



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 004 218 B3 2007.08.16**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 004 218.2**

(22) Anmeldetag: **30.01.2006**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **16.08.2007**

(51) Int Cl.⁸: **B81B 3/00 (2006.01)**

B81C 1/00 (2006.01)

B81B 7/04 (2006.01)

B82B 1/00 (2006.01)

H01L 27/112 (2006.01)

G11C 11/21 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE

(74) Vertreter:
Viering, Jentschura & Partner, 81675 München

(72) Erfinder:
Kreupl, Franz, Dr., 80802 München, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE 103 45 393 A1

US 61 98 655 A

US 61 59 620 A

US 61 28 214 A

US 60 44 008 A

US 51 98 994 A

US 48 88 630 A

US 48 76 667 A

US 48 53 893 A

US 48 45 533 A

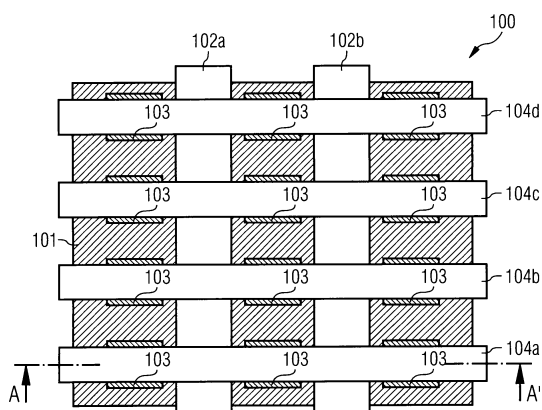
US 34 48 302 A

WO 01/03 208 A1

T. Rueckes et al.: "Carbon Nanotube-Based Non-volatile Random Access Memory for Molecular Computing". Science, Vol. 289, Issue 5476, pp. 94-97, Jul. 7, 2000;

(54) Bezeichnung: **Elektromechanische Speicher-Einrichtung und Verfahren zum Herstellen einer elektromechanischen Speicher-Einrichtung**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine elektromechanische Speicher-Einrichtung bereitgestellt, mit mindestens einer in bzw. auf einem Substrat ausgebildeten elektrisch leitfähigen Schicht; mit mindestens einem auf dem Substrat ausgebildeten Abstandshalter, welcher so ausgebildet ist, dass die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht neben dem mindestens einen Abstandshalter angeordnet ist; mit mindestens einem Abstandshalter angeordnet ist; mit mindestens einer zumindest über einem Teilbereich des Substrats ausgebildeten Kohlenstoffschicht, welche die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht überkreuzt, wobei die mindestens eine Kohlenstoffschicht zumindest teilweise auf dem mindestens einen Abstandshalter ausgebildet ist, derart, dass ein Zwischenraum zwischen der mindestens einen Kohlenstoffschicht und der mindestens einen überkreuzten elektrisch leitfähigen Schicht gebildet ist, und wobei die mindestens eine Kohlenstoffschicht derart eingerichtet ist, dass sie mit der mindestens einen überkreuzten elektrisch leitfähigen Schicht in Kontakt gebracht werden kann.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine elektromechanische Speicher-Einrichtung und ein Verfahren zum Herstellen einer elektromechanischen Speicher-Einrichtung.

[0002] Ein wichtiges Teilgebiet der Halbleitertechnologie stellt die Entwicklung von Speicherzellen (Memory Cells) bzw. Speicher-Einrichtungen aus einer oder mehrerer solcher Speicherzellen dar, d.h. die Entwicklung von Elementen zum Speichern von Daten, in der Regel in der Form von binären Informationseinheiten, i.e. Bits (Binary Digits). In diesem Zusammenhang ist unter Beschreiben (Write) bzw. Programmieren (Program) einer Speicherzelle zu verstehen, dass ein Datum (z.B. ein Bit) in die Zelle "hineingeschrieben", d.h. gespeichert wird. Ferner ist unter Auslesen (Read) bzw. Löschen (Erase) einer Speicherzelle zu verstehen, dass der Inhalt der Speicherzelle, i.e. die gespeicherte Information, ausgelesen bzw. gelöscht wird. Weiterhin wird ein Read-/Write-Vorgang auch als Zyklus (Cycle) bezeichnet, und die Zeit zwischen dem Beginn eines Read-/Write-Vorgangs und dem Beginn eines weiteren Read-/Write-Vorgangs wird als Zyklus-Zeitdauer (Cycle Time) bezeichnet.

[0003] Wichtige Charakteristika einer Speicherzelle in einer elektronischen Einrichtung (Device) sind u.a. niedrige (Herstellungs-)Kosten, die Nichtflüchtigkeit bzw. Nichtvolatilität der Speicherzelle (d.h. die Fähigkeit, Daten bzw. Informationen auch nach Wegnahme einer Versorgungsspannung bzw. eines Versorgungsstromes dauerhaft zu speichern), ein geringer Energieverbrauch und eine hohe Geschwindigkeit.

[0004] Ein wesentliches Ziel bei der Entwicklung von Speicherelementen besteht in der Entwicklung und Verbesserung von nichtflüchtigen Speicherzellen (Non-Volatile Memory Cells, NVM Cells), d.h. Speicherzellen, bei denen ein durch einmaliges Programmieren/Beschreiben der Zelle gespeicherter Zustand über einen langen Zeitraum (typischerweise ≥ 10 Jahre) erhalten bleibt, ohne dass ein regelmäßiges Auffrischen des Zellen-Inhaltes, d.h. ein Wiederbeschreiben mit derselben Information, erforderlich ist.

[0005] Herkömmliche Speicher-Technologien sind z.B. Nur-Lese-Speicher (Read Only Memory, ROM), Programmierbare Nur-Lese-Speicher (Programmable Read Only Memory, PROM), Löschbare, programmierbare Nur-Lese-Speicher (Erasable Programmable Read Only Memory, EPROM), Elektrisch löschbare, programmierbare Nur-Lese-Speicher (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory, EEPROM), Dynamische Direktzugriffsspeicher (Dynamic Random Access Memory, DRAM) und Statische Direktzugriffsspeicher (Static Random Access Memory, SRAM).

[0006] ROM ist relativ kostengünstig aber nicht wiederbeschreibbar.

[0007] PROM kann elektrisch programmiert werden, allerdings nur ein einziges Mal, d.h. es kann nur ein einziger Schreibvorgang bzw. Schreibzyklus (write cycle) ausgeführt werden.

[0008] EPROM weist Lesevorgänge bzw. Lesezyklen (read cycles) auf, welche im Vergleich zu ROM-Lesezyklen oder PROM-Lesezyklen relativ schnell sind. Allerdings weist EPROM relativ lange Löscheziten (erase times) auf, und die Zuverlässigkeit von EPROM ist nur über einige wenige iterative Schreib-/Lesezyklen (read/write cycles) hinweg gegeben.

[0009] EEPROM (oder "Flash") ist kostengünstig und weist einen niedrigen Energieverbrauch auf, weist jedoch lange Schreibzyklen (in der Größenordnung von Millisekunden) auf sowie eine niedrige relative Geschwindigkeit im Vergleich zu DRAM oder SRAM. Flash weist außerdem nur eine endliche Zahl an Lese-/Schreibzyklen auf, was eine geringe Langzeitzuverlässigkeit zur Folge hat.

[0010] Bei ROM, PROM, EPROM und EEPROM handelt es sich um nichtflüchtige (nichtvolatile) Speicher-Techniken, d.h. bei einer Unterbrechung der Energiezufuhr zum Speicher bleibt die in den Speicherzellen des Speichers gespeicherte Information erhalten.

[0011] Bei DRAM werden Informationen in Form von Ladungen auf Transistor-Gates, welche Transistor-Gates als Kondensatoren arbeiten, gespeichert. Aufgrund von Entladungsvorgängen in den Kondensatoren muss die gespeicherte Ladung jedoch regelmäßig im Abstand von einigen wenigen Millisekunden elektrisch "aufgefrischt" werden (sogenannter Refresh-Vorgang). Dies hat eine höhere Komplexität des System-Designs zur Folge, da für das Auffrischen der Speicherinhalte separate Schaltungstechnik erforderlich ist.

[0012] Bei SRAM ist ein Auffrischen der Daten nicht erforderlich, und verglichen mit DRAM ist SRAM schnell. Allerdings weist SRAM eine niedrige Speicherdichte auf und ist teurer als DRAM.

[0013] Sowohl SRAM als auch DRAM sind flüchtige (volatile) Speichertechniken, d.h. bei einer Unterbrechung der Energiezufuhr zum Speicher verliert der Speicher die in den Speicherzellen gespeicherte Information.

[0014] Zusammenfassend kann gesagt werden, dass derzeit bestehende Speichertechnologien entweder nichtflüchtig sind, dann jedoch keinen wahlfreien Zugriff (Random Access) erlauben, eine niedri-

ge Speicherdichte, hohe Kosten und eine beschränkte Fähigkeit zu Mehrfach-Schreibvorgängen mit hoher Zuverlässigkeit der Schaltkreis-Funktion aufweisen; oder sie sind flüchtig und erschweren in diesem Fall das System-Design oder weisen eine geringe Speicherdichte auf.

[0015] In jüngerer Zeit aufgekommene Technologien haben versucht, die oben genannten Nachteile zu beheben. Zum Beispiel nutzen Magnetische Direktzugriffsspeicher (Magnetic Random Access Memory, MRAM) die Ausrichtung der Magnetisierung eines ferromagnetischen Bereiches zum Erzeugen einer nichtflüchtigen Speicherzelle. Analog dazu nutzen Ferroelektrische Direktzugriffsspeicher (Ferroelectric Random Access Memory, FRAM) die Ausrichtung der Polarisation eines ferroelektrischen Bereiches zum Erzeugen einer nichtflüchtigen Speicherzelle.

[0016] MRAM verwendet ein magnetoresistives Speicherelement, unter Ausnutzung des anisotropen Magnetwiderstands bzw. des Riesen-Magnetwiderstands (Giant Magneto Resistance, GMR) ferromagnetischer Materialien, wodurch Nichtflüchtigkeit des Speicherelementes erreicht wird. Eine andere Art von MRAM-Speicherzelle, welche auf magnetischen Tunnelübergängen (Magnetic Tunnel Junctions, MTJ) beruht, ist ebenfalls untersucht worden, hat jedoch nicht zu großtechnisch kommerzialisierten MRAM-Einrichtungen (MRAM-Devices) geführt.

[0017] Bei FRAM wird eine zu DRAM ähnliche Schaltkreis-Architektur verwendet, welche jedoch einen ferroelektrischen Dünnschicht-Kondensator (Thin Film Ferroelectric Capacitor) verwendet. Dieser Kondensator soll seine elektrische Polarisation behalten, nachdem ein extern angelegtes elektrisches Feld entfernt wird, so dass ein nichtflüchtiger Speicher realisiert werden kann. Auf FRAM-Technologie basierende Speicher-Einrichtungen sind z.B. in [1] bis [4] beschrieben.

[0018] Sowohl MRAM als auch FRAM weisen einen relativ hohen Widerstand und eine geringe Speicherdichte auf. Ein zusätzlicher Nachteil von FRAM besteht in der großen Speicherelementgröße und der damit verbundenen Schwierigkeit, FRAM-Speicherelemente in großem Maßstab als integrierte Komponente herzustellen.

[0019] Eine andere nichtflüchtige Speicher-Technologie stellt Phase Change Memory (PCM) dar. Diese Technologie speichert Informationen mittels einer strukturellen Phasenänderung in Dünnschicht-Legierungen, welche Legierungen Elemente wie z.B. Selen oder Tellur enthalten. Diese Legierungen sollen sowohl im kristallinen Zustand als auch im amorphen Zustand stabil bleiben, wodurch die Bildung eines bistabilen Schalters ermöglicht wird. Während die Nichtflüchtigkeits-Bedingung bei PCM erfüllt ist,

scheint diese Technologie jedoch darunter zu leiden, dass die Speicherelemente langsam im Betrieb sind, schwierig herzustellen sind, und dass die Zuverlässigkeit der Speicherelemente bisher nicht für eine Kommerzialisierung dieser Technologie ausreicht. Auf PCM-Technologie basierende Speicher-Einrichtungen sind z.B. in [5], [6], [7] beschrieben.

[0020] Eine andere Speicher-Technologie, die ebenfalls vorgeschlagen wurde, ist die sogenannte Molecular Wire Crossbar Memory (MWCM)-Technologie, siehe z.B. [8], [9], [10]. Gemäß diesem Ansatz ist es vorgesehen, Moleküle als bistabile Schalter zu verwenden. Dabei umschließen zwei Drähte, welche aus Metall oder halbleitendem Material bestehen, sandwichartig eine Schicht aus Molekülen oder Molekül-Verbindungen. Die Idee ist, chemische Verbindungen (chemical assembly) und elektrochemische Oxidationen bzw. Reduktionen dazu zu verwenden, einen "An"-Zustand bzw. "Aus"-Zustand zu realisieren. Diese Art von Speicher erfordert jedoch hochspezialisierte Draht-Übergänge (wire junctions), und aufgrund der inhärenten Instabilität von Redoxprozessen bleibt die Nichtvolatilitäts-Eigenschaft nicht dauerhaft erhalten.

[0021] Vor kurzem sind elektromechanische Speicher-Einrichtungen vorgeschlagen worden, welche nanoskopische Drähte wie z.B. einwandige Kohlenstoffnanoröhren (Single-Walled Carbon Nanotubes, SWCNT) zum Bilden von Kreuzungspunkt-Übergängen bzw. Crossbar-Übergängen (Crossbar Junctions) verwenden, um als Speicherzellen zu dienen, siehe z.B. [11], [12]. Diese Einrichtungen werden im Folgenden als Nanotube Wire Crossbar Memories (NTWCMs) bezeichnet. Bei diesen NTWCM-Einrichtungen werden Speicherzellen dadurch realisiert, dass einzelne einwandige Nanoröhren-Drähte hängend über anderen Drähten angeordnet sind, wobei die hängenden Nanoröhren-Drähte auf Stützelementen (supports) aufgebracht sind. An einen Draht oder an beide Drähte werden elektrische Signale angelegt, welche Signale bewirken, dass sich die Drähte gegenseitig anziehen oder abstoßen. Jeder physikalische Zustand (i.e. sich anziehende Drähte oder sich abstoßende Drähte) entspricht dabei einem elektrischen Zustand. Sich abstoßende Drähte stellen eine offene Schaltkreis-Verbindung dar. Sich anziehende Drähte stellen hingegen einen geschlossenen Zustand dar, wobei eine gleichgerichtete Verbindung gebildet ist. Wenn die elektrische Spannung von dem Übergang entfernt wird, so verbleiben die Drähte (z.B. aufgrund von van-der-Waals-Bindungen) in ihrem physikalischen (und damit elektrischen) Zustand, wodurch eine nichtflüchtige Speicherzelle gebildet wird.

[0022] Die bisher vorgeschlagenen NTWCM-Einrichtungen beruhen auf gerichtetem Wachstum oder chemischen Selbst-Anordnungs-Techniken zum

Wachsen der einzelnen Nanoröhren, welche für die Speicherzellen benötigt werden. Von diesen Techniken glaubt man mittlerweile, dass sie bei Verwendung moderner Technologie schwierig im kommerziellen Maßstab anzuwenden sind. Darüberhinaus können diese Techniken inhärente Beschränkungen aufweisen, zum Beispiel hinsichtlich der Länge von Nanoröhren, welche unter Verwendung dieser Techniken zuverlässig gewachsen werden können. Zusätzlich kann es schwierig sein, die statistische Varianz der Geometrien von auf diese Weise gewachsenen Nanoröhren-Drähten zu kontrollieren.

[0023] Bei einer Weiterentwicklung der in [11] offenbarten NTWCM-Einrichtungen werden die hängenden nanoskopischen Drähte, welche in den NTWCM-Einrichtungen aus [11] verwendet werden, durch Bänder (ribbons) ersetzt, welche aus einer mattenförmigen Schicht (matted layer) aus Nanoröhren bzw. einer Vlies-Struktur (non-woven fabric) aus Nanoröhren gebildet sind. Diese Einrichtungen werden im Folgenden als Nanoröhren-Gurt-Strukturen (Nanotube Belt Structures) bzw. Nanotube Ribbon Crossbar Memories (NTRCMs) bezeichnet. Von diesen Nanoröhren-Gurt-Strukturen glaubt man, dass sie einfacher bei den gewünschten Integrations-Leveln und Integrations-Maßstäben (gemessen in der Anzahl der hergestellten Einrichtungen bzw. Devices) herzustellen sind, und dass sie einfacher zu kontrollieren sind.

[0024] Ein Nachteil der Nanoröhren-Gurt-Strukturen bzw. NTRCMs besteht jedoch darin, dass ein zuverlässiger Betrieb nur schwer möglich ist, da es bei diesen Strukturen immer einige Nanoröhren gibt, die zu kurz sind und sich daher möglicherweise nicht über den gesamten Zwischenraum bis zur anderen Seite hin erstrecken. Bei einem Löschvorgang der Speicherzelle wird dann zwar die Mehrzahl der Nanoröhren von dem Kontakt abgestoßen, eine oder mehrere Nanoröhren bleiben jedoch kontaktiert, was dazu führt, dass ein gespeichertes Bit nicht gelöscht werden kann.

[0025] Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, eine nichtflüchtige elektromechanische Speicher-Einrichtung bereitzustellen, bei der die oben genannten Nachteile zumindest teilweise überwunden bzw. reduziert sind.

[0026] Das Problem wird durch eine elektromechanische Speicher-Einrichtung sowie ein Verfahren zum Herstellen einer elektromechanischen Speicher-Einrichtung mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

[0027] Beispielhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen. Die im Zusammenhang mit der elektromechanischen Speicher-Einrichtung beschriebenen Ausgestaltungen der Erfindung gelten sinngemäß auch für

das Verfahren zum Herstellen einer elektromechanischen Speicher Einrichtung und umgekehrt.

[0028] Es wird eine elektromechanische Speicher-Einrichtung bereitgestellt, mit mindestens einer in oder auf einem Substrat ausgebildeten elektrisch leitfähigen Schicht; mit mindestens einem auf dem Substrat ausgebildeten Abstandshalter, welcher so ausgebildet ist, dass die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht neben dem mindestens einen Abstandshalter angeordnet ist; mit mindestens einer zumindest über einem Teilbereich des Substrats ausgebildeten Kohlenstoffschicht, welche die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht überkreuzt, wobei die mindestens eine Kohlenstoffschicht zumindest teilweise auf dem mindestens einen Abstandshalter ausgebildet ist, derart, dass ein Zwischenraum zwischen der mindestens einen Kohlenstoffschicht und der mindestens einen von der mindestens einen Kohlenstoffschicht überkreuzten elektrisch leitfähigen Schicht gebildet ist, und wobei die mindestens eine Kohlenstoffschicht derart eingerichtet ist, dass sie mit der mindestens einen überkreuzten elektrisch leitfähigen Schicht in Kontakt gebracht werden kann.

[0029] Bei einem Verfahren zum Herstellen einer elektromechanischen Speicher-Einrichtung wird mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht in oder auf einem Substrat gebildet. Ferner wird mindestens ein Abstandshalter auf dem Substrat gebildet, derart, dass die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht neben dem mindestens einen Abstandshalter angeordnet ist. Weiterhin wird mindestens eine Kohlenstoffschicht zumindest über einem Teilbereich des Substrats gebildet, welche die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht überkreuzt, wobei die mindestens eine Kohlenstoffschicht zumindest teilweise auf dem mindestens einen Abstandshalter gebildet wird, derart, dass ein Zwischenraum zwischen der mindestens einen Kohlenstoffschicht und der mindestens einen von der mindestens einen Kohlenstoffschicht überkreuzten elektrisch leitfähigen Schicht gebildet wird, und wobei die mindestens eine Kohlenstoffschicht derart gebildet wird, dass sie mit der mindestens einen überkreuzten elektrisch leitfähigen Schicht in Kontakt gebracht werden kann.

[0030] Ein Aspekt der Erfindung kann darin gesehen werden, dass eine nichtflüchtige (nichtvolatile) elektromechanische Speicher-Einrichtung ähnlich den im vorangegangenen beschriebenen NTWCM-Einrichtungen bzw. NTRCM-Einrichtungen bereitgestellt wird, wobei jedoch anstelle von Nanoröhren (bei NTWCM) bzw. Bändern (bei NTRCM) eine oder mehrere zusammenhängende Kohlenstoffschichten als Schaltelement in der Speicher-Einrichtung bzw. in einer Speicherzelle der Speicher-Einrichtung verwendet werden.

[0031] Die Funktionsweise der elektromechani-

schen Speicher-Einrichtung beruht u.a. darauf, dass an einen unteren elektrischen Kontakt bzw. eine untere Elektrode (welcher untere elektrische Kontakt bzw. welche untere Elektrode durch eine in oder auf einem Substrat ausgebildete elektrisch leitfähige Schicht gebildet wird) und/oder an einen oberen elektrischen Kontakt bzw. eine obere Elektrode (welcher obere elektrische Kontakt bzw. welche obere Elektrode durch eine Kohlenstoffschicht gebildet wird) elektrische Signale (z.B. elektrische Spannungen) angelegt werden, welche Signale bewirken, dass sich die beiden Elektroden gegenseitig anziehen oder abstoßen. Die die obere Elektrode bildende Kohlenstoffschicht ist dabei so eingerichtet, dass sie mit der unteren Elektrode, d.h. der elektrisch leitfähigen Schicht in Kontakt gebracht werden kann. Anders ausgedrückt kann sich, wenn sich die beiden Elektroden bei Anlegen geeigneter elektrischer Signale gegenseitig aufgrund elektrischer bzw. elektrostatischer Wechselwirkungen gegenseitig anziehen, die Kohlenstoffschicht oberhalb der elektrisch leitfähigen Schicht so weit verformen, bis sie mit der elektrisch leitfähigen Schicht in Kontakt tritt. Umgekehrt kann sich bei elektrischer Abstoßung der beiden Elektroden die Kohlenstoffschicht wieder in die entgegengesetzte Richtung verformen, so dass der Kontakt mit der elektrisch leitfähigen Schicht gelöst werden kann. Dieser Vorgang kann vielfach wiederholt werden.

[0032] Wie im Zusammenhang mit den NTW-CM-Einrichtungen bzw. NTRCM-Einrichtungen erwähnt, entspricht jeder physikalische Zustand (i.e. sich anziehende Elektroden oder sich abstoßende Elektroden) einem elektrischen Zustand. Sich abstoßende Elektroden stellen eine offene Schaltkreis-Verbindung dar. Sich anziehende Elektroden (bzw. kontaktierte Elektroden) stellen hingegen einen geschlossenen Zustand dar, wobei eine gleichgerichtete Verbindung gebildet werden kann. Wenn die elektrische Spannung von dem Übergang entfernt wird, so verbleiben die Elektroden, d.h. insbesondere die die obere Elektrode bildende Kohlenstoffschicht, (z.B. aufgrund von van-der-Waals-Bindungen) in ihrem physikalischen (und damit elektrischen) Zustand, wodurch eine nichtflüchtige Speicherzelle gebildet wird.

[0033] Die elektromechanische Speicher-Einrichtung kann als eine Hybrid-Speicher-Einrichtung aufgefasst werden, welche elektrische Effekte (Erzeugen von anziehenden bzw. abstoßenden elektrischen Feldern durch Anlegen von elektrischen Signalen/Spannungen an elektrische Kontakte) mit mechanischen Effekten (mechanische, reversible Verformung einer Kohlenstoffschicht) kombiniert, um Informationen bzw. Daten nichtflüchtig bzw. dauerhaft zu speichern.

[0034] Anschaulich bildet die Kohlenstoffschicht ein Schaltelement bzw. einen Schalter, welcher Schalter

durch Anlegen von elektrischen Signalen (Spannungen) an eine elektrisch leitfähige Schicht und/oder an die Kohlenstoffschicht zwischen einem offenen Zustand (kein Kontakt mit der elektrisch leitfähigen Schicht) und einem geschlossenen Zustand (in Kontakt mit der elektrisch leitfähigen Schicht) hin- und hergeschaltet werden kann. Das Hin- und Herschalten zwischen offenem und geschlossenem Zustand kann dabei mit einer hohen Geschwindigkeit erfolgen, welche in der Größenordnung von ungefähr 1 Hz bis 10 GHz liegen kann, so dass die elektromechanische Speicher-Einrichtung vorteilhaft für Hochgeschwindigkeits-Anwendungen (High Speed Applications) verwendet werden kann.

[0035] Ein anderer Vorteil der Erfindung kann darin gesehen werden, dass durch die Verwendung einer zusammenhängenden Kohlenstoffschicht die günstigen Eigenschaften des Materials Kohlenstoff (z.B. Festigkeit, elektrische Leitfähigkeit, chemische Inertheit) vereint werden mit der zum Beispiel im Vergleich zu Nanoröhren wesentlich einfacheren Prozessierbarkeit von Schichtstrukturen. Beispielsweise können herkömmliche lithographische Techniken und/oder Ätztechniken zum Strukturieren der Kohlenstoffschicht verwendet werden, im Gegensatz zum Stand der Technik, bei dem Nanoröhren an genau definierten Orten in genau definierte Richtungen gewachsen werden müssen, was einen hohen prozesstechnischen Aufwand erfordert.

[0036] Ein weiterer Vorteil der Erfindung kann darin gesehen werden, dass durch die Verwendung einer Kohlenstoffschicht als Schaltelement ein in der elektromechanischen Speicher-Einrichtung gespeichertes Bit sicher gelöscht werden kann, da bei einer durch Anlegen von elektrischen Signalen bewirkten elektrischen bzw. elektrostatischen Abstoßung der Kontakt zwischen der elektrisch leitfähigen Schicht und der Kohlenstoffschicht zuverlässig gelöst, anders ausgedrückt aufgehoben, werden kann, im Gegensatz zum Stand der Technik, bei dem wie oben erwähnt einzelne Nanoröhren beim Löschvorgang kontaktiert bleiben und somit das Bit nicht sicher gelöscht wird.

[0037] Ein weiterer Vorteil bei der Verwendung einer Kohlenstoffschicht als Schaltelement kann darin gesehen werden, dass weder ein Vakuumbonden noch eine Oxidation der Kontaktflächen erfolgt. Würde der Schalter bzw. das Schaltelement aus Metall bestehen, so ist bekannt, dass es hier zum Bonden der Kontaktflächen kommen kann. Eine Oxidation der Kontaktfläche, wie sie bei Verwendung von Metallen und Polysilizium auftreten kann, würde dazu führen, dass sich die Widerstände im Lauf der Zeit ändern und somit ein Auslesen des Zustands erschwert würde. Durch die Verwendung einer Kohlenstoffschicht in der elektromechanischen Speicher-Einrichtung werden diese Probleme jedoch vermieden.

[0038] Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist es vorgesehen, dass das Substrat ein dielektrisches Material bzw. Dielektrikum aufweist. Mit anderen Worten kann ein elektrisch isolierendes Material als Substrat-Material verwendet werden.

[0039] Gemäß einer anderen Ausgestaltung ist die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht als elektrisch leitfähige Kohlenstoffschicht, anders ausgedrückt als metallische Kohlenstoffschicht, ausgebildet.

[0040] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung weist die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht ein Refraktär-Material, anders ausgedrückt ein hochschmelzendes bzw. hitzebeständiges Material, auf, zum Beispiel ein Refraktär-Metall.

[0041] Die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht kann beispielsweise eines der folgenden Materialien aufweisen: Tantal (Ta), Tantalnitrid (TaN), Titan (Ti), Titanitrid (TiN), Molybdän (Mo).

[0042] Gemäß einer anderen Ausgestaltung der Erfindung weist der mindestens eine Abstandshalter ein Refraktär-Material, anders ausgedrückt ein hochschmelzendes bzw. hitzebeständiges Material, auf.

[0043] Ein Abstandshalter kann beispielsweise eines der folgenden Materialien aufweisen: Titan (Ti), Tantal (Ta), Wolfram (W), Siliziumnitrid (Si_3N_4) oder ein Carbid-Material.

[0044] Alternativ kann Kohlenstoff als Material für einen Abstandshalter verwendet werden.

[0045] Ein Abstandshalter kann parallel zur Substratoberfläche beispielsweise einen rechteckförmigen Querschnitt oder quadratischen Querschnitt aufweisen. Alternativ kann der Abstandshalter parallel zur Substratoberfläche eine andere Querschnittsform aufweisen.

[0046] Gemäß einer anderen Ausgestaltung der Erfindung kann ein auf dem Substrat ausgebildeter Abstandshalter, z.B. ein Abstandshalter mit einem quadratischen Querschnitt parallel zur Substratoberfläche, eine laterale (d.h. parallel zur Substratoberfläche) Ausdehnung aufweisen, welche in der Größenordnung der minimalen Merkmalsgröße F (Minimum Feature Size) der verwendeten Technologie liegt.

[0047] Die laterale Ausdehnung eines Abstandshalters kann beispielsweise ungefähr 5 nm bis 200 nm betragen.

[0048] Gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung ist es vorgesehen, dass ein Abstandshalter eine Dicke von ungefähr 1 nm bis 100 nm aufweist. Unter der Dicke eines Abstandshalters ist da-

bei die Ausdehnung des Abstandshalters senkrecht zur Substratoberfläche zu verstehen.

[0049] Gemäß einer anderen Ausgestaltung der Erfindung weist die mindestens eine Kohlenstoffschicht ein elektrisch leitfähiges Kohlenstoffmaterial, anders ausgedrückt ein metallisches Kohlenstoffmaterial, auf. Die Kohlenstoffschicht kann daher gemäß dieser Ausgestaltung alternativ als elektrisch leitfähige Kohlenstoffschicht bzw. metallische Kohlenstoffschicht bezeichnet werden.

[0050] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung weist die mindestens eine Kohlenstoffschicht eine Dicke von ungefähr 1 nm bis 100 nm auf.

[0051] Die mindestens eine Kohlenstoffschicht kann mit Hilfe eines Abscheideverfahrens gebildet werden.

[0052] Als Abscheideverfahren zum Bilden der Kohlenstoffschicht kann ein in [13] beschriebenes Verfahren zum Abscheiden eines Kohlenstoffmaterials verwendet werden. Demgemäß kann zum Beispiel ein Innenraum einer Prozesskammer auf eine vorbestimmte Temperatur erhitzt werden, zum Beispiel auf eine Temperatur zwischen 400°C und 1200°C (beispielsweise auf 600°C oder 950°C). Ferner kann das Substrat, einschließlich der mindestens einen in dem Substrat ausgebildeten elektrisch leitfähigen Schicht sowie der Mehrzahl von auf dem Substrat ausgebildeten Abstandshaltern, in die Prozesskammer eingebracht werden, und die Prozesskammer auf einen ersten vorbestimmten Druck, welcher weniger als 1 Pa (Pascal), zum Beispiel weniger als 1/8 Pa betragen kann, evakuiert werden. Weiterhin kann ein Gas, welches zumindest Kohlenstoff aufweist, zum Beispiel ein organisches Gas wie zum Beispiel Methan (CH_4), eingeleitet werden, bis ein zweiter vorbestimmter Druck erreicht ist, welcher höher als der erste vorbestimmte Druck sein kann. Der zweite vorbestimmte Druck kann beispielsweise zwischen 10 hPa und 1013 hPa liegen, zum Beispiel zwischen 300 hPa und 700 hPa. Das Kohlenstoff-Material kann auf den auf dem Substrat ausgebildeten Abstandshaltern und auf einer eventuell auf dem Substrat und/oder der mindestens einen elektrisch leitfähigen Schicht ausgebildeten Opferschicht aus dem kohlenstoffhaltigen Gas, zum Beispiel dem Methan-Gas, abgeschieden werden. Nach dem Abscheiden des Kohlenstoff-Materials kann wahlweise eine Temperung bei zum Beispiel 1050°C erfolgen.

[0053] Gemäß einer anderen Ausgestaltung ist es vorgesehen, dass die elektromechanische Speicher-Einrichtung eine Mehrzahl von in oder auf dem Substrat ausgebildeten elektrisch leitfähigen Schichten, eine Mehrzahl von auf dem Substrat ausgebildeten Abstandshaltern sowie eine Mehrzahl von Kohlenstoffschichten aufweist, und dass die elektrisch leitfähigen Schichten, die Mehrzahl von Abstandshal-

tern und die Mehrzahl von Kohlenstoffschichten so angeordnet sind, dass ein Kreuzungspunkt-Array bzw. Crossbar-Array gebildet ist. Anders ausgedrückt ist ein Array gebildet, bei dem elektrisch leitfähige Schichten und Kohlenstoffschichten einander kreuzen.

[0054] Ein solches Crossbar-Array bildet anschaulich ein Array aus mehreren elektromechanischen Speicherzellen, bei dem eine einzelne Speicherzelle durch einen Kreuzungspunkt-Übergang bzw. Crossbar-Übergang (Crossbar Junction) zwischen einer elektrisch leitfähigen Schicht (bzw. metallischen Leiterbahn) und einer diese Leiterbahn kreuzenden Kohlenstoffschicht (Kohlenstoff-Leiterbahn) realisiert wird. Die elektrisch leitfähige Schicht bildet dabei einen unteren Kontakt bzw. eine untere Elektrode, und die Kohlenstoffschicht bildet entsprechend einen oberen Kontakt bzw. eine obere Elektrode.

[0055] Ein Kreuzungspunkt-Array (Crossbar-Array) aus elektromechanischen Speicherzellen kann als Speicherzellen-Kern-Schaltkreis (Memory Cell Core Circuit) aufgefasst werden. Mit Hilfe eines mit dem Kern-Schaltkreis, genauer mit den Elektroden des Kern-Schaltkreises, gekoppelten Zugriffs-Schaltkreises (Access Circuit) können dem Kern-Schaltkreis Array-Adressen zugewiesen werden, um einzelne Speicherzellen der elektromechanischen Speicher-Einrichtung auszuwählen. Mit anderen Worten können mit Hilfe des Zugriffs-Schaltkreises einzelne Elektroden des Speicherzellen-Kern-Schaltkreises angesteuert werden. Ein solcher Zugriffs-Schaltkreis kann unter Verwendung von Standard-Halbleiter-Schaltkreis-Elementen bereitgestellt werden.

[0056] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung können je zwei benachbarte einer Mehrzahl von Abstandshaltern (z.B. in einem Kreuzungspunkt-Array) einen lateralen Abstand aufweisen, welcher in der Größenordnung der minimalen Merkmalsgröße F (Minimum Feature Size) der verwendeten Technologie liegt. Der laterale Abstand zwischen zwei benachbarten Abstandshaltern kann beispielsweise ungefähr 5 nm bis 1000 nm betragen.

[0057] Gemäß einer anderen Ausgestaltung der Erfindung wird die mindestens eine Kohlenstoffschicht unter Verwendung eines Lithographieverfahrens und/oder eines Ätzverfahrens strukturiert.

[0058] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung ist es vorgesehen, dass vor dem Bilden der Kohlenstoffschicht mindestens eine Opferschicht auf dem Substrat und/oder auf der mindestens einen elektrisch leitfähigen Schicht gebildet wird.

[0059] Die Opferschicht kann zum Beispiel Siliziumdioxid-Material aufweisen, welches beispielsweise mittels eines Abscheideverfahrens bzw. eines chemi-

schen Gasphasenabscheideverfahrens wie z.B. PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) oder mittels eines Schleuderbeschichtungs-Verfahrens (Spin-on-Verfahren) aufgebracht werden kann. Wahlweise können auch andere Materialien, wie zum Beispiel amorphes Silizium oder Aluminiumoxid mittels PECVD bzw. Atomic Layer Deposition (ALD) als Opferschicht aufgebracht werden, wobei die vorgenannten Materialien selektiv zur Umgebung zum Beispiel mittels eines Ätzverfahrens, z.B. eines nasschemischen Ätzverfahrens (Nassätzen), entfernt werden können.

[0060] Mit Hilfe der Dicke der Opferschicht, welche Dicke beispielsweise im Bereich von 1 nm bis 100 nm liegen kann, kann der Abstand zwischen der unteren Kontaktelektrode (elektrisch leitfähige Schicht) und der oberen Kontaktelektrode (Kohlenstoffschicht) definiert werden, so dass dieser Abstand beliebig eingestellt, anders ausgedrückt gewählt, werden kann. Der Bereich um die Stützstellen (i.e. um die Abstandshalter) herum kann nach dem Bilden der Kohlenstoffschicht wieder freigelegt werden, zum Beispiel durch Chemisch-Mechanisches Polieren (Chemical Mechanical Polishing, CMP) oder durch Phototechnik und nasschemisches Entfernen (Nassätzen) der Opferschicht.

[0061] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung wird der Zwischenraum zwischen der mindestens einen Kohlenstoffschicht und der mindestens einen von der mindestens einen Kohlenstoffschicht überkreuzten elektrisch leitfähigen Schicht durch Entfernen der auf dem Substrat und/oder auf der mindestens einen elektrisch leitfähigen Schicht ausgebildeten Opferschicht gebildet.

[0062] Das Entfernen der Opferschicht kann mit Hilfe eines Nassätzverfahrens erfolgen.

[0063] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren dargestellt und werden im Folgenden näher erläutert. In den Figuren sind gleiche oder ähnliche Elemente, soweit sinnvoll, mit gleichen oder identischen Bezugszeichen versehen. Die in den Figuren gezeigten Darstellungen sind schematisch und daher nicht maßstabsgetreu gezeichnet.

[0064] Es zeigen

[0065] [Fig. 1A](#) eine Querschnittsansicht einer elektromechanischen Speicher-Einrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0066] [Fig. 1B](#) und [Fig. 1C](#) Querschnittsansichten der elektromechanischen Speicher-Einrichtung aus [Fig. 1A](#) während anderer Betriebszustände;

[0067] [Fig. 2](#) eine Layout-Darstellung der elektromechanischen Speicher-Einrichtung aus [Fig. 1A](#);

[0068] [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3F](#) verschiedene Prozessschritte während eines Verfahrens zur Herstellung einer elektromechanischen Speicher-Einrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0069] [Fig. 4A](#) eine Querschnittsansicht einer elektromechanischen Speicher-Einrichtung gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0070] [Fig. 4B](#) und [Fig. 4C](#) Querschnittsansichten der elektromechanischen Speicher-Einrichtung aus [Fig. 4A](#) während anderer Betriebszustände;

[0071] [Fig. 5](#) eine Layout-Darstellung der elektromechanischen Speicher-Einrichtung aus [Fig. 4A](#).

[0072] [Fig. 1A](#) zeigt eine elektromechanische Speicher-Einrichtung **100** gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Die elektromechanische Speicher-Einrichtung **100** weist ein Substrat **101** auf, welches aus einem dielektrischen Material (Dielektrikum) bzw. einem elektrisch isolierenden Material gebildet ist. In dem Substrat **101** sind eine erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** und eine zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b** ausgebildet. Die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** und die zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b** können ein Refraktär-Metall, d.h. ein hochschmelzendes metallisches Material wie z.B. Tantal, Tantalnitrid, Titan, Titannitrid, Molybdän oder andere geeignete elektrisch leitfähige Materialien wie z.B. metallischen Kohlenstoff aufweisen. Die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** und die zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b** bilden anschaulich eine erste elektrische Leiterbahn bzw. eine erste untere Elektrode **102a** und eine zweite elektrische Leiterbahn bzw. eine zweite untere Elektrode **102b** der elektromechanischen Speicher-Einrichtung **100**, welche Leiterbahnen bzw. untere Elektroden **102a**, **102b** im Wesentlichen parallel zueinander und senkrecht zur Zeichenebene der [Fig. 1A](#) verlaufen, was aus der in [Fig. 2](#) gezeigten Layout-Darstellung der elektromechanischen Speicher-Einrichtung **100** ersichtlich ist, aus welcher Layout-Darstellung sich die in [Fig. 1A](#) gezeigte Darstellung als Querschnittsansicht entlang der gestrichelten Linie A-A' in [Fig. 2](#) ergibt.

[0073] [Fig. 2](#) veranschaulicht, dass die elektromechanische Speicher-Einrichtung **100** des gezeigten Ausführungsbeispiels als Kreuzungspunkt-Array bzw. Crossbar-Array ausgebildet ist.

[0074] Die in [Fig. 1A](#) bzw. [Fig. 2](#) gezeigte elektromechanische Speicher-Einrichtung **100** weist beispielhaft zwei als untere Elektroden dienende elektrisch leitfähige Schichten **102a** und **102b** auf. In alternativen Ausgestaltungen der Erfindung kann eine elektromechanische Speicher-Einrichtung auch eine andere Anzahl an elektrisch leitfähigen Schichten aufweisen. Eine als Kreuzungspunkt-Array bzw.

Crossbar-Array ausgebildete Speicher-Einrichtung kann z.B. eine Vielzahl (typischerweise in der Größenordnung von 10^6 cm^{-2} bis 10^{10} cm^{-2}) von elektrisch leitfähigen Schichten (unteren Elektroden) aufweisen.

[0075] Die elektromechanische Speicher-Einrichtung **100** weist weiterhin eine Mehrzahl von auf dem Substrat **101** ausgebildeten Abstandshaltern **103** auf, welche so angeordnet sind, dass die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** und die zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b** jeweils neben bzw. zwischen mindestens zwei Abstandshaltern **103** angeordnet sind. Aus der in [Fig. 2](#) gezeigten Layout-Darstellung der Speicher-Einrichtung **100** ist ersichtlich, dass die Abstandshalter **103** in einem regulären rechteckförmigen Array in Zeilen und Spalten angeordnet sind. Anschaulich sind die Abstandshalter **103** auf Gitterplätzen eines Rechteckgitters angeordnet, wobei zwischen jeweils zwei Spalten des Gitters eine elektrisch leitfähige Schicht parallel zu den Gitterspalten angeordnet ist. Die Abstandshalter **103** können eine Dicke (senkrecht zur Substratoberfläche) von ungefähr 1 nm bis 100 nm aufweisen. Ferner können die Abstandshalter **103** eine laterale Ausdehnung (entlang der Gitterachsen) von ungefähr 5 nm bis 200 nm aufweisen, und der Abstand zwischen zwei benachbarten Abstandshaltern **103** entlang der Gitterachsen kann ungefähr 5 nm bis 1000 nm betragen, wobei in diesem Zusammenhang unter zwei "benachbarten" Abstandshaltern zwei Abstandshalter auf Nächste-Nachbar-(NN)-Gitterplätzen des Rechteckgitters zu verstehen ist. Die Abstandshalter **103** können ein Refraktär-Material, anders ausgedrückt ein hochschmelzendes bzw. hitzebeständiges Material, aufweisen, z.B. Titan (Ti), Tantal (Ta), Wolfram (W), Siliziumnitrid (Si_3N_4) oder ein Carbid-Material. Alternativ können die Abstandshalter Kohlenstoff aufweisen.

[0076] Die elektromechanische Speicher-Einrichtung **100** weist weiterhin eine Mehrzahl von elektrisch leitfähigen Kohlenstoffschichten auf, von welchen eine erste Kohlenstoffschicht **104a** in [Fig. 1A](#) gezeigt ist. Eine zweite Kohlenstoffschicht **104b**, eine dritte Kohlenstoffschicht **104c** sowie eine vierte Kohlenstoffschicht **104d** sind aus der in [Fig. 2](#) gezeigten Layout-Darstellung der elektromechanischen Speicher-Einrichtung **100** ersichtlich.

[0077] Die erste Kohlenstoffschicht **104a**, die zweite Kohlenstoffschicht **104b**, die dritte Kohlenstoffschicht **104c** und die vierte Kohlenstoffschicht **104d** können jeweils eine Dicke (senkrecht zur Substratoberfläche) von ungefähr 1 nm bis 100 nm aufweisen.

[0078] Jede einzelne der vier Kohlenstoffschichten **104a**, **104b**, **104c** und **104d** ist über einem Teilbereich des Substrats **100** ausgebildet und überkreuzt die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** und die zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b**. Die Kohlen-

stoffschichten **104a**, **104b**, **104c** und **104d** sind dabei jeweils so auf entsprechenden Abstandshaltern ausgebildet, dass ein Zwischenraum **105** zwischen der Kohlenstoffschicht **104a**, **104b**, **104c** bzw. **104d** und der von der jeweiligen Kohlenstoffschicht überkreuzten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** bzw. **102b** gebildet ist. Mit anderen Worten wird mit Hilfe der Abstandshalter **103** ein Abstand zwischen den Kohlenstoffschichten **104a**, **104b**, **104c** bzw. **104d** und der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** bzw. der zweiten elektrisch leitfähigen Schicht **102b** geschaffen, so dass die Kohlenstoffschichten **104a**, **104b**, **104c** und **104d** die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** bzw. die zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b** nicht berühren.

[0079] Anschaulich bilden die erste Kohlenstoffschicht **104a**, die zweite Kohlenstoffschicht **104b**, die dritte Kohlenstoffschicht **104c** und die vierte Kohlenstoffschicht **104d** eine erste obere Elektrode **104a**, eine zweite obere Elektrode **104b**, eine dritte obere Elektrode **104c** und eine vierte obere Elektrode **104d**, welche oberen Elektroden durch die Abstandshalter **103** gestützt werden und über den unteren Elektroden **102a**, **102b** hängend angeordnet sind.

[0080] Die erste Kohlenstoffschicht **104a**, die zweite Kohlenstoffschicht **104b**, die dritte Kohlenstoffschicht **104c** und die vierte Kohlenstoffschicht **104d** weisen ein elektrisch leitfähiges Kohlenstoff-Material bzw. metallischen Kohlenstoff auf und bilden anschaulich eine erste obere Elektrode **104a**, eine zweite obere Elektrode **104b**, eine dritte obere Elektrode **104c** bzw. eine vierte obere Elektrode **104d** der elektromechanischen Speicher-Einrichtung **100**. Die oberen Elektroden bzw. Kohlenstoffschichten **104a**, **104b**, **104c** und **104d** verlaufen dabei im Wesentlichen parallel zueinander und werden anschaulich durch die Abstandshalter **103** gestützt.

[0081] Die in [Fig. 1A](#) bzw. [Fig. 2](#) gezeigte elektromechanische Speicher-Einrichtung **100** weist beispielhaft vier als obere Elektroden dienende Kohlenstoffschichten **104a**, **104b**, **104c** bzw. **104d** auf. In alternativen Ausgestaltungen der Erfindung kann die Speicher-Einrichtung auch eine andere Anzahl von Kohlenstoffschichten (bzw. oberen Elektroden) aufweisen. Eine als Kreuzungspunkt-Array bzw. Crossbar-Array ausgebildete Speicher-Einrichtung kann z.B. eine Vielzahl (typischerweise in der Größenordnung von 10^6 cm^{-2} bis 10^{10} cm^{-2}) elektrisch leitfähiger Kohlenstoffschichten (oberen Elektroden) aufweisen.

[0082] [Fig. 2](#) zeigt die als Kreuzungspunkt-Array bzw. Crossbar-Array ausgebildete Speicher-Einrichtung **100** als Layout-Darstellung, wobei zu erkennen ist, dass aufgrund der Crossbar-Struktur die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** und die zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b** zueinander parallel verlaufen, und dass die vier Kohlenstoffschichten **104a**,

104b, **104c** und **104d**, welche die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** und die zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b** überkreuzen und von den Abstandshaltern **103** gestützt werden, ebenfalls zueinander parallel verlaufen. Ferner ist gezeigt, dass die Kohlenstoffschichten **104a**, **104b**, **104c** und **104d** die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** und die zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b** jeweils in einem Winkel von 90° , d.h. senkrecht, überkreuzen bzw. schneiden.

[0083] In alternativen Ausgestaltungen der Erfindung können die vorgenannten Merkmale teilweise oder ganz entfallen, d.h. eine oder mehrere elektrisch leitfähige Schichten können z.B. schräg (nicht-parallel) zueinander verlaufen und/oder einzelne oder mehrere Kohlenstoffschichten können ebenfalls schräg (nicht-parallel) zueinander verlaufen. Ebenfalls können eine oder mehrere Kohlenstoffschichten (obere Elektroden) einer Speicher-Einrichtung eine oder mehrere elektrisch leitfähige Schichten (untere Elektroden) der Speicher-Einrichtung in einem Winkel überkreuzen bzw. schneiden, welcher von 90° abweicht.

[0084] In [Fig. 2](#) ist ferner gezeigt, dass alle Kohlenstoffschichten, d.h. die erste Kohlenstoffschicht **104a**, die zweite Kohlenstoffschicht **104b**, die dritte Kohlenstoffschicht **104c** und die vierte Kohlenstoffschicht **104d**, sowohl die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** (erste untere Elektrode) als auch die zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b** (zweite untere Elektrode) überkreuzen. In alternativen Ausgestaltungen ist es jedoch auch möglich, dass eine oder mehrere Kohlenstoffschichten jeweils nur einen Teil der elektrisch leitfähigen Schichten überkreuzt. Zum Beispiel können in einer alternativen Ausführungsform die erste Kohlenstoffschicht **104a** und die dritte Kohlenstoffschicht **104c** nur die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** überkreuzen, während die zweite Kohlenstoffschicht **104b** und die vierte Kohlenstoffschicht **104d** nur die zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b** überkreuzen.

[0085] Die vorangegangenen Überlegungen lassen sich in analoger Weise auf elektromechanische Speicher-Einrichtungen mit einer beliebigen Anzahl an elektrisch leitfähigen Schichten (unteren Elektroden) bzw. Kohlenstoffschichten (oberen Elektroden) übertragen.

[0086] In der in [Fig. 1A](#) gezeigten elektromechanischen Speicher-Einrichtung **100** sind die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** (erste Leiterbahn) und die zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b** (zweite Leiterbahn) in dem Substrat **100** ausgebildet, derart, dass sie jeweils eine zu der oberen Oberfläche des Substrats **100** koplanare obere Oberfläche aufweisen. In alternativen (nicht gezeigten) Ausgestaltungen der Erfindung können die erste elektrisch leitfähige

ge Schicht **102a** und die zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b** (und eventuell weitere nicht gezeigte elektrisch leitfähige Schichten) auch teilweise aus dem Substrat **101** "herausragen" oder auf dem Substrat **101** ausgebildet sein. Die Dicke der Abstandshalter **103** kann dementsprechend gewählt werden, dass auch bei ganz oder teilweise aus dem Substrat **101** herausragenden bzw. auf dem Substrat **101** ausgebildeten elektrisch leitfähigen Schichten **102a**, **102b** zwischen der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** bzw. der zweiten elektrisch leitfähigen Schicht **102b** und den elektrisch leitfähigen Kohlenstoffschichten **104a**, **104b**, **104c**, **104d** jeweils ein Zwischenraum **105** gebildet ist.

[0087] Die in [Fig. 1A](#) und [Fig. 2](#) gezeigte elektromechanische Speicher-Einrichtung **100** kann auch als ein Array aus einzelnen (in dem gezeigten Beispiel aus acht) elektromechanischen Speicherzellen angesehen werden, wobei jede einzelne elektromechanische Speicherzelle durch einen Kreuzungspunkt-Übergang (Crossbar Junction) realisiert ist.

[0088] Im Folgenden wird anhand der in [Fig. 1A](#), [Fig. 1B](#) und [Fig. 1C](#) gezeigten Darstellungen die Funktionsweise der elektromechanischen Speicher-Einrichtung **100** näher erläutert.

[0089] Allgemein gilt, dass bei einer elektromechanischen Speicher-Einrichtung wie der in [Fig. 1A](#) gezeigten einzelne Bits bzw. die logischen Werte (z.B. "0" oder "1") einzelner Bits dadurch gespeichert werden können, dass Schaltkreis-Verbindungen, welche durch die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht und die mindestens eine Kohlenstoffschicht realisiert werden können, entweder offen oder geschlossen sind. Eine offene Schaltkreis-Verbindung kann beispielsweise eine logische "0" repräsentieren, und eine geschlossene Schaltkreis-Verbindung kann entsprechend eine logische "1" repräsentieren.

[0090] [Fig. 1A](#) zeigt die elektromechanische Speicher-Einrichtung **100** während eines ersten Betriebszustandes, bei dem die erste Kohlenstoffschicht **104a** (erste obere Elektrode) weder mit der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** noch mit der zweiten elektrisch leitfähigen Schicht **102b** in Kontakt ist. Anschaulich bildet somit die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** zusammen mit der ersten Kohlenstoffschicht **104a** eine offene Schaltkreis-Verbindung (z.B. eine logische "0" eines ersten in der entsprechenden Speicherzelle, d.h. dem Kreuzungspunkt-Übergang aus der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** und der ersten Kohlenstoffschicht **104a**, der elektromagnetischen Speicher-Einrichtung **100** gespeicherten Bits repräsentierend), und die zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b** bildet zusammen mit der ersten Kohlenstoffschicht **104a** ebenfalls eine offene Schaltkreis-Verbindung (eine logische "0" eines zweiten in der entsprechenden Speicherzelle,

d.h. dem Kreuzungspunkt-Übergang aus der zweiten elektrisch leitfähigen Schicht **102b** und der ersten Kohlenstoffschicht **104a**, der elektromagnetischen Speicher-Einrichtung **100** gespeicherten Bits repräsentierend).

[0091] Zusammenfassend wird bei dem in [Fig. 1A](#) gezeigten ersten Betriebszustand in einer ersten Speicherzelle der Speicher-Einrichtung **100**, welche erste Speicherzelle durch den Kreuzungspunkt-Übergang aus der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** und der ersten Kohlenstoffschicht **104a** realisiert ist, eine logische "0" eines ersten Bits gespeichert, und in einer zweiten Speicherzelle der Speicher-Einrichtung **100**, welche zweite Speicherzelle durch den Kreuzungspunkt-Übergang aus der zweiten elektrisch leitfähigen Schicht **102b** und der ersten Kohlenstoffschicht **104a** realisiert ist, eine logische "0" eines zweiten Bits gespeichert.

[0092] [Fig. 1B](#) zeigt die elektromechanische Speicher-Einrichtung **100** während eines zweiten Betriebszustandes, bei dem im Unterschied zu dem in [Fig. 1A](#) gezeigten Betriebszustand die erste Kohlenstoffschicht **104a** (erste obere Elektrode) mit der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** (erste untere Elektrode) in Kontakt gebracht wurde, während die zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b** nach wie vor keinen Kontakt mit der ersten Kohlenstoffschicht **104a** aufweist. Das Kontaktieren der ersten Kohlenstoffschicht **104a** mit der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** kann zum Beispiel dadurch erfolgen, dass an die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** und/oder an die erste Kohlenstoffschicht **104a** geeignete elektrische Signale angelegt werden (z.B. mit Hilfe eines Zugriffs-Schaltkreises), welche elektrische Signale eine elektrische bzw. elektrostatische Anziehung zwischen der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** und der ersten Kohlenstoffschicht **104a** bewirken. Aufgrund der elektrischen bzw. elektrostatischen Anziehung zwischen den beiden vorgenannten Schichten kann es zu einer mechanischen Verformung der ersten Kohlenstoffschicht **104a** im Bereich oberhalb der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** kommen, so dass sich die erste Kohlenstoffschicht **104a** anschaulich in Richtung der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** verbiegt und die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** kontaktiert, siehe [Fig. 1B](#).

[0093] Im Unterschied zu dem in [Fig. 1A](#) gezeigten ersten Betriebszustand der Speicher-Einrichtung **100** bildet bei dem in [Fig. 1B](#) gezeigten zweiten Betriebszustand der Speicher-Einrichtung **100** die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** zusammen mit der ersten Kohlenstoffschicht **104a** eine geschlossene Schaltkreis-Verbindung (eine logische "1" des in der entsprechenden Speicherzelle der elektromagnetischen Speicher-Einrichtung **100** gespeicherten ersten Bits repräsentierend). Der kontaktierte Zustand

bleibt auch nach Abschalten des bzw. der elektrischen Signale erhalten, d.h. die mechanische Verformung der ersten Kohlenstoffschicht **104a** über der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** bildet sich nicht ohne äußere Einwirkung zurück.

[0094] Zusammenfassend wird bei dem in [Fig. 1B](#) gezeigten zweiten Betriebszustand in der ersten Speicherzelle der Speicher-Einrichtung **100** eine logische "1" des ersten Bits gespeichert, und in der zweiten Speicherzelle der Speicher-Einrichtung **100** wird weiterhin die logische "0" des zweiten Bits gespeichert.

[0095] [Fig. 1C](#) zeigt die elektromechanische Speicher-Einrichtung **100** während eines dritten Betriebszustandes, bei dem der Kontakt der ersten Kohlenstoffschicht **104a** mit der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** wieder gelöst wurde, während gleichzeitig die erste Kohlenstoffschicht **104a** mit der zweiten elektrisch leitfähigen Schicht **102b** in Kontakt gebracht wurde. Das Lösen des Kontaktes der ersten Kohlenstoffschicht **104a** mit der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** kann dadurch erfolgen, dass an die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** und/oder an die erste Kohlenstoffschicht **104a** geeignete elektrische Signale angelegt werden (z.B. mit Hilfe eines Zugriffs-Schaltkreises), welche eine elektrische bzw. elektrostatische Abstoßung zwischen der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** und der ersten Kohlenstoffschicht **104a** bewirken. Aufgrund der elektrischen bzw. elektrostatischen Abstoßung zwischen den beiden vorgenannten Schichten kann es zu einer mechanischen Verformung der ersten Kohlenstoffschicht **104a** kommen, so dass diese sich anschaulich in Richtung von der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** weg verbiegt und somit der Kontakt mit der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** aufgehoben bzw. gelöst wird, siehe [Fig. 1C](#). Die erste Kohlenstoffschicht **104a** nimmt daher oberhalb der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** wieder den in [Fig. 1A](#) gezeigten Zustand an. Das Kontaktieren der ersten Kohlenstoffschicht **104a** mit der zweiten elektrisch leitfähigen Schicht **102b** erfolgt in der Weise, wie es oben im Zusammenhang mit [Fig. 1B](#) für das Kontaktieren der ersten Kohlenstoffschicht **104a** mit der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **102a** beschrieben wurde.

[0096] Bei dem in [Fig. 1C](#) gezeigten Betriebszustand der Speicher-Einrichtung **100** bildet die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** zusammen mit der ersten Kohlenstoffschicht **104a** wie in [Fig. 1A](#) eine offene Schaltkreis-Verbindung (eine logische "0" des ersten Bits repräsentierend), und die zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b** bildet zusammen mit der ersten Kohlenstoffschicht **104a** eine geschlossene Schaltkreis-Verbindung (eine logische "1" des zweiten Bits repräsentierend).

[0097] Zusammenfassend wird bei dem in [Fig. 1C](#) gezeigten dritten Betriebszustand in der ersten Speicherzelle der Speicher-Einrichtung **100** eine logische "0" des ersten Bits gespeichert, und in der zweiten Speicherzelle der Speicher-Einrichtung **100** wird eine logische "1" des zweiten Bits gespeichert.

[0098] Nachfolgend wird unter Bezug auf [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3F](#) ein Verfahren zum Herstellen einer elektromechanischen Speicher-Einrichtung **300** gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben.

[0099] [Fig. 3A](#) zeigt einen ersten Prozessschritt, bei dem ein Substrat **301** bereitgestellt wird. Das Substrat **301** kann ein dielektrisches Material (Dielektrikum) bzw. ein elektrisch isolierendes Material aufweisen.

[0100] [Fig. 3B](#) zeigt einen weiteren Prozessschritt, bei dem in dem Substrat **301** eine erste elektrisch leitfähige Schicht **302a** und eine zweite elektrisch leitfähige Schicht **302b** gebildet werden, wobei die erste elektrisch leitfähige Schicht **302a** und die zweite elektrisch leitfähige Schicht **302b** jeweils eine mit der oberen Oberfläche des Substrats **301** koplanare obere Oberfläche aufweisen. Das Bilden der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **302a** und der zweiten elektrisch leitfähigen Schicht **302b** kann unter Verwendung herkömmlicher lithographischer Techniken, Abscheideverfahren und/oder Strukturierungsverfahren erfolgen, z.B. mit Hilfe eines Damascene-Verfahrens (d.h. Ätzen von Gräben in dem Substrat **301**, Auffüllen der Gräben mit elektrisch leitfähigem Material und Planarisieren der Oberflächen z.B. durch Chemisch-Mechanisches Polieren (CMP)). In alternativen Ausgestaltungen der Erfindung können die erste elektrisch leitfähige Schicht **302a** und/oder die zweite elektrisch leitfähige Schicht **302b** auch über die obere Oberfläche des Substrats **301** hinausragen oder auf dem Substrat **301** gebildet werden. Die erste elektrisch leitfähige Schicht **302a** und die zweite elektrisch leitfähige Schicht **302b** können eine metallische Kohlenstoffschicht oder ein Refraktär-Metall, d.h. ein hochschmelzendes metallisches Material wie z.B. Tantal, Tantalnitrid, Titan, Titannitrid, Molybdän oder andere geeignete Materialien aufweisen. Die erste elektrisch leitfähige Schicht **302a** und die zweite elektrisch leitfähige Schicht **302b** bilden anschaulich zwei elektrische Leiterbahnen bzw. zwei untere Elektroden der elektromechanischen Speicher-Einrichtung **300**, welche Leiterbahnen im Wesentlichen parallel zueinander und senkrecht zur Zeichenebene der [Fig. 3B](#) verlaufen.

[0101] [Fig. 3C](#) zeigt einen weiteren Prozessschritt, bei dem eine Mehrzahl von Abstandshaltern **303** auf dem Substrat **301** gebildet werden, wobei die Abstandshalter so gebildet werden, dass die erste elektrisch leitfähige Schicht **302a** und die zweite elek-

trisch leitfähige Schicht **302b** jeweils zwischen mindestens zwei Abstandshaltern **303** angeordnet sind. Die Abstandshalter **303** können eine Dicke (senkrecht zur Substratoberfläche) von ungefähr 1 nm bis 100 nm aufweisen.

[0102] Ferner können die Abstandshalter **303** eine laterale Ausdehnung von ungefähr 5 nm bis 200 nm aufweisen, und der Abstand zwischen zwei Abstandshaltern **303** kann ungefähr 5 nm bis 1000 nm betragen. Die Abstandshalter **303** können eine Kohlenstoffschicht oder ein Refraktär-Material, anders ausgedrückt ein hochschmelzendes bzw. hitzebeständiges Material, aufweisen, z.B. Titan (Ti), Tantal (Ta), Wolfram (W), Siliziumnitrid (Si_3N_4) oder ein Carbid-Material.

[0103] Das Bilden der Abstandshalter **303** kann durch Aufbringen einer Schicht (z.B. mit Hilfe eines Abscheideverfahrens) aus einem der vorgenannten Materialien und anschließendem Strukturieren (z.B. mit Hilfe eines Lithographie-Verfahrens und/oder Ätz-Verfahrens) dieser Schicht erfolgen.

[0104] [Fig. 3D](#) zeigt einen weiteren Prozessschritt, bei dem zwischen den Abstandshaltern **303** eine Opferschicht **306** (z.B. aus Siliziumdioxid) auf dem Substrat **301**, auf der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **302a** und auf der zweiten elektrisch leitfähigen Schicht **302b** aufgebracht wird (z.B. mit Hilfe eines Abscheideverfahrens), wobei die Opferschicht **306** so gebildet wird, dass die obere Oberfläche der Opferschicht **306** mit der oberen Oberfläche der Abstandshalter **303** im Wesentlichen koplanar ist. Mit anderen Worten weist die Opferschicht **306** in dem gezeigten Beispiel im Wesentlichen dieselbe Dicke auf wie die Abstandshalter **303**. Dies kann z.B. durch ein Planarisierungs-Verfahren (z.B. Chemisch-Mechanisches Polieren, CMP) erreicht werden.

[0105] [Fig. 3E](#) zeigt einen weiteren Prozessschritt, bei dem auf den Abstandshaltern **303** und auf der Opferschicht **306** eine metallische (elektrisch leitfähige) Kohlenstoffschicht **304** gebildet wird. Das Bilden der elektrisch leitfähigen Kohlenstoffschicht **304** kann mit Hilfe eines Abscheideverfahrens erfolgen, wobei als Abscheideverfahren ein in [13] beschriebenes Verfahren zum Abscheiden eines Kohlenstoffmaterials verwendet werden kann. Demgemäß kann zum Beispiel ein Innenraum einer Prozesskammer auf eine vorbestimmte Temperatur erhitzt werden, zum Beispiel auf eine Temperatur zwischen 900°C und 1200°C (beispielsweise auf 600°C oder 950°C). Ferner kann das Substrat **301**, einschließlich der in dem Substrat **301** ausgebildeten ersten elektrisch leitfähigen Schicht **302a**, der in dem Substrat **301** ausgebildeten zweiten elektrisch leitfähigen Schicht **302b**, der Mehrzahl von auf dem Substrat ausgebildeten Abstandshaltern **303** und der Opferschicht **306**, in die Prozesskammer eingebracht werden, und die Pro-

zesskammer auf einen ersten vorbestimmten Druck, welcher weniger als 1 Pa (Pascal), zum Beispiel weniger als 1/8 Pa betragen kann, evakuiert werden. Weiterhin kann ein Gas, welches zumindest Kohlenstoff aufweist, zum Beispiel ein organisches Gas wie zum Beispiel Methan (CH_4), eingeleitet werden, bis ein zweiter vorbestimmter Druck erreicht ist, welcher höher als der erste vorbestimmte Druck sein kann. Der zweite vorbestimmte Druck kann beispielsweise zwischen 10 hPa und 1013 hPa liegen, zum Beispiel zwischen 300 hPa und 700 hPa. Das Kohlenstoff-Material kann auf den Abstandshaltern **303** sowie auf der Opferschicht **306** aus dem kohlenstoffhaltigen Gas, zum Beispiel dem Methan-Gas, abgeschieden werden. Nach dem Abscheiden des Kohlenstoff-Materials kann wahlweise eine Temperung bei zum Beispiel 1050°C erfolgen.

[0106] Die elektrisch leitfähige Kohlenstoffschicht **304** kann so gebildet werden, dass sie eine Dicke von ungefähr 1 nm bis 100 nm aufweist.

[0107] Nach dem Bilden der Kohlenstoffschicht **304** wird diese anschließend so strukturiert, dass eine Kreuzungspunkt-Struktur bzw. Crossbar-Struktur gebildet wird (vgl. [Fig. 2](#)). Das Strukturieren der Kohlenstoffschicht **304** kann z.B. unter Verwendung herkömmlicher lithographischer Techniken und/oder Ätzverfahren erfolgen.

[0108] [Fig. 3F](#) zeigt einen weiteren Prozessschritt, bei dem die Opferschicht **306** entfernt wird, so dass Zwischenräume **305** zwischen der ersten elektrisch leitfähigen Schicht **302a** und der Kohlenstoffschicht **304** bzw. zwischen der zweiten elektrisch leitfähigen Schicht **302b** und der Kohlenstoffschicht **304** gebildet werden. Das Entfernen der Opferschicht **306** kann durch ein selektives Ätzverfahren (z.B. selektives Nassätzen) erfolgen.

[0109] [Fig. 4A](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer als Kreuzungspunkt-Array ausgebildeten elektromechanischen Speicher-Einrichtung **400** gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung. [Fig. 5](#) zeigt eine Layout-Darstellung der elektromechanischen Speicher-Einrichtung **400**, aus welcher Layout-Darstellung sich die in [Fig. 4A](#) gezeigte Ansicht als Querschnitt entlang der gestrichelten Linie B-B' ergibt.

[0110] Die in [Fig. 4A](#) bzw. [Fig. 5](#) gezeigte elektromechanische Speicher-Einrichtung **400** unterscheidet sich von der in [Fig. 1A](#) bzw. [Fig. 2](#) gezeigten elektromechanischen Speicher-Einrichtung **100** im Wesentlichen darin, dass die erste Kohlenstoffschicht **104a** der elektromechanischen Speicher-Einrichtung **100**, welche die erste elektrisch leitfähige Schicht **102a** und die zweite elektrisch leitfähige Schicht **102b** überkreuzt, bei der elektromechanischen Speicher-Einrichtung **400** ersetzt ist durch vier

einzelne erste Kohlenstoffschichten **404a**, wobei jede der vier ersten Kohlenstoffschichten **404a** jeweils auf einem Abstandshalter **103** ausgebildet ist und in dem in [Fig. 4A](#) bzw. [Fig. 5](#) gezeigten Ausführungsbeispiel die links neben dem entsprechenden Abstandshalter **103** angeordnete elektrisch leitfähige Schicht **102a** bzw. **102b** (bzw. andere nicht gezeigte elektrisch leitfähige Schichten) überkreuzt. Mit anderen Worten wird jede der vier ersten Kohlenstoffschichten **404a** jeweils nur von einem Abstandshalter **103** bzw. Stützelement getragen. Anschaulich bildet die jeweilige erste Kohlenstoffschicht **404a** einen Überhang bzw. eine Auslegerartige Struktur über der entsprechenden elektrisch leitfähigen Schicht **102a** bzw. **102b**. Es ist zu beachten, dass die einzelnen ersten Kohlenstoffschichten **404a** nicht miteinander verbunden sind.

[0111] In analoger Weise sind bei der elektromechanischen Speicher-Einrichtung **400** jeweils vier einzelne zweite Kohlenstoffschichten **404b**, vier einzelne dritte Kohlenstoffschichten **404c** und vier einzelne vierte Kohlenstoffschichten **404d** ausgebildet.

[0112] Die Funktionsweise der elektromechanischen Speicher-Einrichtung **400** gleicht der elektromechanischen Speicher-Einrichtung **100** und wird durch die Darstellungen in [Fig. 4A](#), [Fig. 4B](#) und [Fig. 4C](#), welche analog zu [Fig. 1A](#), [Fig. 1B](#) und [Fig. 1C](#) drei verschiedene Betriebszustände der elektromechanischen Speicher-Einrichtung **400** zeigen, verdeutlicht.

[0113] Wie für die elektromechanische Speicher-Einrichtung **100** im Zusammenhang mit [Fig. 1A](#), [Fig. 1B](#) und [Fig. 1C](#) erläutert, können bei der elektromechanischen Speicher-Einrichtung **400** logische Werte ("0" oder "1") durch offene bzw. geschlossene Kontakte zwischen den Kohlenstoffschichten (oberen Elektroden) **404a**, **404b**, **404c**, **404d** und den elektrisch leitfähigen Schichten **102a**, **102b** (unteren Elektroden) realisiert bzw. gespeichert werden. Das Bilden eines geschlossenen Kontaktes zwischen einer Kohlenstoffschicht und einer elektrisch leitfähigen Schicht wird erreicht durch Anlegen geeigneter elektrischer Signale an die entsprechende elektrisch leitfähige Schicht und/oder die entsprechende Kohlenstoffschicht, so dass aufgrund elektrischer bzw. elektrostatischer Wechselwirkungen eine Deformation der entsprechenden Kohlenstoffschicht **404a**, **404b**, **404c** oder **404d** (obere Elektrode) auftritt, wodurch diese sich in Richtung zu der elektrisch leitfähigen Schicht **102a** bzw. **102b** (untere Elektrode) hin verbiegt und die elektrisch leitfähige Schicht **102a** bzw. **102b** kontaktiert. Das Lösen des Kontakts erfolgt wie oben erläutert entsprechend durch Anlegen geeigneter Signale, so dass es zu einer elektrischen bzw. elektrostatischen Abstoßung zwischen den beiden Elektroden kommt.

[0114] Wie aus [Fig. 4B](#) und [Fig. 4C](#) ersichtlich ist, wird, da die Kohlenstoffschichten **404a**, **404b**, **404c** bzw. **404d** nur auf einer Seite mit einem Abstandshalter **103** verbunden sind (in dem gezeigten Beispiel auf der rechten Seite, d.h. mit dem Abstandshalter **103** rechts neben der entsprechenden elektrisch leitfähigen Schicht **102a** bzw. **102b**), bei einem geschlossenen Kontakt die Kohlenstoffschicht, i.e. die obere Elektrode, (in den gezeigten Querschnittsansichten der [Fig. 4B](#) und [Fig. 4C](#) die erste Kohlenstoffschicht **404a**) nur an dieser einen Seite deformiert, anschaulich verbogen, während bei der elektromechanischen Speicher-Einrichtung **100**, bei der die erste Kohlenstoffschicht **104a** auf beiden Seiten mit einem Abstandshalter **103** verbunden ist, ein geschlossener Kontakt eine Verbiegung der ersten Kohlenstoffschicht **104a** an beiden Seiten (d.h. rechts und links neben der elektrisch leitfähigen Schicht **102a** bzw. **102b**) zur Folge hat (vgl. [Fig. 1B](#) und [Fig. 1C](#)).

[0115] Ein Vorteil der in [Fig. 4A](#) bis [Fig. 5](#) gezeigten elektromechanischen Speicher-Einrichtung **400** kann darin gesehen werden, dass sich mit der gezeigten Anordnung die Verspannungen in den Kohlenstoffschichten **404a**, **404b**, **404c** bzw. **404d**, welche durch die mechanische Deformation bzw. das Verbiegen beim Schließen von Kontakten entstehen, deutlich reduzieren lassen.

[0116] Zur Herstellung der in [Fig. 4A](#) bis [Fig. 5](#) gezeigten elektromechanischen Speicher-Einrichtung **400** kann ein Verfahren ähnlich dem im Zusammenhang mit [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3F](#) beschriebenen Verfahren verwendet werden, wobei im Unterschied zu dem oben beschriebenen Verfahren nach dem Aufbringen einer Kohlenstoffschicht auf die Abstandshalter **103** und die Opferschicht die Kohlenstoffschicht so strukturiert wird, dass sich die vier einzelnen ersten Kohlenstoffschichten **404a**, die vier einzelnen zweiten Kohlenstoffschichten **404b**, die vier einzelnen dritten Kohlenstoffschichten **404c** und die vier einzelnen vierten Kohlenstoffschichten **404d** ergeben, welche jeweils nur mit einem Abstandshalter **103** verbunden sind. Nach dem selektiven Entfernen der Opferschicht ergibt sich dann die in [Fig. 4A](#) bzw. [Fig. 5](#) gezeigte Struktur mit überhängenden oberen Elektroden **404a**, **404b**, **404c**, **404d**, welche jeweils durch einen Abstandshalter **103** gestützt werden.

[0117] In diesem Dokument sind folgende Veröffentlichungen zitiert:

- [1] US 4,853,893
- [2] US 4,888,630
- [3] US 5,198,994
- [4] US 6,044,008
- [5] US 3,448,302
- [6] US 4,845,533
- [7] US 4,876,667
- [8] US 6,128,214

- [9] US 6, 159, 620
 [10] US 6,198,655
 [11] WO 01/03208 A1
 [12] T. Rueckes et al., "Carbon Nanotube-Based Nonvolatile Random Access Memory for Molecular Computing," Science, Vol. 289, Issue 5476, pp. 94-97, Jul. 7, 2000
 [13] DE 103 45 393 A1

Bezugszeichenliste

100	Elektromechanische Speicher-Einrichtung
101	Substrat
102a	elektrisch leitfähige Schicht
102b	elektrisch leitfähige Schicht
103	Abstandshalter
104a	Kohlenstoffschicht
104b	Kohlenstoffschicht
104c	Kohlenstoffschicht
104d	Kohlenstoffschicht
105	Zwischenraum
300	Elektromechanische Speicher-Einrichtung
301	Substrat
302a	elektrisch leitfähige Schicht
302b	elektrisch leitfähige Schicht
303	Abstandshalter
304	Kohlenstoffschicht
305	Zwischenraum
306	Opferschicht
400	Elektromechanische Speicher-Einrichtung
404a	Kohlenstoffschicht
404b	Kohlenstoffschicht
404c	Kohlenstoffschicht
404d	Kohlenstoffschicht

Patentansprüche

1. Elektromechanische Speicher-Einrichtung (**100**), mit

- mindestens einer in oder auf einem Substrat (**101**) ausgebildeten elektrisch leitfähigen Schicht (**102a**, **102b**);
- mindestens einem auf dem Substrat (**101**) ausgebildeten Abstandshalter (**103**), welcher so ausgebildet ist, dass die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht (**102a**, **102b**) neben dem mindestens einen Abstandshalter (**103**) angeordnet ist;
- mindestens einer zumindest über einem Teilbereich des Substrats (**101**) ausgebildeten Kohlenstoffschicht (**104a**), welche die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht (**102a**, **102b**) überkreuzt,
- wobei die mindestens eine Kohlenstoffschicht (**104a**) zumindest teilweise auf dem mindestens einen Abstandshalter (**103**) ausgebildet ist, derart, dass ein Zwischenraum (**105**) zwischen der mindestens einen Kohlenstoffschicht (**104a**) und der mindestens einen von der mindestens einen Kohlenstoffschicht (**104a**) überkreuzten elektrisch leitfähigen Schicht (**102a**, **102b**) gebildet ist, und
- wobei die mindestens eine Kohlenstoffschicht

(**104a**) derart eingerichtet ist, dass sie mit der mindestens einen überkreuzten elektrisch leitfähigen Schicht (**102a**, **102b**) in Kontakt gebracht werden kann.

2. Elektromechanische Speicher-Einrichtung (**100**) gemäß Anspruch 1, wobei das Substrat (**101**) ein dielektrisches Material aufweist.

3. Elektromechanische Speicher-Einrichtung (**100**) gemäß einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht (**102a**, **102b**) als elektrisch leitfähige Kohlenstoffschicht ausgebildet ist.

4. Elektromechanische Speicher-Einrichtung (**100**) gemäß einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht (**102a**, **102b**) ein Refraktär-Material aufweist.

5. Elektromechanische Speicher-Einrichtung (**100**) gemäß Anspruch 4, wobei die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht (**102a**, **102b**) eines der folgenden Materialien aufweist:

- Tantal;
- Tantalnitrid;
- Titan;
- Titanitrid;
- Molybdän.

6. Elektromechanische Speicher-Einrichtung (**100**) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der mindestens eine Abstandshalter (**103**) ein Kohlenstoffmaterial oder ein Refraktär-Material aufweist.

7. Elektromechanische Speicher-Einrichtung (**100**) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der mindestens eine Abstandshalter (**103**) eines der folgenden Materialien aufweist:

- Titan;
- Tantal;
- Wolfram;
- Siliziumnitrid;
- ein Carbid-Material.

8. Elektromechanische Speicher-Einrichtung (**100**) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der mindestens eine Abstandshalter (**103**) eine Dicke von ungefähr 1 nm bis 100 nm aufweist.

9. Elektromechanische Speicher-Einrichtung (**100**) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die mindestens eine Kohlenstoffschicht (**104a**) ein elektrisch leitfähiges Kohlenstoffmaterial aufweist.

10. Elektromechanische Speicher-Einrichtung (**100**) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die mindestens eine Kohlenstoffschicht (**104a**) eine Dicke von ungefähr 1 nm bis 100 nm aufweist.

11. Elektromechanische Speicher-Einrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, mit

- einer Mehrzahl von in oder auf dem Substrat (101) ausgebildeten elektrisch leitfähigen Schichten (102a, 102b);
- einer Mehrzahl von auf dem Substrat ausgebildeten Abstandshaltern (103), welche so ausgebildet sind, dass jede der Mehrzahl von elektrisch leitfähigen Schichten (102a, 102b) zwischen mindestens zwei Abstandshaltern (103) angeordnet ist;
- einer Mehrzahl von Kohlenstoffschichten (104a, 104b, 104c, 104d);
- wobei die Mehrzahl von elektrisch leitfähigen Schichten (102a, 102b), die Mehrzahl von Abstandshaltern (103) und die Mehrzahl von Kohlenstoffschichten (104a, 104b, 104c, 104d) so angeordnet sind, dass ein Kreuzungspunkt-Array gebildet ist.

12. Elektromechanische Speicher-Einrichtung (100) gemäß Anspruch 11, wobei je zwei benachbarte der Mehrzahl von Abstandshaltern (103) einen lateralen Abstand von ungefähr 5 nm bis 1000 nm aufweisen.

13. Verfahren zum Herstellen einer elektromechanischen Speicher-Einrichtung (100; 300), bei dem

- mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht (102a, 102b; 302a, 302b) in oder auf einem Substrat (101; 301) gebildet wird;
- mindestens ein Abstandshalter (103; 303) auf dem Substrat (101; 301) gebildet wird, derart, dass die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht (102a, 102b; 302a, 302b) neben dem mindestens einen Abstandshalter (103; 303) angeordnet ist;
- mindestens eine Kohlenstoffschicht (104a; 304) zumindest über einem Teilbereich des Substrats (101; 301) gebildet wird, welche die mindestens eine elektrisch leitfähige Schicht (102a, 102b; 302a, 302b) überkreuzt,
- wobei die mindestens eine Kohlenstoffschicht (104a; 304) auf dem mindestens einen Abstandshalter (103; 303) gebildet wird, derart, dass ein Zwischenraum (105; 305) zwischen der mindestens einen Kohlenstoffschicht (104a; 304) und der mindestens einen von der mindestens einen Kohlenstoffschicht (104a; 304) überkreuzten elektrisch leitfähigen Schicht (102a, 102b; 302a, 302b) gebildet wird, und
- wobei die mindestens eine Kohlenstoffschicht (104a; 304) derart gebildet wird, dass sie mit der mindestens einen überkreuzten elektrisch leitfähigen Schicht (102a, 102b; 302a, 302b) in Kontakt gebracht werden kann.

14. Verfahren gemäß Anspruch 13, bei dem die mindestens eine Kohlenstoffschicht (104a; 304) aus einem elektrisch leitfähigen Kohlenstoffmaterial gebildet wird.

15. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 13

oder 14, bei dem die mindestens eine Kohlenstoffschicht (104a; 304) mit Hilfe eines Abscheideverfahrens gebildet wird.

16. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 13 bis 15, bei dem die mindestens eine Kohlenstoffschicht (104a; 304) unter Verwendung eines Lithographieverfahrens und/oder eines Ätzverfahrens strukturiert wird.

17. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 13 bis 16, bei dem vor dem Bilden der mindestens einen Kohlenstoffschicht (304) mindestens eine Opferschicht (306) auf dem Substrat (301) und/oder auf der mindestens einen elektrisch leitfähigen Schicht (302a, 302b) gebildet wird.

18. Verfahren gemäß Anspruch 17, bei dem der Zwischenraum (305) zwischen der mindestens einen Kohlenstoffschicht (304) und der mindestens einen von der mindestens einen Kohlenstoffschicht (304) überkreuzten elektrisch leitfähigen Schicht (302a, 302b) durch Entfernen der mindestens einen Opferschicht (306) gebildet wird.

19. Verfahren gemäß Anspruch 18, bei dem das Entfernen der mindestens einen Opferschicht (306) mit Hilfe eines Nassätzverfahrens erfolgt.

20. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 13 bis 19, bei dem

- eine Mehrzahl von elektrisch leitfähigen Schichten (102a, 102b) in oder auf dem Substrat (101) gebildet wird;
- eine Mehrzahl von Abstandshaltern (103) auf dem Substrat (101) gebildet wird, derart, dass jede der Mehrzahl von elektrisch leitfähigen Schichten (102a, 102b) zwischen mindestens zwei Abstandshaltern (103) angeordnet ist;
- eine Mehrzahl von Kohlenstoffschichten (104a, 104b, 104c, 104d) gebildet wird;
- wobei die Mehrzahl von elektrisch leitfähigen Schichten (102a, 102b), die Mehrzahl von Abstandshaltern (103) und die Mehrzahl von Kohlenstoffschichten (104a, 104b, 104c, 104d) so angeordnet werden, dass ein Kreuzungspunkt-Array gebildet wird.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

FIG 1A

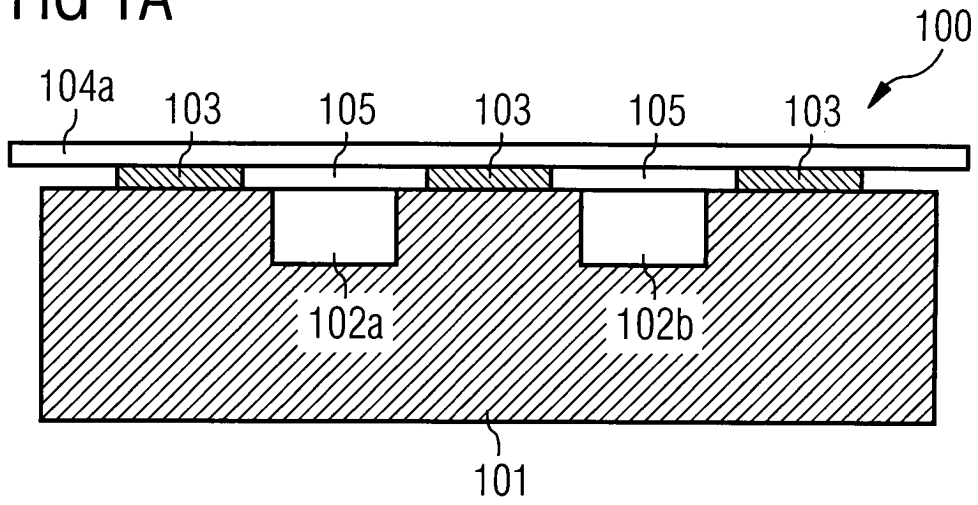


FIG 1B

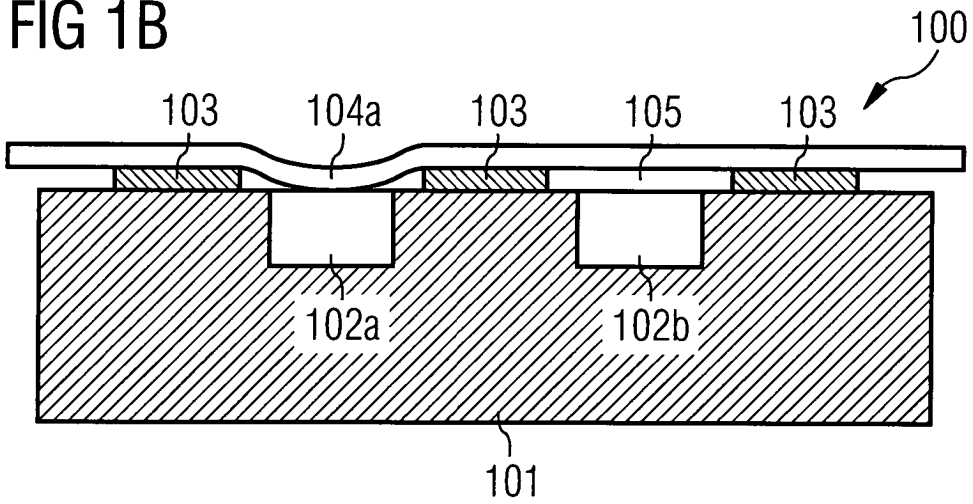


FIG 1C

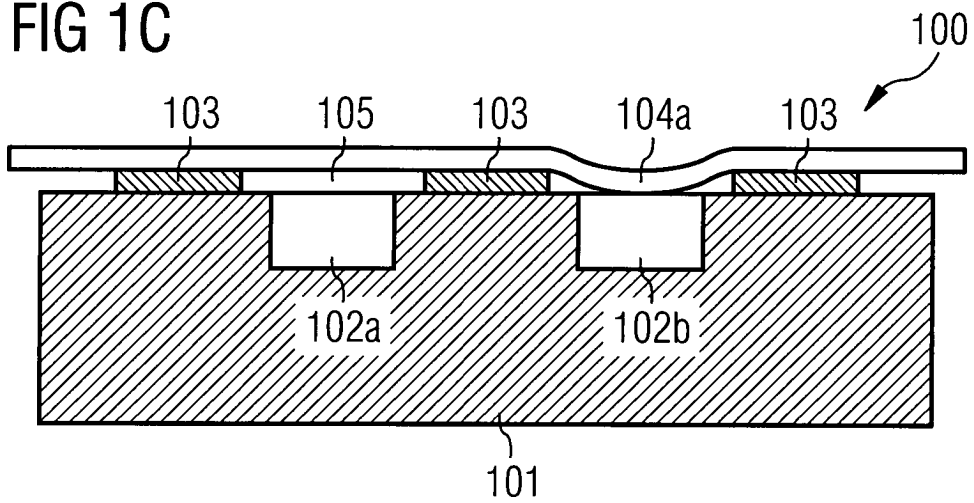


FIG 2

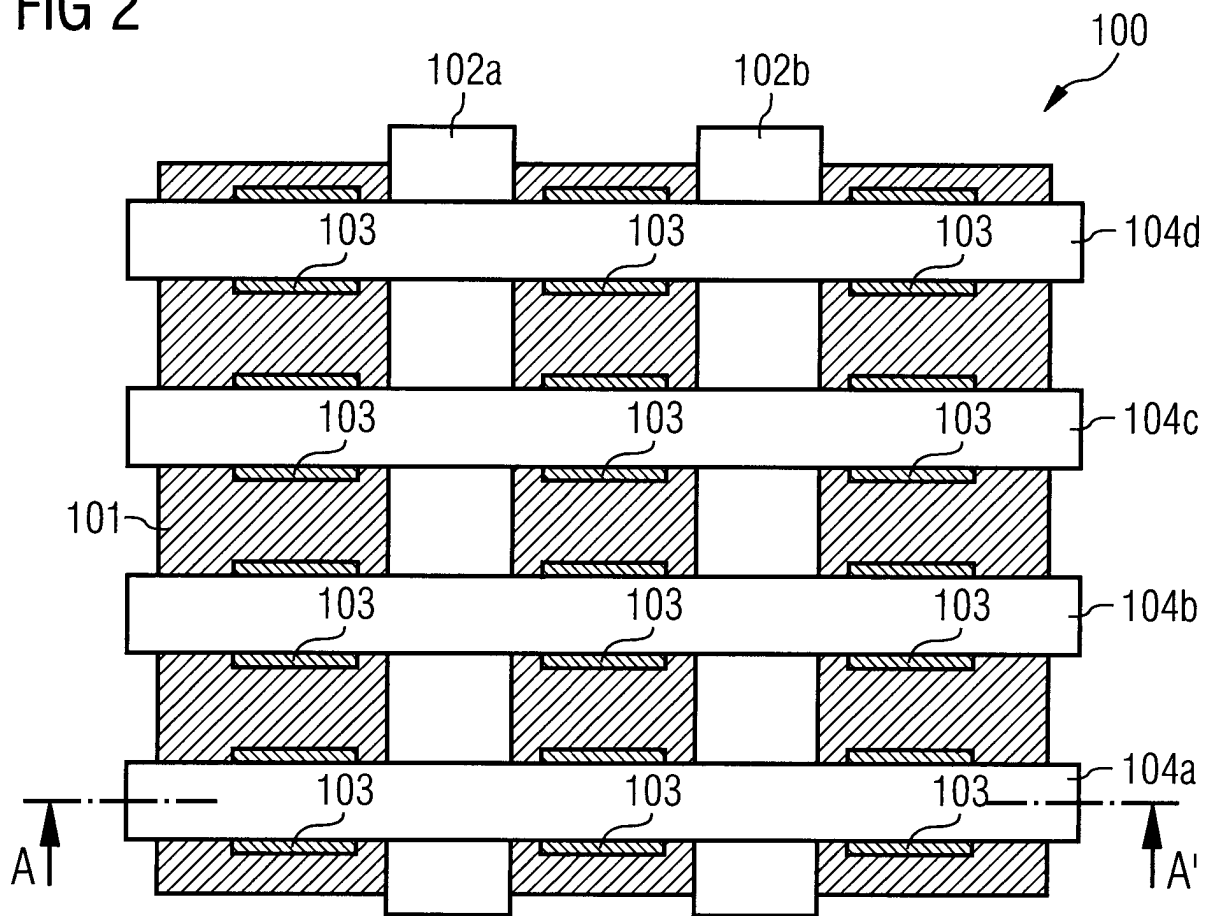


FIG 3A

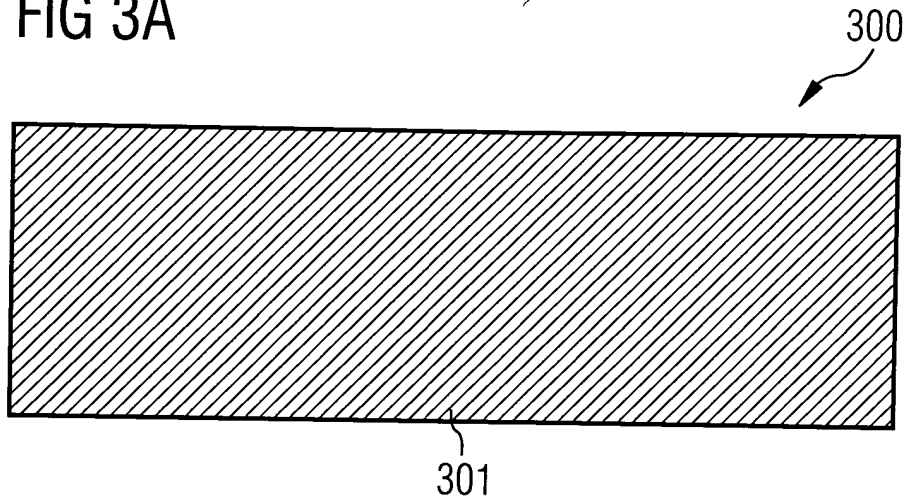


FIG 3B

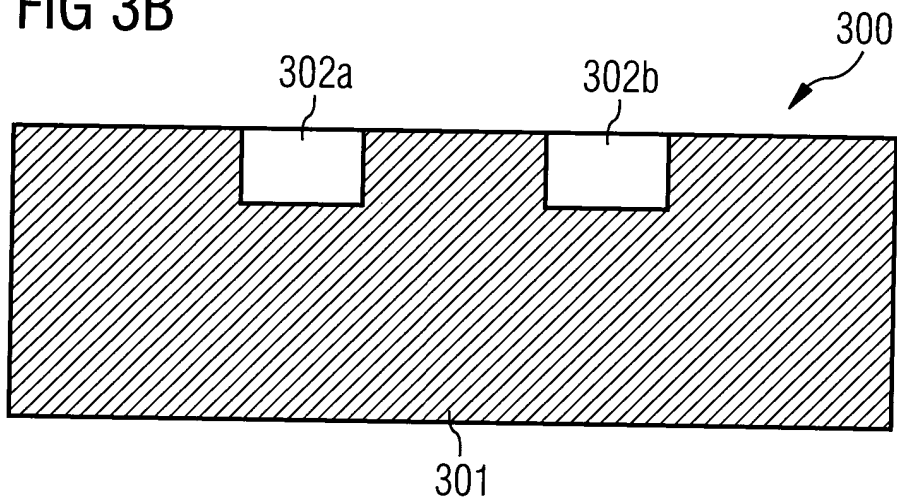


FIG 3C

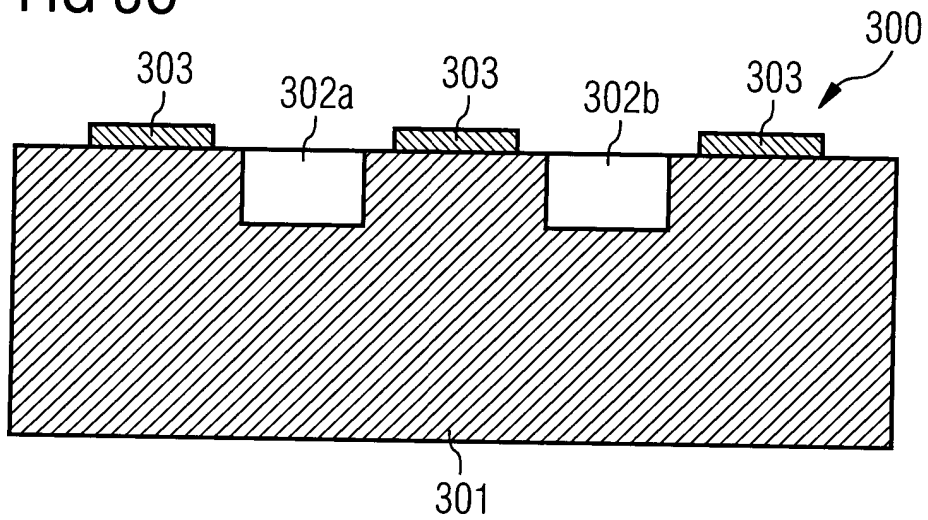


FIG 3D

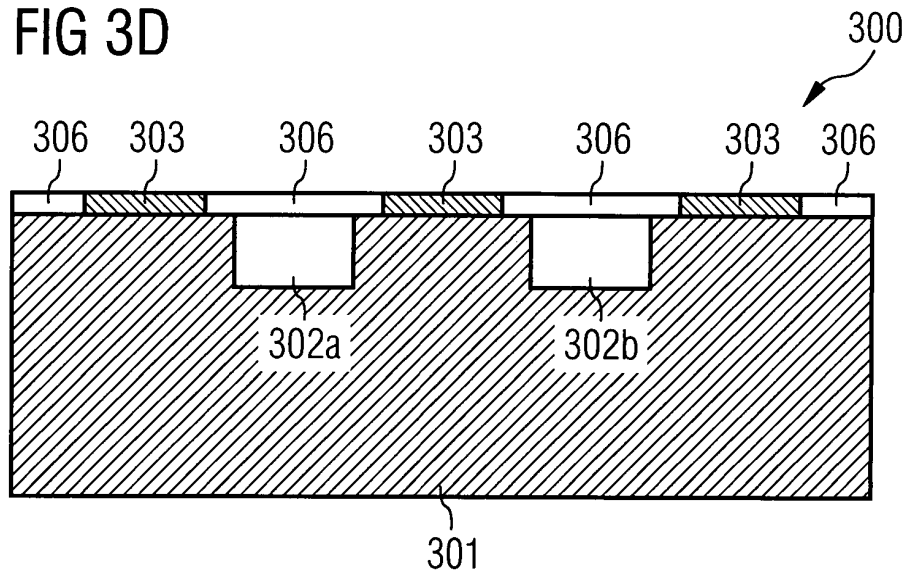


FIG 3E

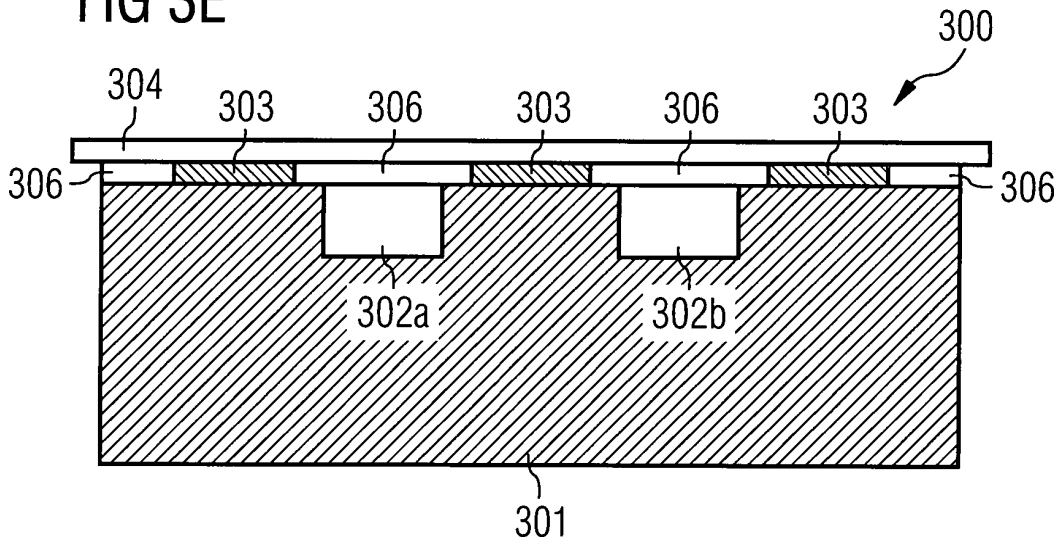


FIG 3F

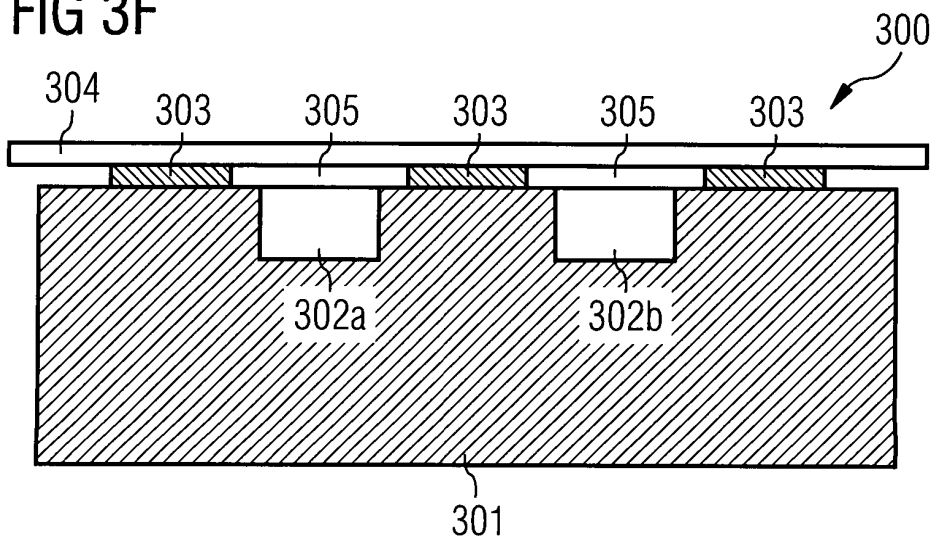


FIG 4A

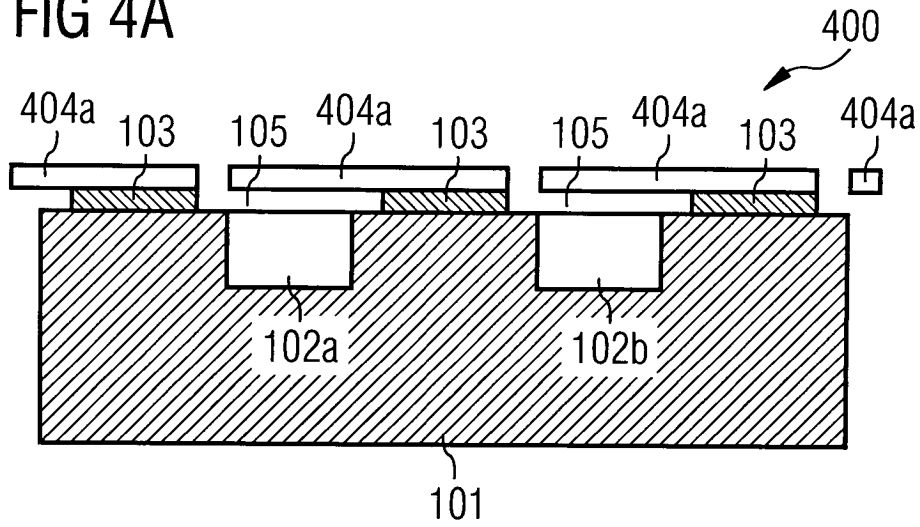


FIG 4B

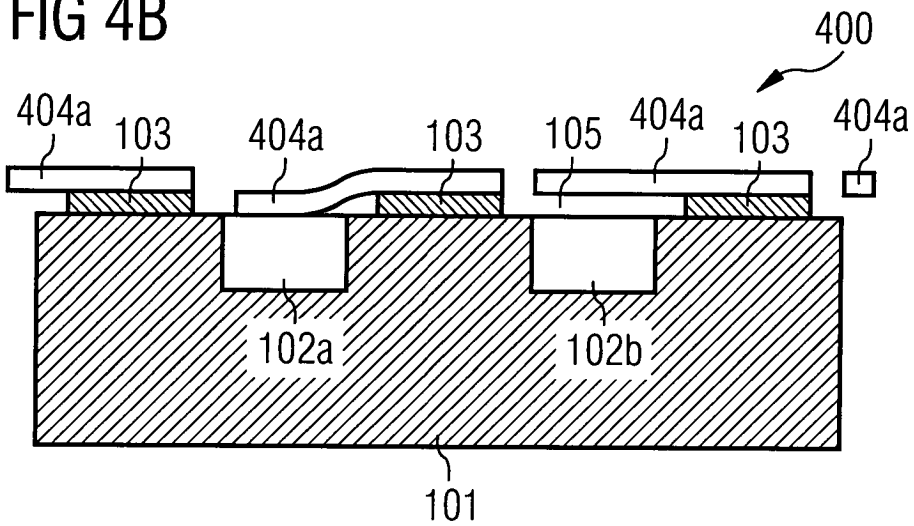


FIG 4C

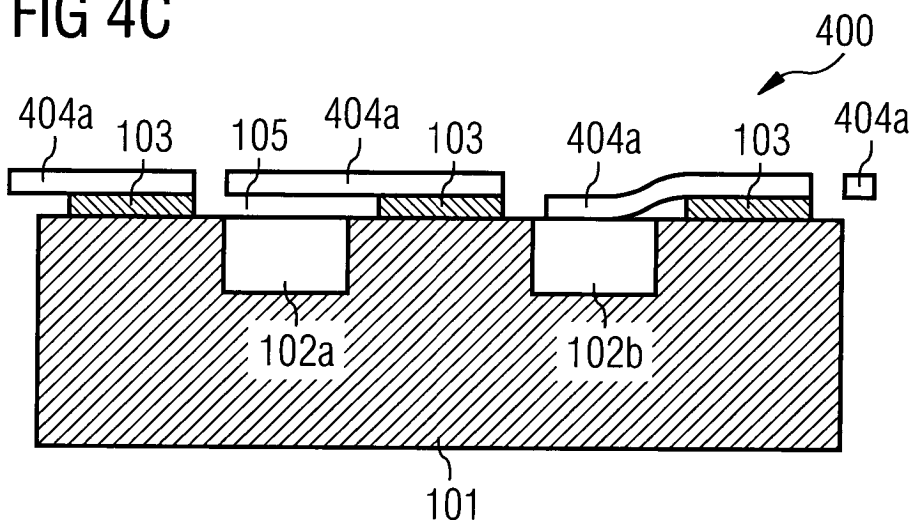


FIG 5

