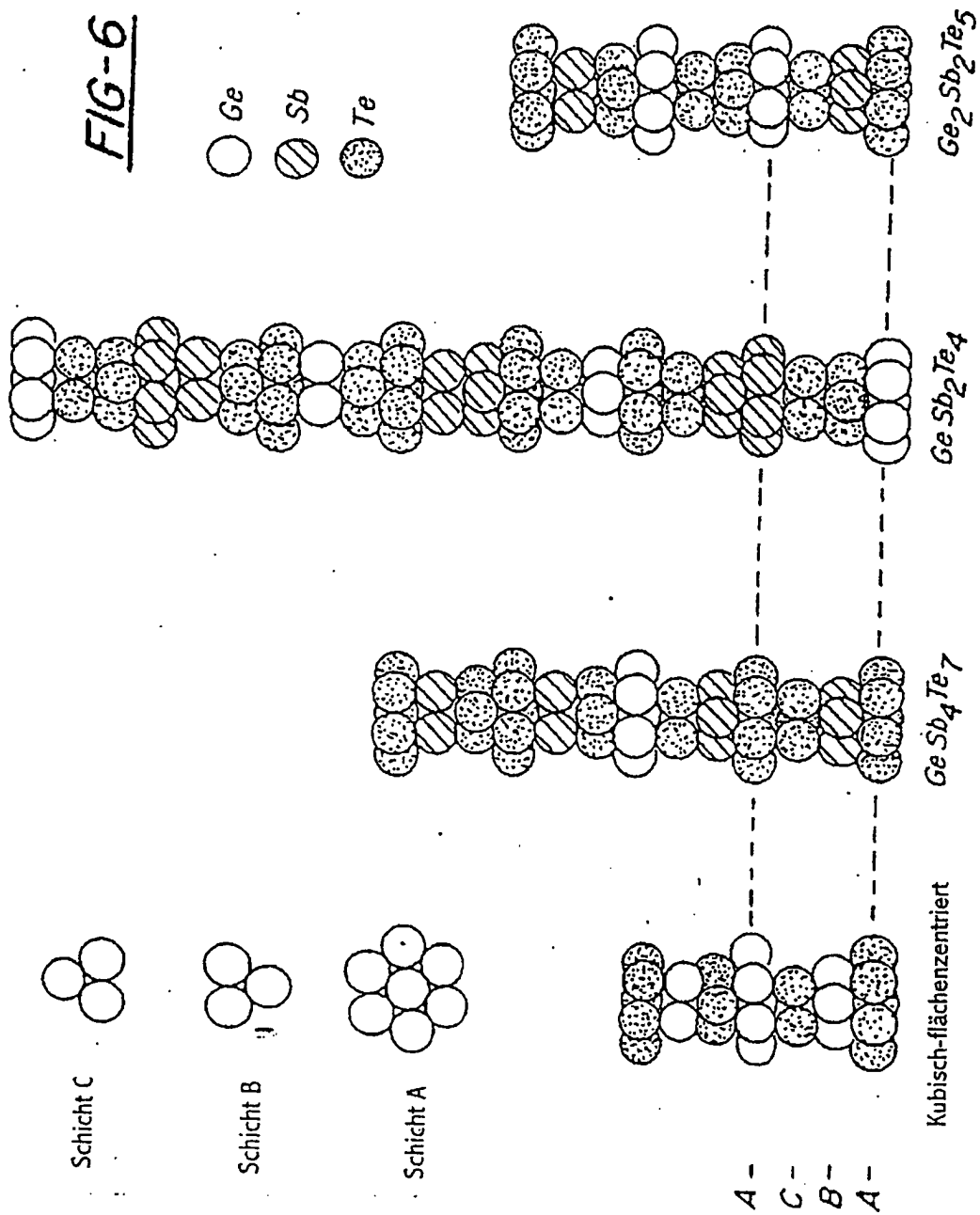


FIG - 5



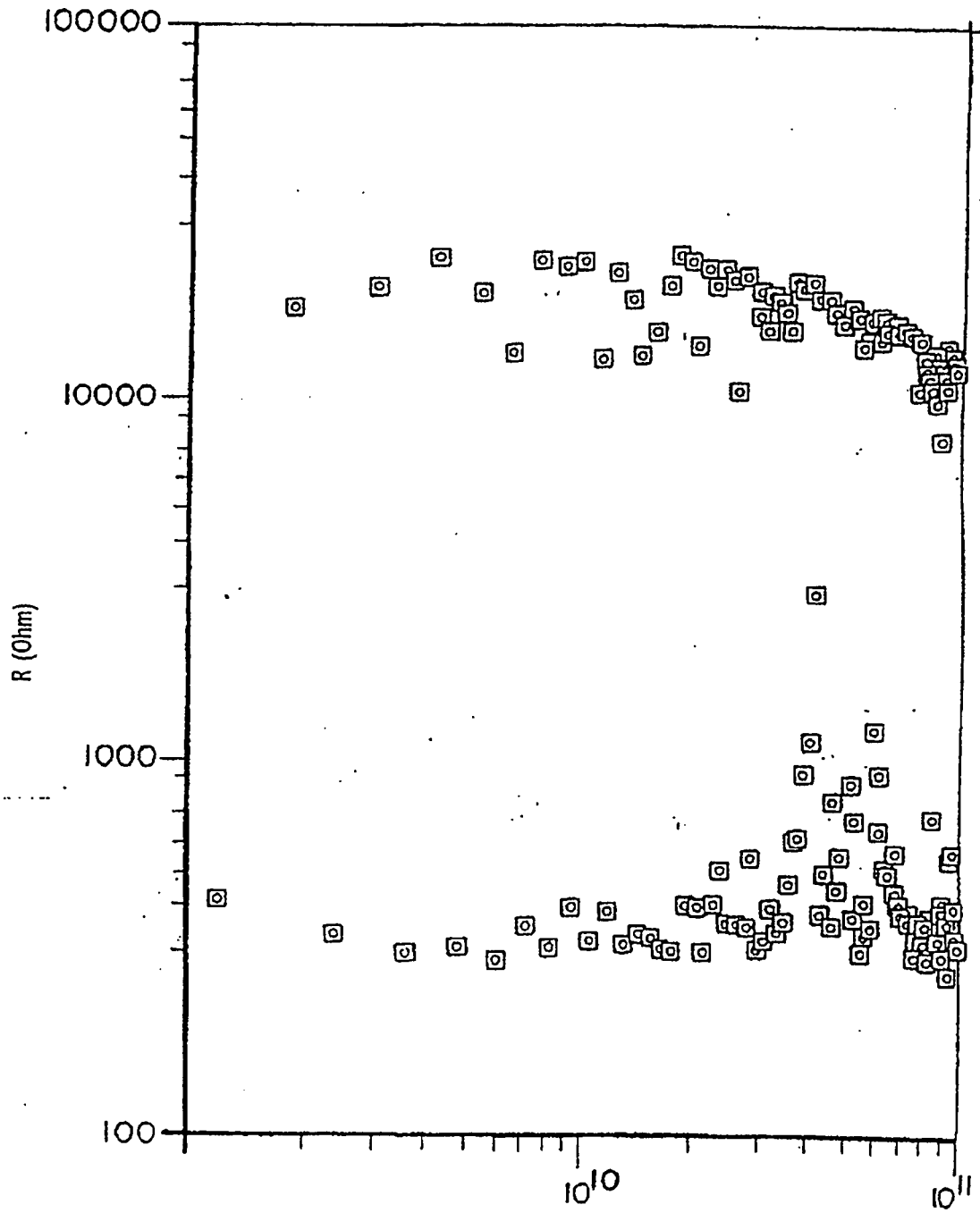


FIG-7

WECHSELZAHL

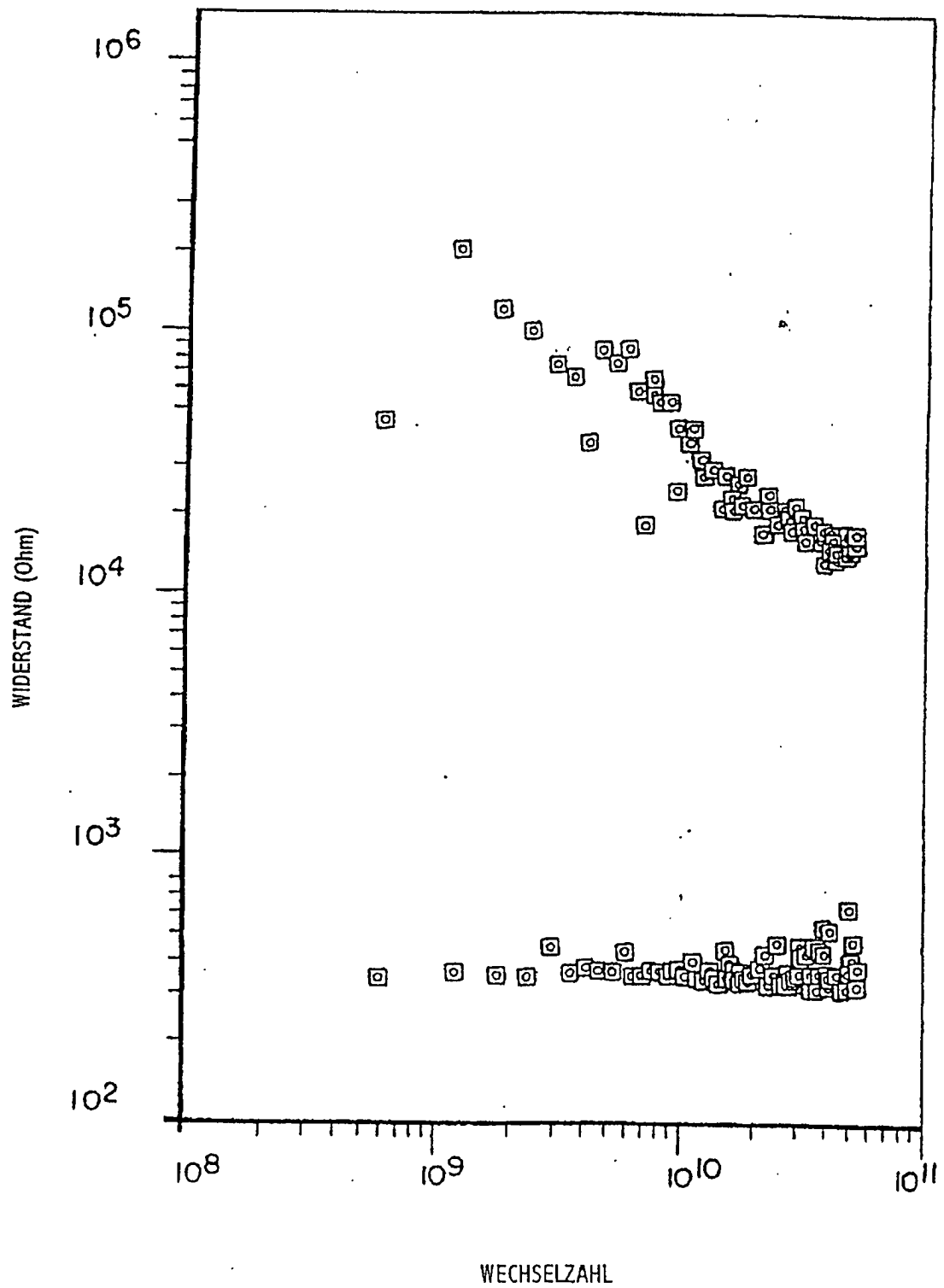


FIG-8

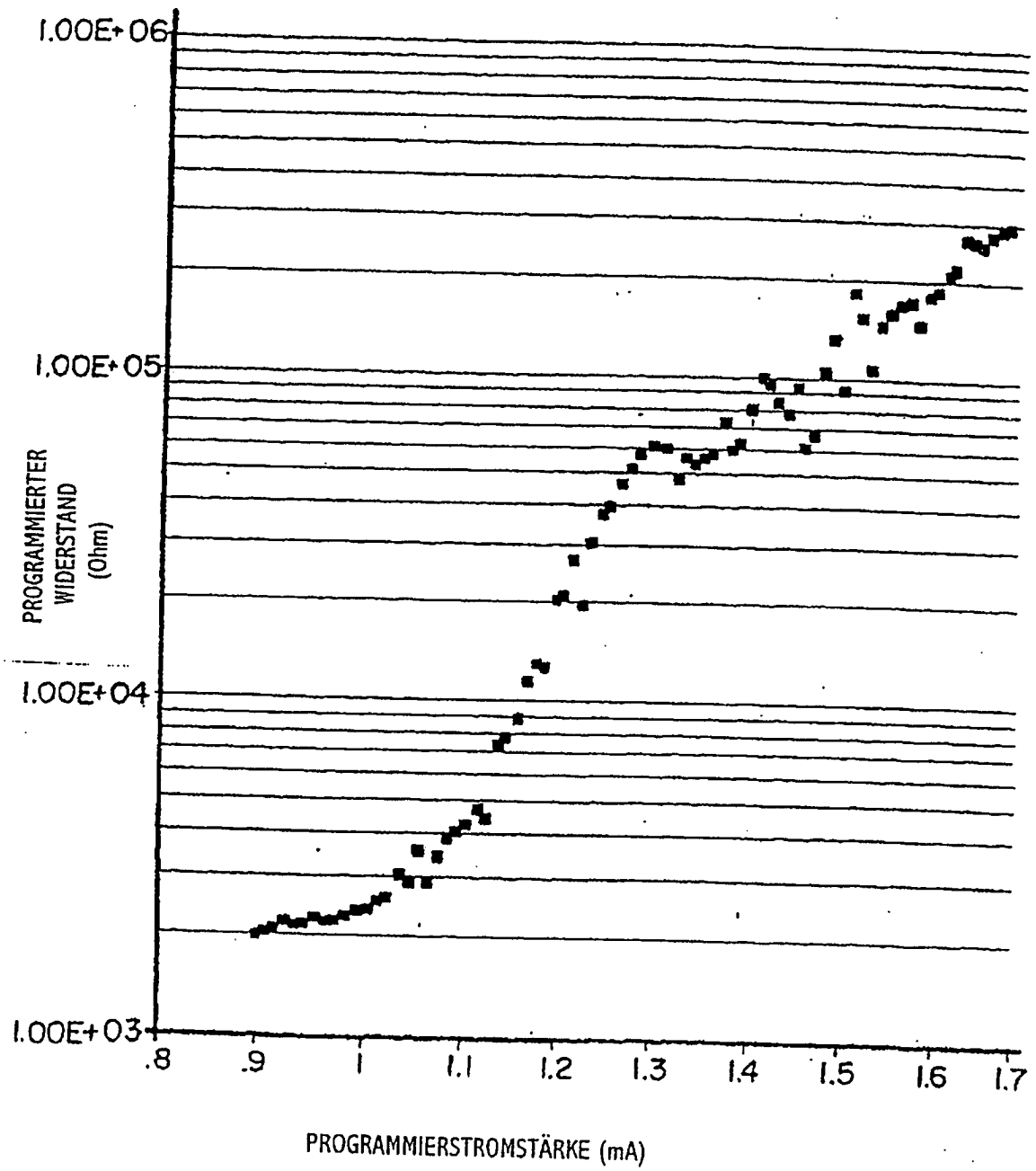


FIG-9

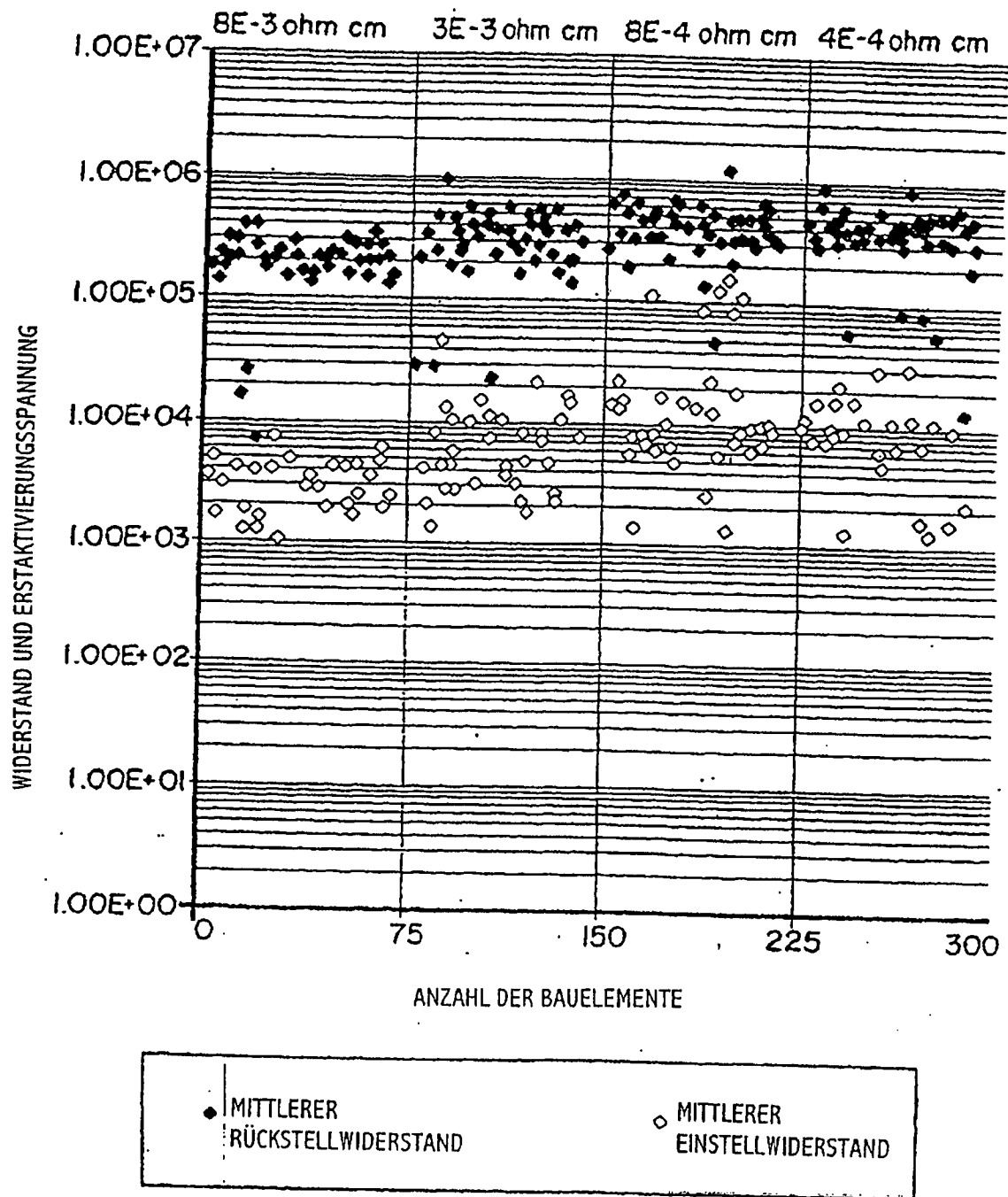


FIG-10