

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. September 2011 (15.09.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/110618 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 45/00 (2006.01) *G11C 13/00* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/053592
- (22) Internationales Anmeldedatum:
10. März 2011 (10.03.2011)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2010 011 646.7 10. März 2010 (10.03.2010) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERGAKADEMIE FREIBERG** [DE/DE]; Akademiestr. 6, 09599 Freiberg (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **MEYER, Dirk, C.** [DE/DE]; Anzengruberweg 1, 01326 Dresden (DE). **KORTUS, Jens** [DE/DE]; Friedmar-Brendel-Weg 3, 09599 Freiberg (DE). **ABENDROTH, Barbara** [DE/DE]; Wasserturmstr. 3, 09599 Freiberg (DE). **STÖCKER, Hartmut** [DE/DE]; Hauptstr. 123, 02763 Oberseifersdorf (DE). **ZSCHORNAK, Matthias** [DE/DE]; Jordanstr. 5, 01099 Dresden (DE). **HANZIG, Florian**

[DE/DE]; Uferstr. 10A, 08451 Crimmitschau (DE). **SEIBT, Juliane** [DE/DE]; Keilbergstr. 10, 09484 Oberwiesenthal (DE). **WINTZ, Susi** [DE/DE]; Johann-Sebastian-Bach-Str. 3, 09599 Freiberg (DE). **SCHULZE, Jörg** [DE/DE]; Knickstr. 9, 39245 Gommern (DE).

(74) Anwälte: **UHLEMANN, Henry** et al.; Bamberger Str. 49, 01187 Dresden (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A NON-VOLATILE ELECTRONIC DATA MEMORY ON THE BASIS OF A CRYSTALLINE OXIDE HAVING A PEROVSKITE STRUCTURE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES NICHTFLÜCHTIGEN ELEKTRONISCHEN DATENSPEICHERS AUF GRUNDLAGE EINES KRISTALLINEN OXIDS MIT PEROVSKITSTRUKTUR

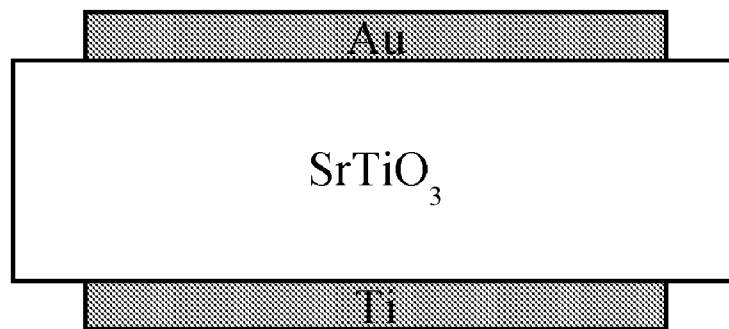
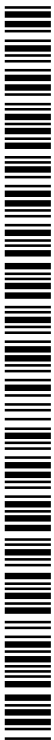


Fig. 1

(57) Abstract: The present invention provides a solution to the problem of non-volatile electronic data storage by using a crystalline oxide preferably having a perovskite structure. A multistage process comprising modification of conductivity and surface structure, deposition of electrodes and also electroforming enables switching between different interface states. The data are then stored in the form of resistance states of individual memory cells.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung sieht eine Lösung des Problems der nichtflüchtigen elektronischen Datenspeicherung durch Verwendung eines kristallinen Oxids vorzugsweise mit Perowskitstruktur vor. Durch einen mehrstufigen Prozess, der eine Modifikation

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2011/110618 A1



IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderun-
gen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

Verfahren zur Herstellung eines nichtflüchtigen elektronischen Datenspeichers auf Grundlage eines kristallinen Oxids mit Perowskitstruktur

Als nichtflüchtige elektronische Datenspeicher werden zurzeit bevorzugt magnetische und Flash-Speicher verwendet, die allerdings bezüglich Größe und Zugriffszeit begrenzt sind. Als vorteilhafte Alternative wird aktuell an nichtflüchtigen Speicherelementen wie RRAM, CBRAM und PCM geforscht. Materialien für RRAM (Resistive Random-Access Memory) sind nichtleitende dielektrische Substanzen wie Oxide in Perowskitstruktur, Übergangsmetalloxide und Verbindungen mit Chalkogenidstruktur. Wird an diese eine hohe elektrische Spannung angelegt, kann es zu einem dielektrischen Durchbruch kommen, welcher leitende Defekte hervorbringt, die dann ebenso wie der Widerstand reversibel schaltbar sind. Der CBRAM (Conductive-Bridging RAM) basiert auf der Umverteilung von Ionen im Inneren eines festen Elektrolyten. Dabei befindet sich der Elektrolyt zwischen zwei metallischen Elektroden und modifiziert je nach Zustand den Übergangswiderstand. Eine weitere Form der Speicherelemente ist der PCM (Phase Change Memory). Man nutzt hier das Verhalten von Chalkogenidgläsern, die zwischen zwei unterschiedlichen Zuständen, kristallin und amorph, schalten können.

Auf Grundlage von keramischem Strontiumtitanat, einem Oxid in Perowskitstruktur, wurden bereits Widerstandspeicherelemente realisiert, wobei die Dotierung der Halbleiterkeramik mit anderen Metallen eine wesentliche Grundlage bildet [US 2009/0109730 A1].

Die DE 60 2004 011 585 T2 beschreibt ein Verfahren, bei dem ein Manganit mit Perowskitstruktur in einer Sauerstoffatmosphäre mit Sauerstoffionen angereichert wird. Bei dieser Vorgehensweise bilden sich sauerstoffarme und sauerstoffreiche Regionen aus. Zur Formierung der Widerstandseigenschaften wird ein gepulstes elektrisches Feld angelegt. Da zum Schalten der Speicherzelle Ionenverteilungen in der gesamten Perowskitstruktur verändert werden müssen, ist nicht damit zu rechnen, dass eine adäquate Schaltgeschwindigkeit erreicht werden kann.

Die Herstellung einer RRAM- Zelle wird in der US 6759249 B2 beschrieben. Dabei wird auf einem Silizium-Substrat mit einer Siliziumoxid-Schicht ein Perowskit-Metalloxid zwischen zwei Elektroden aus Platin oder Iridium angeordnet. Nach einem Ausheizen bei 400 bis 700 °C wird der Widerstand über Spannungspulse variiert.

Weiterhin wird in der US 2006/0281277 A1 die Erzeugung eines Elements mit einem variablen elektrischen Widerstand beschrieben. Dort wird ein Material u. a. auch Strontiumtitanat zwischen zwei Elektroden angeordnet. Dieses Material wird während der Herstellung des

Speicherelements einem reduzierenden Prozessschritt ausgesetzt. Die Veränderung des Widerstandes erfolgt mittels gepulster Spannung an den Elektroden.

Die vorliegende Erfindung stellt eine kostengünstige Alternative zu den bereits bestehenden Speichern bzw. Speicherkonzepten dar. Die Einsparung der Kosten lässt sich dadurch realisieren, dass man lediglich auf den Einbau von intrinsischen Defekten zurückgreift, wo bisher in vielen Fällen zumindest eine Dotierung mit Fremdatomen nötig war. Kennzeichnend für die vorliegende Lösung ist, dass der eigentliche Schaltvorgang im Grenzflächenbereich der Perowskitstruktur zu den Elektroden stattfindet. Dabei wird zwischen Widerstandszuständen, die durch Punkte auf zwei Kennlinien repräsentiert werden, gewechselt. Durch den Betrieb im Grenzflächenbereich wird es vermieden, größere Mengen von Ladungsträgern mit geringer Beweglichkeit (Ionen, insbesondere Sauerstoffionen) transportieren zu müssen. So können hohe Schaltgeschwindigkeiten erreicht werden.

Die Erfindung sieht die Umsetzung von mehreren Prozessschritten vor:

- Bereitstellen eines Metalloxid in Perowskitstruktur,
- Modifikation von Leitfähigkeit und/oder Oberflächenstruktur des Metalloxids,
- Abscheiden zweier flächiger metallischer Elektroden auf dem Metalloxid, so dass das Metalloxid zwischen den beiden Elektroden angeordnet ist, und die Flächen der beiden Elektroden zueinander weitestgehend parallel sind, wobei eine definierte Grenzfläche zwischen Elektrodenmaterial und Metalloxid erhalten bleibt,
- Anlegen eines ungepulsten elektrischen Feldes zwischen den beiden Elektroden über eine Zeit von mehreren Minuten bis zu mehreren Stunden zur Einstellung der Strom-Spannungskennlinien.

Den Ausgangspunkt stellt somit ein kristallines Oxid mit Perowskitstruktur dar, welches für den Einsatzzweck in seiner Leitfähigkeit und/oder Oberflächenkristallstruktur modifiziert wird. Dieser Prozessschritt besteht in einer Wärmebehandlung in reduzierender, d.h. sauerstoffarmer Atmosphäre, einem Ätzprozess oder einer Hydroxilierung der Oberfläche. Durch die so eingestellten Bedingungen an der Oberfläche werden Sauerstoffvakanzan als Defekte im Anionengitter induziert. Zur Aufrechterhaltung der Elektroneutralität folgen gegebenenfalls Kationen aus der Perowskitstruktur dem Sauerstoffgradienten. Dies führt insgesamt zur Modifizierung der genannten Eigenschaften.

Im Anschluss folgt als weiterer Prozessschritt die gezielte Abscheidung der metallischen Kontakte. Dabei spielt die Auswahl des Elektrodenmaterials, insbesondere im Hinblick auf die

Austrittsarbeit, eine wichtige Rolle. Bei niedriger Austrittsarbeit bildet sich beim Vorliegen eines n-Typ Halbleiters ein Ohmscher Kontakt aus. Für Metalle hoher Austrittsarbeit stellt der Metall-Oxid-Übergang hingegen bevorzugt einen Schottky-Kontakt dar. Zudem ist die Wahl des Abscheideverfahrens entscheidend, denn bei niedriger Energie der auftreffenden Metallteilchen bleibt eine definierte Grenzschicht erhalten, die gegebenenfalls unter Feldwirkung weiter modifiziert werden kann. Treffen bei der Abscheidung hochenergetische Teilchen auf das Oxid, dringen sie in selbiges ein und verhindern die Einstellung einer glatten Grenzfläche, wohingegen diese jedoch vorteilhafte Defektzustände hinterlassen und ebenfalls eine Modifizierung der Grenzfläche bewirken können. In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Perowskitstruktur auf einer Elektrode aufwachsen gelassen und die Modifizierung der Leitfähigkeit und Oberflächenstruktur erfolgt, bevor und/oder nachdem die zweite Elektrode auf die Perowskitstruktur aufgebracht wurde. Die zweite Elektrode wird dabei ebenfalls vorteilhaft in einem Verfahren aufgebracht, bei dem die Grenzschicht zwischen Perowskitstruktur und Elektrode erhalten bleibt. Derartige Verfahren sind aus dem Stand der Technik bekannt, bevorzugt werden hier Verfahren der physikalischen Gasphasenabscheidung wie thermisches Verdampfen oder Sputtern verwendet.

Als Elektrodenmaterialien werden zur Erzeugung ohmscher Kontakte bevorzugt Ti, Cr, Al verwendet, sowie zur Erzeugung von Schottky-Kontakten Au, Pt, Ir, Ag, oder Pd eingesetzt.

Die Einstellung der für das Schalten des Widerstandes notwendigen Grenzflächeneigenschaften erfolgt in einem weiteren Prozessschritt. Durch Anlegen eines elektrischen Feldes zwischen den beiden Elektroden über eine bestimmte Zeit wird durch elektrochemische Vorgänge an der Grenzfläche eine lokale Strukturänderung initiiert, welche sich in einer bestimmten elektronischen Struktur des Kontaktes beziehungsweise der Kennlinie äußert. Dieser Schritt wird hier als Formierung bezeichnet. Das elektrische Feld in der Größenordnung von 1000 V/mm wird dabei über eine Zeit im Minuten- oder Stundenbereich angelegt und bewirkt eine Umverteilung von Sauerstoffleerstellen nahe der Grenzfläche. Die verschiedenen Grenzflächenzustände führen zu Reihen von möglichen Widerstandszuständen in Abhängigkeit von angelegten Spannungen. Diese Reihen von Widerstandszuständen bilden Kennlinien. Allgemeine Folge dieses Schrittes ist eine Hysterese in der Strom-Spannungs-Kennlinie des Kontaktes.

Die Erfindung betrifft weiterhin den Betrieb eines nach dem vorgestellten Verfahren hergestellten Datenspeicherelements.

Grundlage für die Datenspeicherung ist schließlich das Schalten zwischen verschiedenen Grenzflächenzuständen durch elektrische Kleinsignale unter Ausnutzung der Hysterese in der Strom-Spannungs-Kennlinie. Schreib- und Löschpulse haben dabei unterschiedliche Polaritäten

und Spannungsbeträge von ca. 10-100 V/mm (bezogen auf die Probendicke), die den Spannungsbetrag eines Leseimpulses übersteigen.

Die Grenzflächenzustände werden durch Schreib- und Löschimpulse geschaltet und durch Leseimpulse vermessen, wobei sich die unterschiedlichen Zustände in verschiedenen großen Widerständen äußern. Die Änderung des Widerstandes kann dabei je nach verwendetem Material auf verschiedensten Mechanismen beruhen. Die Leitfähigkeit ändert sich dabei beispielsweise durch Befüllen und Entleeren von elektronischen Grenzflächenzuständen oder durch Schalten der Bindungsverhältnisse an der Grenzfläche. Die Anzahl der Speicherzustände kann dabei auch größer als zwei sein, wenn entsprechend verschiedene Schreibimpulse benutzt werden, die sich in Dauer oder Spannungsbetrag unterscheiden.

Das nach dem oben dargestellten Verfahren hergestellte Datenspeicherelement wird vorteilhaft in einer nichtflüchtigen Speicherzelle oder einem Sensor verwendet.

Ausführungsbeispiel 1

In einem ersten Ausführungsbeispiel wird im ersten Prozessschritt einkristallines Strontiumtitanat ($10 \times 10 \times 0,1 \text{ mm}^3$) bei einer Temperatur von $900 \text{ }^\circ\text{C}$ und einem Druck von $2 \times 10^{-6} \text{ mbar}$ für 20 h getempert. Die reduzierenden Bedingungen führen zur Ausbildung von Sauerstoffvakanz, die Defekte im Anionengitter darstellen und ein Leitverhalten vom Typ n-Halbleiter bedingen. Zur Aufrechterhaltung der Elektroneutralität bewegen sich gegebenenfalls Strontiumionen entlang des Sauerstoffgradienten. Dies führt zur Modifizierung von elektrischer Leitfähigkeit und Oberflächenstruktur des Materials. Die gezielte Abscheidung der Elektrodenmaterialien im zweiten Prozessschritt erfolgt im Beispiel durch thermische Verdampfung, da diese niederenergetische Teilchen zur Abscheidung bereitstellt, was die Einstellung einer definierten Grenzflächenstruktur und die Möglichkeit der späteren Formierung im elektrischen Feld ermöglicht. Als Elektrodenmaterialien werden Titan (niedrige Austrittsarbeit für Ohmschen Rückseitenkontakt) und Gold (hohe Austrittsarbeit für Schottky-Kontakt auf Vorderseite) gewählt (siehe Fig. 1). Für den dritten Prozessschritt wird ein elektrisches Feld von 500 V/mm für eine Zeit von 10 min an die so vorbereiteten Proben angelegt. Die Kennlinien vor und nach dieser Formierung unterscheiden sich merklich. Die Kennlinie nach der Formierung zeigt bei positiven Spannungen eine deutliche Hysterese (siehe Fig. 2).

Ein entsprechender Speicherzyklus mit Schreiben, Lesen und Löschen ist in Fig. 3 dargestellt. Den Unterschied des elektrischen Stromes bei einer beispielhaft gewählten Auslesespannung

von +2 V nach einem Schreibprozess bei +5 V und einem Löschvorgang bei -5 V zeigt Abb. 4. Trotz der leichten Zeitabhängigkeit des Stromsignals ist eine deutliche Unterscheidung der beiden Zustände möglich, womit die Tauglichkeit als Speicherelement nachgewiesen ist.

Ausführungsbeispiel 2

In einem zweiten Ausführungsbeispiel wird in einem ersten Schritt auf einem geeigneten Substrat, hier ein monokristalliner Siliziumwafer, im Oxidationsofen eine thermische Oxidschicht (Siliziumdioxid) hergestellt. Mittels Abscheideverfahren wird im zweiten Schritt unter Einsatz bekannter Lithographieverfahren die Rückseiten-Elektrode aus Titan auf dem thermischen Oxid abgelegt. Auf dieser unteren Elektrode wird mittels ALD (Atomic Layer Deposition) und mit kommerziell erhältlichen Precursoren eine dünne Strontiumtitanat-Schicht erzeugt. Mit einem gezielten Spülschritt (Wasserdampf) wird nun die Oberfläche der Strontiumtitanatdünnschicht gezielt hydroxyliert, bevor durch ein Abscheideverfahren die Oberseiten-Elektrode aus Gold prozessiert wird. Für die metallischen Elektroden werden Schichtdicken größer als 20 nm bevorzugt, hier werden 50 nm erreicht. Mittels eines stationären ungeladenen elektrischen Feldes in der Größenordnung von 500 V/mm (ca. 25 mV für eine Strontiumtitanat-Schichtdicke von 50 nm) wird nun der speicherfähige Zustand eingestellt, wobei sich die Kennlinien vor und nach der Formierung merklich unterscheiden. Eine Hysterese im positiven Spannungsbereich entsprechend Abbildung 2 wird erzielt. Der Speicherzyklus ist analog zu Abbildung 3 gestaltet ($U_1 = 2,5 \text{ mV}$, $U_2 = -2,5 \text{ mV}$, $U_3 = 1 \text{ mV}$).

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines nichtflüchtigen elektronischen Datenspeicherelementes auf Grundlage eines kristallinen Metalloxids in Perowskitstruktur, wobei
 - a) ein Metalloxid in Perowskitstruktur bereitgestellt wird,
 - b) das Metalloxid einer Modifikation von Leitfähigkeit und/oder Oberflächenstruktur unterzogen wird,
 - c) zwei flächige metallische Elektroden auf dem Metalloxid abgeschieden werden, so dass das Metalloxid zwischen den beiden Elektroden angeordnet ist, und die Flächen der beiden Elektroden zueinander weitestgehend parallel sind, wobei eine definierte Grenzfläche zwischen Elektrodenmaterial und Metalloxid erhalten bleibt,
 - d) ein ungeladenes elektrisches Feld zwischen den beiden Elektroden über eine Zeit von mehreren Minuten bis zu mehreren Stunden angelegt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Metalloxid in Perowskitstruktur ausgewählt wird aus SrTiO_3 , CaTiO_3 , BaTiO_3 , KNbO_3 oder PbTiO_3 .
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Modifikation von Leitfähigkeit und Oberflächenstruktur durch Temperaturbehandlung in sauerstoffarmer Atmosphäre und/oder durch Anätzen mit einer geeigneten Säure und/oder Hydroxylierung erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheidung der Elektroden mittels physikalischer Gasphasenabscheidung, bevorzugt thermischen Verdampfens und/oder Sputterns erfolgt.
5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass Modifikation von Leitfähigkeit und Oberflächenstruktur durch Temperaturbehandlung erfolgt, die nach dem Aufbringen der Elektroden durchgeführt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass während der Temperaturbehandlung ein ungeladenes elektrisches Feld zwischen den beiden Elektroden angelegt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Modifikation von Leitfähigkeit und Oberflächenstruktur des Metalloxids bei einer Temperatur von ca. 900°C erfolgt.

8. Verfahren zum Betrieb eines nichtflüchtigen elektronischen Datenspeicherelements nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Programmierung des Datenspeicherelements mit Schreib- und Löschpulsen erfolgt, wobei die Schreib- und Löschpulse entgegengesetzte Polaritäten aufweisen und die Spannungsbeträge der Schreib- und Löschpulse die Spannungsbeträge der Lesepulse übersteigen.
9. Verfahren zum Betrieb eines nichtflüchtigen elektronischen Datenspeicherelements nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Datenspeicher mindestens zwei Widerstandszustände aufweist, die in Abhängigkeit von Betrag und Dauer der benutzten Schreibpulse ausgewählt werden.
10. Datenspeicherelement hergestellt nach den Verfahren aus den Ansprüchen 1 bis 7.
11. Verwendung eines Datenspeicherelements nach Anspruch 10 in einer nichtflüchtigen Speicherzelle oder einem Sensor.

1/2

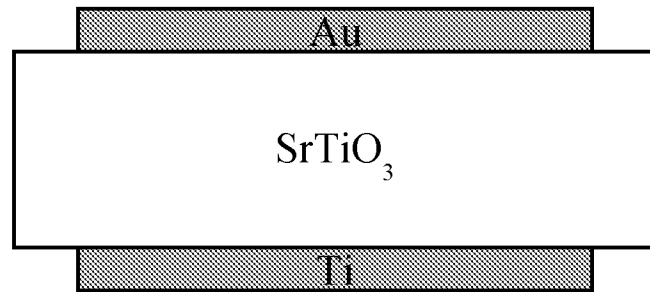


Fig. 1

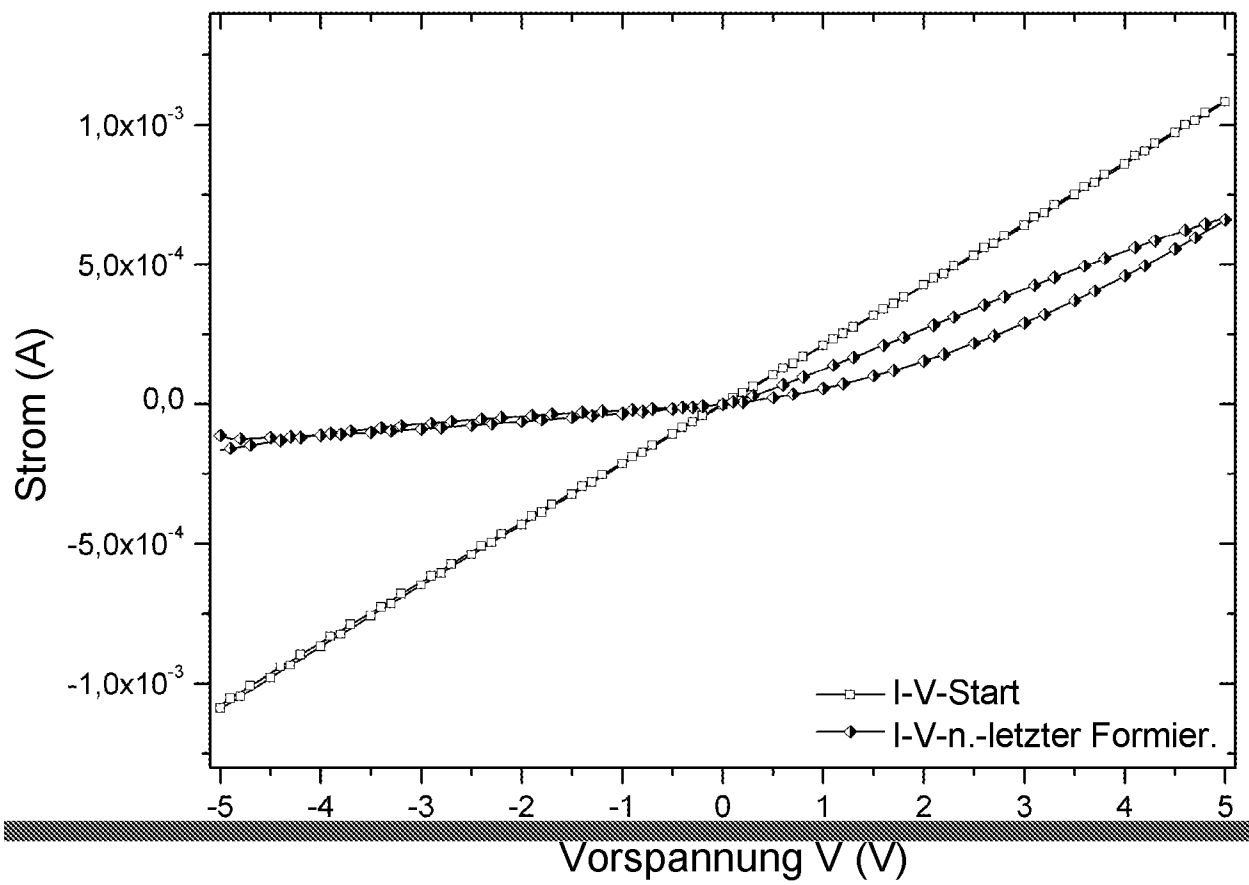


Fig. 2

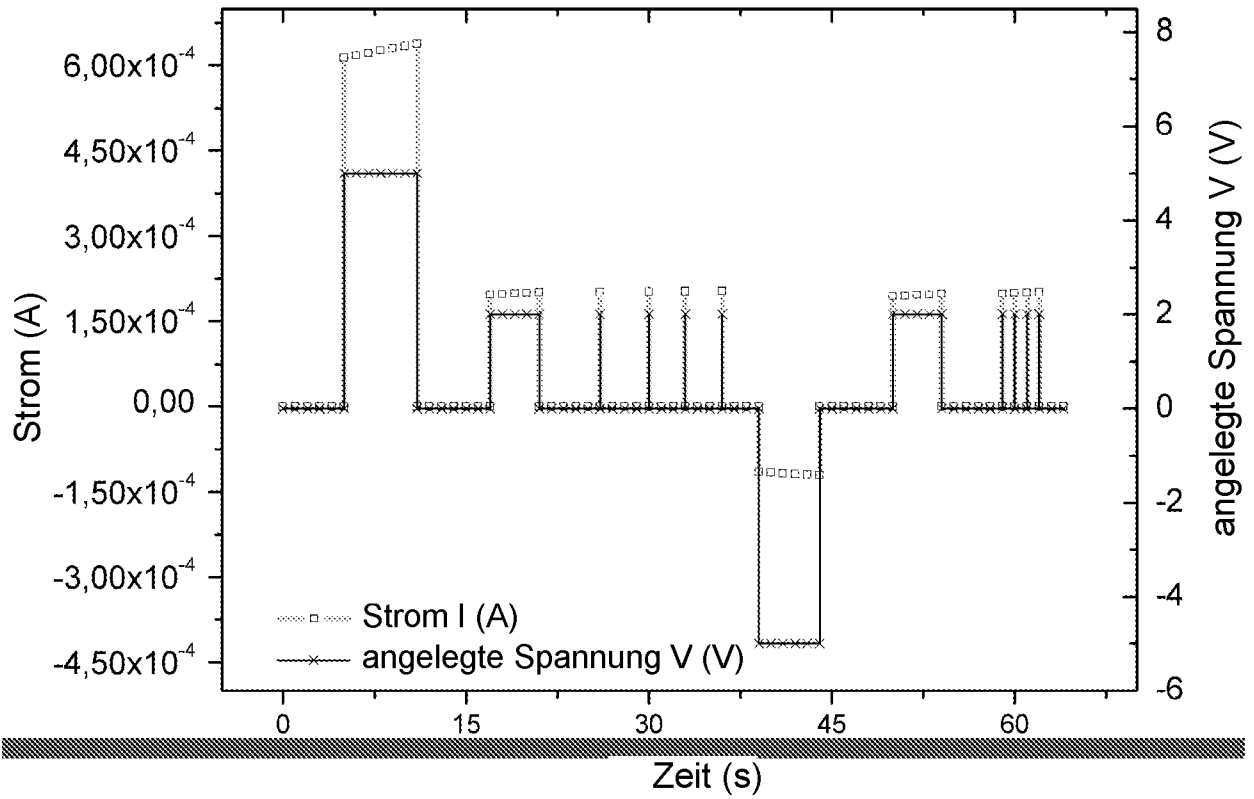


Fig. 3

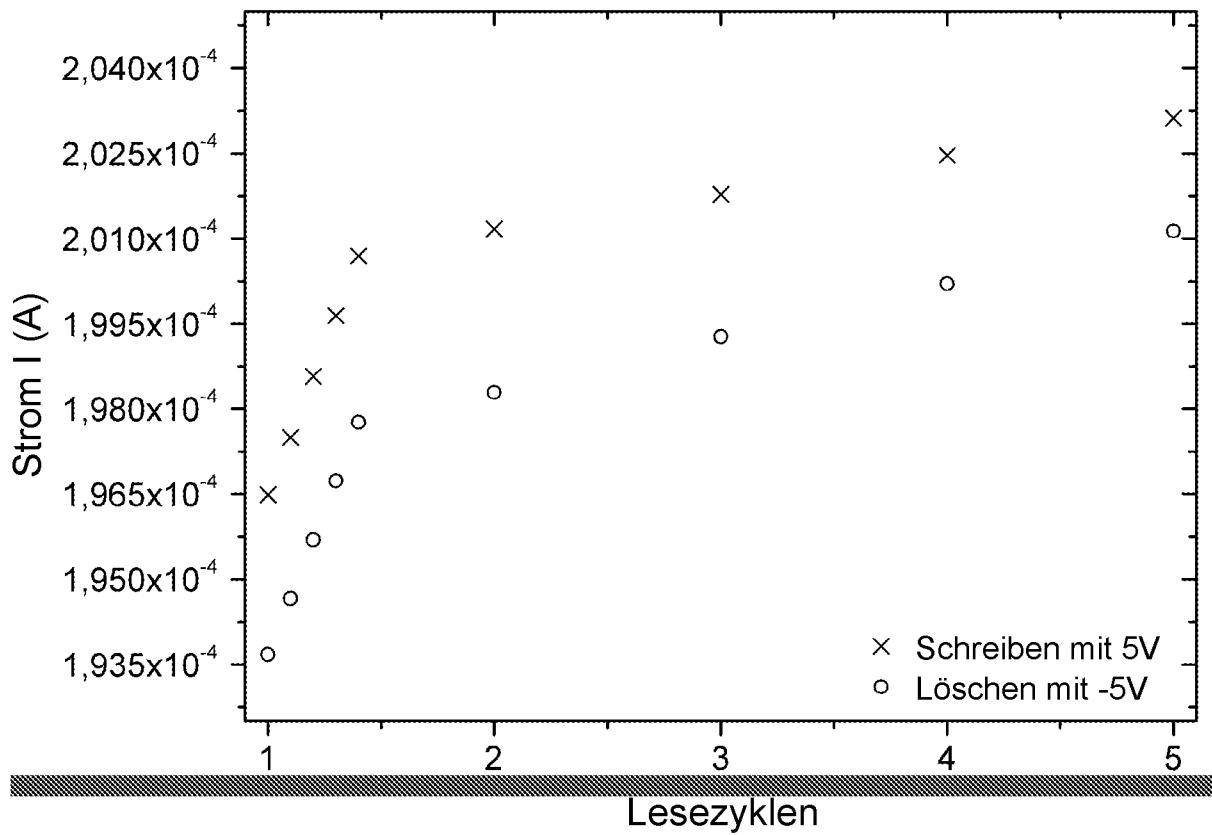


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/EP2011/053592

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. H01L45/00 G11C13/00 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L G11C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KARG S F ET AL: "Transition-metal-oxide-based resistance-change memories", IBM JOURNAL OF RESEARCH AND DEVELOPMENT, vol. 52, no. 4-5, July 2008 (2008-07), pages 481-492, XP009149470, ISSN: 0018-8646 page 482, left-hand column, last paragraph - page 484, right-hand column, paragraph 2; figures 1, 3a page 485, right-hand column, last paragraph - page 488, left-hand column; figures 5, 7 <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> ----- -/-- </div>	1-4,7-11
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
20 June 2011	14/07/2011	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Köpf, Christian	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/EP2011/053592

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>SZOT K ET AL: "Switching the electrical resistance of individual dislocations in single-crystalline SrTiO₃", NATURE MATERIALS, vol. 5, no. 4, April 2006 (2006-04), pages 312-320, XP55000920, ISSN: 1476-1122, DOI: 10.1038/nmat1614 page 313, right-hand column - page 314, right-hand column, paragraph 1; figure 1 page 319, right-hand column, paragraph 3 -----</p>	1-4,7-11

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/053592

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H01L45/00 G11C13/00
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherhierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H01L G11C

Recherhierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherhierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	KARG S F ET AL: "Transition-metal-oxide-based resistance-change memories", IBM JOURNAL OF RESEARCH AND DEVELOPMENT, Bd. 52, Nr. 4-5, Juli 2008 (2008-07), Seiten 481-492, XP009149470, ISSN: 0018-8646 Seite 482, linke Spalte, letzter Absatz - Seite 484, rechte Spalte, Absatz 2; Abbildungen 1, 3a Seite 485, rechte Spalte, letzter Absatz - Seite 488, linke Spalte; Abbildungen 5, 7 ----- -/--	1-4,7-11



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 20. Juni 2011	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 14/07/2011
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Köpf, Christian

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	SZOT K ET AL: "Switching the electrical resistance of individual dislocations in single-crystalline SrTiO ₃ ", NATURE MATERIALS, Bd. 5, Nr. 4, April 2006 (2006-04), Seiten 312-320, XP55000920, ISSN: 1476-1122, DOI: 10.1038/nmat1614 Seite 313, rechte Spalte - Seite 314, rechte Spalte, Absatz 1; Abbildung 1 Seite 319, rechte Spalte, Absatz 3 -----	1-4,7-11