



(10) **DE 10 2004 043 855 B4** 2011.04.21

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2004 043 855.2**
 (22) Anmeldetag: **10.09.2004**
 (43) Offenlegungstag: **19.05.2005**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **21.04.2011**

(51) Int Cl.: **H01L 43/08 (2006.01)**
H01L 27/22 (2006.01)
H01L 43/12 (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. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
10/659,136 10.09.2003 US

(73) Patentinhaber:
**International Business Machines Corp., Armonk,
 N.Y., US; Qimonda AG, 81739 München, DE**

(74) Vertreter:
**Müller - Hoffmann & Partner Patentanwälte, 81667
 München**

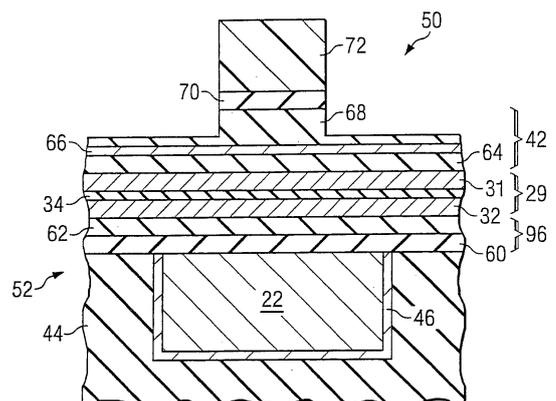
(72) Erfinder:
**Stojakovic, George, Hopewell Junction, N.Y., US;
 Ranade, Rajiv M., Brewster, N.Y., US; Kasko,
 Ihar, Mennecy, FR; Nuetzel, Joachim, 01097
 Dresden, DE; Milkove, Keith Raymond, Beacon,
 N.Y., US; Allen, Russel D., Mahopac, N.Y., US; Lee,
 Young Hoon, Hartsdale, N.Y., US**

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

DE	11 2004 001017	T5
DE	603 01 344	T2
US	65 38 919	B1
US	64 79 353	B2
US	64 26 012	B1
US	63 91 658	B1
US	63 85 082	B1
US	63 51 408	B1
US	2003/00 68 897	A1
US	56 50 958	A
US	56 40 343	A
EP	12 48 305	A2
WO	03/0 19 590	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung einer Magnet-Tunnel-Junction-Vorrichtung**

(57) **Hauptanspruch:** Verfahren zur Herstellung einer Magnet-Tunnel-Junction-Vorrichtung, umfassend:
 Bereitstellen einer Hartmaske (42) oberhalb eines Magnet-Tunnel-Junction-Stapels (29), wobei die Hartmaske (42) eine Titanitrid-Schicht (68) oberhalb einer Titan-Schicht (66) beinhaltet;
 Bereitstellen einer strukturierten Schicht (72) aus Photolack oberhalb der Hartmaske (42);
 Ätzen wenigstens der Hälfte der Schichtdicke der Titanitrid-Schicht (68) mit einer ersten Ätzrezeptur;
 Ätzen des Restes der Schichtdicke der Titanitrid-Schicht (68) und eines Teils der Schichtdicke der Titan-Schicht (66) mit einer zweiten Ätzrezeptur; und
 Entfernen der Schicht (72) aus Photolack.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die Erfindung betrifft allgemein die Herstellung von Halbleiter-Vorrichtungen und speziell die Herstellung von Magnet-Tunnel-Junction-Vorrichtungen, wie zum Beispiel magnetische Schreib-Lese-Speicher (MRAM)-Vorrichtungen.

HINTERGRUND

[0002] Eine neue Entwicklung bei Speicher-Vorrichtungen bezieht Spin-Elektronik ein, welche Prinzipien der Halbleitertechnologie und des Magnetismus miteinander verbindet. Anstatt der Ladung kann der Elektronen-sein herangezogen werden, um das Vorhandensein eines binären „1“ oder „0“ Zustands zu kennzeichnen. Eine derartige Spin-Elektronik-Vorrichtung ist eine magnetische Schreib-Lese-Speicher(MRAM)-Vorrichtung. **Fig. 1** stellt eine vereinfachte schematische Darstellung für einen Teil einer typischen MRAM-Vorrichtung **20** dar. In einer MRAM-Vorrichtung **20** können Leitungen **22** (z. B. Wort-Leitungen und Bit-Leitungen) senkrecht zueinander in verschiedenen Metall-Schichten angeordnet sein. Zwischen die Leitungen **22** ist eine Magnet-Tunnel-Junction (MTJ) **30** geschichtet. Jede MTJ **30** beinhaltet zumindest zwei magnetische Schichten **31**, **32**, die über eine zwischenliegende Tunnel-Barrieren-Schicht **34** voneinander getrennt sind. Der Speichermechanismus beruht auf der relativen Ausrichtung der Magnetisierung der beiden magnetischen Schichten **31**, **32** und der Möglichkeit, diese Ausrichtung elektrisch mit Hilfe von Elektroden (z. B. den Leitungen **22**), welche mit den magnetischen Lagen **31**, **32** verbunden sind, zu erkennen oder wahrzunehmen. Dadurch wird es möglich, digitale, als „0“ oder „1“ dargestellte Information durch die relative Anordnung der magnetischen Momente einer jeden MTJ **30** zu speichern. Einen allgemeinen Überblick zu MTJ-Vorrichtungen und MRAM-Vorrichtungen geben beispielsweise US 6538919 B1, US 6385082 B1, US 5650958 A, und US 5640343 A

[0003] In einer Magnet-Tunnel-Junction-Vorrichtung **20** ist es von Bedeutung, dass die beiden magnetischen Schichten **31**, **32** einer jeden MTJ **30** voneinander durch die Tunnel-Barrieren-Schicht **34** getrennt sind. Obwohl sie als einzelne Schichten zum Zwecke der Vereinfachung der Darstellung gezeigt sind, sind die metallischen Schichten **31**, **32** typischerweise jeweils durch mehrfach gestapelte Schichten aus verschiedenen Materialien aufgebaut. **Fig. 2** und **Fig. 3** stellen ein typisches Verfahren zur Herstellung einer MTJ **30** für eine Magnet-Tunnel-Junction-Vorrichtung **40** (z. B. eine MRAM-Vorrichtung) dar. **Fig. 2** ist eine Querschnittsansicht, die über einer Untergrundschrift unstrukturiert ausgebildete Magnet-Tunnel-Junction-Schichten **29** zeigt, wobei die Untergrundschrift eine in einer isolierenden Schicht **40** ausgebildete Leitung **22** (z. B. eine Wort-Leitung oder eine Bit-Leitung) beinhaltet. Die Magnet-Tunnel-Junction-Schichten **29** beinhalten zwei magnetische Schichten **31**, **32** mit einer zwischengeschichteten Tunnel-Barrieren-Schicht **34**. Eine Hartmaske **42** befindet sich zuoberst der oberen magnetischen Schicht **31**. In diesem Stadium ist die Hartmaske **42** schon geätzt und strukturiert. Als nächster Schritt werden in diesem bestimmungsgemäßen Verfahren die beiden magnetischen Schichten **31**, **32** zusammen mit der Tunnel-Barrieren-Schicht **34** mit einem Ätzverfahren wie etwa beispielsweise nasschemischer Ätzung, reaktiver Ionenätzung (RIE) oder Ionenätzen ausgerichtet zur Hartmaske **42** geätzt. RIE wird wegen der Möglichkeit des anisotropischen Ätzens in einer bestimmten Richtung (z. B. um vertikale Seitenwände der MTJ **30** vorzusehen) bevorzugt. **Fig. 3** zeigt die mit diesem Verfahren hergestellte MTJ **30**. Es gilt zu beachten, dass ein Teil der Hartmaske **42** nach diesem Schritt, wie in **Fig. 3** dargestellt ist, zurückbleiben kann, wobei jegliche zurückbleibende Hartmaske **42**, falls gewünscht oder erfordert, später entfernt werden kann.

[0004] Obwohl RIE und Ionenätzen den Vorteil des anisotropen (gerichteten) Ätzens von Material bieten, besteht der wesentliche Nachteil von RIE und Ionenfräsen im Ausstoß von während des Verfahrens verlagerten Partikeln, welche in viele verschiedene Richtungen geschleudert werden können. Demnach bestehen wesentliche Bedenken und Probleme mit dem oben beschriebenen Verfahren zur Herstellung der MTJ **30** (siehe **Fig. 2** und **Fig. 3**) in der Wiederabscheidung von gesputtertem leitfähigem Material der magnetischen Schichten **31**, **32** und/oder der darunterliegenden Leitung **22** auf die MTJ **30** an der Tunnel-Barrieren-Schicht **34**. Eine derartige Wiederabscheidung kann zu einem Kurzschluß zwischen den beiden magnetischen Schichten **31**, **32** führen, welche zum ordnungsgemäßen Betrieb entlang der Tunnel-Barrieren-Schicht **34** elektrisch voneinander isoliert sein müssen. Folglich besteht ein Bedarf an einem Verfahren zur Herstellung der MTJ **30** mit erheblich niedrigerem oder ausgeschlossenenem Risiko, dass elektrisch leitfähige Materialien wieder auf die MTJ **30** abgeschieden werden und einen Kurzschluss erzeugen. Ein weiteres Problem besteht darin, dass wiederabgeschiedenes leitfähiges Material eine Brücke zwischen Leiterbahnen bilden kann, was ebenso ausgeschlossen werden sollte.

[0005] Ein Verfahren zur Herstellung der MTJ **30**, welches mit der Absicht der Vermeidung von Wiederabscheidung leitfähigen Materials auf die MTJ **30** und anderenorts erprobt wurde, nutzt eine Plasmaumgebung bei hoher Temperatur (z. B. 300–400°C). Dieses Verfahren beabsichtigt verlagerte Partikel zu verflüchtigen, wodurch diese zur Vermeidung von Wiederabscheidung einfacher aus der Reaktionskammer entfernt werden können. Dennoch besteht ein wesentlicher Nachteil dieses Verfahrens in der hohen Temperaturbelastung der Vorrichtung. Eine deartig hohe Temperaturbelastung kann die Vorrichtung schädigen und/oder deren Leistungsvermögen negativ beeinflussen. Deshalb wäre es höchst wünschenswert ein Verfahren zur Herstellung der MTJ **30** bei niedrigeren Temperaturbedingungen bereitzustellen.

[0006] Weitere mit den Verfahren des Standes der Technik zur Herstellung der MTJ **30** verbundene Probleme betreffen die Korrosion der Kupfer-Leitungen und die niedrige Ätzselektivität der TiN Hartmasken, welche üblicherweise eingesetzt werden. Deshalb besteht ein Bedarf nach einem Verfahren zur Herstellung einer MTJ **30** mit verminderter oder ausgeschlossener Korrosion der darunterliegenden Leiterbahnen **22** und/oder mit verbesserter Ätzselektivität bezüglich der Hartmaske **42**.

[0007] Im Einzelnen ist aus der US 6391658 B1 eine MTJ-Vorrichtung mit einer Schichtanordnung Ti/TiN in Kontakt zu dem MTJ-Stapel bekannt. Weiterhin ist aus der US 6351408 B1 bekannt, dass diese Schichtanordnung über dem MTJ-Stapel ausgebildet werden kann. Die US 6426012 B1 legt dem Fachmann eine TaN Schicht für eine MTJ-Vorrichtung nahe. Verfahren zur Herstellung von MTJ-Vorrichtungen sind der DE 603 01 344 T2, DE 11 2004 011 017 T5 und EP 1 248 305 A2 entnehmbar.

DETAILLIERTE ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0008] Die oben ausgeführten Probleme und Forderungen werden erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0009] Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer Magnet-Tunnel-Junction(MTJ)-Vorrichtung bereitgestellt. Dieses Verfahren beinhaltet die folgenden Schritte. Eine strukturierte Hartmaske wird oxidiert zur Bildung einer darüberliegenden Oxid-Oberfläche. Ein MTJ Stapel wird nach der Oxidation der strukturierten Hartmaske ausgerichtet zur Hartmaske geätzt. Die Hartmaske kann beispielsweise eine oder mehrere Schichten aus Titan, Tantal, Tantalnitrid, Titannitrid, Titanoxid, Tantaloxid oder einer beliebigen Zusammensetzung hieraus beinhalten. Beispielsweise kann die Hartmaske eine Tantalnitrid-Schicht, eine Titan-Schicht oberhalb der Tantalnitrid-Schicht und eine Titannitrid-Schicht oberhalb der Titan-Schicht beinhalten. Die Ätzung des MTJ Stapels wird beispielsweise bevorzugt mit einer Sauerstoff und Chlor beinhaltenden Ätzchemie und mit Hilfe einer automatischen Gittervorspannung zwischen ungefähr –350 und ungefähr –380 Volt durchgeführt.

[0010] Es wird eine Magnet-Tunnel-Junction(MTJ)-Vorrichtung bereitgestellt, welche ein MTJ Stapel, eine Tantalnitrid-Schicht, eine Titan-Schicht sowie eine Titannitrid-Schicht beinhaltet. Die Tantalnitrid-Schicht befindet sich oberhalb des MTJ Stapels. Die Titan-Schicht ist oberhalb der Tantalnitrid-Schicht angeordnet. Ebenso befindet sich die Titannitrid-Schicht oberhalb der Titan-Schicht.

[0011] Es wird eine Magnet-Tunnel-Junction(MTJ)-Vorrichtung bereitgestellt, welche ein MTJ Stapel, eine Titan-Schicht oberhalb des MTJ Stapels und eine Titannitrid-Schicht oberhalb der Titan-Schicht beinhaltet.

[0012] Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer Magnet-Tunnel-Junction(MTJ)-Vorrichtung bereitgestellt. Dieses Verfahren beinhaltet die folgenden Schritte. Eine Hartmaske wird oberhalb eines MTJ Stapels erstellt. Eine ARC-Schicht wird oberhalb der Hartmaske erstellt. Eine strukturierte Schicht aus Photolack wird oberhalb der ARC-Schicht bereitgestellt. Die ARC-Schicht wird geätzt. Dann wird die Hartmaske um eine erste Dicke der Hartmaske geätzt, wobei die erste Dicke kleiner als die gesamte Dicke der Hartmaske ist. Die Photolack- und die ARC-Schicht werden nach dem Ätzen um die erste Dicke der Hartmaske entfernt. Dann wird die Hartmaske nach dem Entfernen der Photolack- und der ARC-Schichten um eine verbleibende Dicke der Hartmaske geätzt. Die Hartmaske kann beispielweise eine Tantalnitrid-Schicht, eine Titan-Schicht oberhalb der Tantalnitrid-Schicht und eine Titannitrid-Schicht oberhalb der Titan-Schicht enthalten.

[0013] Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer Magnet-Tunnel-Junction(MTJ)-Vorrichtung bereitgestellt. Dieses Verfahren beinhaltet die folgenden Schritte. Eine Hartmaske wird oberhalb eines MTJ Stapels erstellt. Die Hartmaske beinhaltet eine Titannitrid-Schicht oberhalb einer Titan-Schicht. Eine strukturierte Schicht von Photolack wird oberhalb der Hartmaske erstellt. Die Hartmaske wird mit einer ersten Ätzrezeptur um einen Großteil der Titannitrid-Schicht geätzt. Dann wird die Hartmaske mit einer zweiten Ätzrezeptur um einen Rest

der Titanitrid-Schicht und einen ersten Teil der Titan-Schicht geätzt. Danach wird die Schicht aus Photolack entfernt. Die Hartmaske kann des weiteren eine Tantalnitrid-Schicht beinhalten, wobei die Tantal-Schicht oberhalb der Tantalnitrid-Schicht ist. Nach dem Entfernen der Photolack- und der ARC-Schichten kann die Hartmaske mit einer dritten Ätzrezeptur um den Rest der Titan-Schicht und um mindestens einen Großteil der Tantalnitrid-Deckschicht geätzt werden. Die Hartmaske kann zur Ausbildung eines darüberliegenden Oberflächenoxids oxidiert werden.

[0014] Es wird eine Verfahren zur Herstellung einer Magnet-Tunnel-Junction(MTJ)-Vorrichtung bereitgestellt. Bei diesem Verfahren wird eine anfängliche Struktur bestehend aus einer Untergrundschrift, einer unteren Tantalnitrid-Schicht oberhalb der Untergrundschrift, einer Tantal-Schicht oberhalb der unteren Tantalnitrid-Schicht, einem MTJ Stapel oberhalb der Tantal-Schicht, einer Tantalnitrid-Deckschicht oberhalb des MTJ Stapels, einer Titan-Schicht oberhalb der Tantalnitrid-Deckschicht, einer Titanitrid-Schicht oberhalb der Titan-Schicht, sowie einer strukturierten Schicht aus Photolack oberhalb der Titanitrid-Schicht erstellt. Das Ätzen eines Großteils der Titanitrid-Schicht wird mit Hilfe einer ersten Ätzrezeptur durchgeführt. Das Ätzen eines Restes der Titanitrid-Schicht und eines ersten Teils der Titan-Schicht wird mit Hilfe einer zweiten Ätzrezeptur durchgeführt. Die Schicht aus Photolack wird entfernt. Das Ätzen eines Restes der Titan-Schicht und zumindest eines Großteils der Tantalnitrid-Deckschicht wird mit Hilfe einer dritten Ätzrezeptur durchgeführt. Die Titanitrid-Schicht, die Titan-Schicht und die Tantalnitrid-Deckschicht werden zur Ausbildung eines darauffliegenden Oberflächenoxids oxidiert. Der MTJ Stapel wird mit Hilfe einer vierten Ätzrezeptur geätzt. Die Tantal-Schicht und die untere Tantalnitrid-Schicht werden mit Hilfe einer fünften Ätzrezeptur geätzt. Das Spülen der Struktur mit deionisiertem Wasser kann nach dem Ätzen der unteren Tantalnitrid-Schicht erfolgen.

[0015] Die Untergrundschrift kann aus isolierendem Material mit einer darin ausgebildeten Leiterbahn bestehen. Beispielsweise kann die Untergrundschrift aus isolierendem Material bestehen und die Leiterbahn kann eine Mantelschicht sowie eine Kupferleitung beinhalten. Der MTJ Stapel kann beispielsweise eine Platin-Mangan-Schicht, eine Kobalt-Eisen-Schicht oberhalb der Platin-Mangan-Schicht, eine Aluminiumoxid-Schicht oberhalb der Kobalt-Eisen-Schicht sowie eine Eisen-Nickel-Schicht oberhalb der Aluminiumoxid-Schicht beinhalten. Das Ätzen des Großteils der Titanitrid-Schicht erstreckt sich über ungefähr 90% der gesamten Dicke der Titanitrid-Schicht. Die erste Hartmasken-Ätzrezeptur kann einen Gasfluß von zumindest Cl_2 und NF_3 beinhalten. Beispielsweise kann die erste Ätzrezeptur bevorzugt einen Cl_2 -Gasfluß von ungefähr 40 sccm, einen NF_3 -Gasfluß von ungefähr 4 sccm, eine Plasma-Quellenleistung von ungefähr 2000 Watt, eine Plasma Bias-Leistung von ungefähr 220 Watt und einen Druck von 0,33 Pa (2,5 mTorr) bei Verwendung einer MORI Quelle hoher Dichte enthalten. Die zweite Ätzrezeptur kann eine auf Flur basierte Ätzchemie beinhalten. Beispielsweise kann die zweite Ätzrezeptur bevorzugt einen CF_4 -Gasfluß von ungefähr 10 cm^3/min bei Standardbedingungen (sccm) (sccm = Standardkubikzentimeter Pro Minute), einen CHF_3 -Gasfluß von ungefähr 5 cm^3/min bei Standardbedingungen (sccm), einen Ar-Gasfluß von ungefähr 60 sccm, eine Plasma-Quellenleistung von ungefähr 1000 Watt, eine Plasma Bias-Leistung von ungefähr 100 Watt sowie einen Druck von ungefähr 0,33 Pa (2,5 mTorr) enthalten. Die Entfernung der Schicht aus Photolack kann mit Hilfe eines Gasflusses von O_2 oder O_2 und Ar erfolgen. Die Entfernung der Schicht aus Photolack wird bevorzugt vor dem Ätzen mit der dritten Ätzrezeptur durchgeführt; dennoch kann sie vor dem Ätzen mit der zweiten Ätzrezeptur oder nach dem Ätzen mit der dritten Ätzrezeptur erfolgen. Die dritte Ätzrezeptur kann eine auf Flur basierte Ätzchemie enthalten. Beispielsweise kann die dritte Ätzrezeptur bevorzugt einen CF_4 -Gasfluß von ungefähr 10 cm^3/min bei Standardbedingungen (sccm), einen CHF_3 -Gasfluß von ungefähr 5 cm^3/min bei Standardbedingungen (sccm), einen Ar-Gasfluß von ungefähr 60 cm^3/min bei Standardbedingungen (sccm), eine Plasma-Quellenleistung von ungefähr 1000 Watt, eine Plasma Bias-Leistung von ungefähr 100 Watt sowie einen Druck von ungefähr 0,33 Pa (2,5 mTorr) enthalten. Die Oxidation zur Ausbildung eines Oberflächenoxids ist bevorzugt eine Plasma-Oxidation, die beispielsweise mit Hilfe eines O_2 -Gasflusses von ungefähr 50 sccm, eines Ar-Gasflusses von ungefähr 50 cm^3/min bei Standardbedingungen (sccm), einer Plasma-Quellenleistung von ungefähr 1500 Watt, einer Plasma Bias-Leistung von ungefähr 25 Watt sowie einem Druck von ungefähr 0,66 Pa (5 mTorr) erfolgt. Die an der Oberfläche oxidierten Titanitrid-, Titan- und Tantalnitrid-Deckschichten dienen bevorzugt als Hartmasken-Struktur zur Ätzung des MTJ Stapels. Die vierte Ätzrezeptur kann einen Gasfluß von Cl_2 und O_2 oder Cl_2 , O_2 , und Ar beinhalten. Beispielsweise kann die vierte Ätzrezeptur bevorzugt einen Cl_2 -Gasfluß von ungefähr 40 cm^3/min bei Standardbedingungen (sccm), einen O_2 -Gasfluß von ungefähr 10 sccm, einen Ar-Gasfluß von ungefähr 20 cm^3/min bei Standardbedingungen (sccm), eine Plasma-Quellenleistung von ungefähr 2500 Watt, eine Plasma Bias-Leistung von ungefähr 250 Watt, einen Druck von ungefähr 0,33 Pa (2,5 mTorr) sowie eine automatische Vorspannung zwischen ungefähr -350 und ungefähr -380 Volt beinhalten. Die fünfte Ätzrezeptur kann eine auf Flur basierte Ätzchemie enthalten. Beispielsweise kann die fünfte Ätzrezeptur bevorzugt einen CF_4 -Gasfluß von ungefähr 60 cm^3/min bei Standardbedingungen (sccm), einen O_2 -Gasfluß von ungefähr 5 cm^3/min bei Standardbedingungen (sccm), einen Ar-Gasfluß von ungefähr 10 cm^3/min bei Standardbedingungen (sccm), eine Plasma-Quellenleistung von ungefähr 1000 Watt, eine Plasma Bias-

Leistung von ungefähr 100 Watt, einen Druck von ungefähr 0,33 Pa (2,5 mTorr) sowie eine automatische Vorspannung zwischen ungefähr -90 und ungefähr -110 Volt enthalten. Die Untergrundschrift kann mit Hilfe der fünften Ätzrezeptur tief geätzt werden, um bis zu ungefähr 90 nm der Untergrundschrift in einem optionalen Schritt zu entfernen. Das Ätzen des MTJ Stapels mit Hilfe der vierten Ätzrezeptur kann um ein Tiefes Ätzen zur Entfernung von wieder abgeschiedenem Material von den Seitenwänden des MTJ Stapels zur Vermeidung von Kurzschlüssen entlang einer Tunnelbarrieren-Schicht des MTJ Stapels mit einer Ätzzeit zwischen 0 und ungefähr 1000 Sekunden erweitert werden. Ferner, oder alternativ, kann der Zeitablauf der fünften Ätzrezeptur angepaßt werden, um wieder abgeschiedenes Material von den Seitenwänden des MTJ Stapels zur Vermeidung von Kurzschlüssen entlang einer Tunnelbarrieren-Schicht des MTJ Stapels zu entfernen.

[0016] Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer Magnet-Tunnel-Junction(MTJ)-Vorrichtung bereitgestellt. Dieses Verfahren beinhaltet den Ätzprozeß eines MTJ Stapels mit Hilfe einer MTJ Ätzchemie mit einer Gesamtfluß-Rate, wobei die Gesamtfluß-Rate der MTJ Ätzchemie eine Chlor-Flußrate von ungefähr 20%–60% der Gesamtfluß-Rate, eine Sauerstoff-Flußrate von ungefähr 10–40% der Gesamtfluß-Rate und eine Ar-Flußrate von ungefähr 20–35% der Gesamtfluß-Rate enthält. Beispielsweise kann die Chlor-Flußrate ungefähr 40 cm³/min bei Standardbedingungen (sccm), die Sauerstoff-Flußrate ungefähr 10 cm³/min bei Standardbedingungen (sccm) und die Ar-Flußrate ungefähr 20 cm³/min bei Standardbedingungen (sccm) betragen. Die Prozeßparameter zum Ätzen des MTJ Stapels können eine Leistungsquelle von ungefähr 2500 Watt, eine Bias-Leistung von ungefähr 250 Watt, einen Druck von ungefähr 0,33 Pa (2,5 Torr) und eine automatische Vorspannung zwischen ungefähr -350 Volt und ungefähr -380 Volt umfassen.

[0017] Dieses Verfahren kann weiterhin umfassen: Bereitstellen von Ausgangsschichten oberhalb einer Untergrundschrift, wobei der Stapel der Ausgangsschichten eine Schicht aus Photolack, eine ARC-Schicht, eine Hartmaske und einen MTJ Stapel umfaßt und die Schicht aus Photolack oberhalb der ARC-Schicht, die ARC-Schicht oberhalb der Hartmaske und die Hartmaske oberhalb des MTJ Stapels liegt; Ätzen der Hartmaske zur Ausbildung einer Strukturierung ausgerichtet zu einer strukturierten Schicht aus Photolack; Entfernen der Photolack- und ARC-Schichten mit Hilfe eines Plasmas zur Lackentfernung, welches Sauerstoff enthält; Oxidation von freiliegenden Oberflächen der Hartmaske während des Entferns der Schicht aus Photolack. Das Ätzen des MTJ Stapels wird bevorzugt innerhalb einer Plasmakammer mit hoher Dichte durchgeführt (z. B. MORI Quelle, TCP, IPS oder ECR). Die Gesamtfluß-Rate kann beispielsweise zwischen ungefähr 50 und ungefähr 500 cm³/min bei Standardbedingungen (sccm) liegen.

[0018] Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer Magnet-Tunnel-Junction(MTJ)-Vorrichtung bereitgestellt. Dieses Verfahren beinhaltet die folgenden Schritte. Ein Stapel von Ausgangsschichten wird oberhalb einer Untergrundschrift erstellt. Der Stapel der Ausgangsschichten beinhaltet eine Schicht aus Photolack, eine ARC-Schicht, eine Hartmaske sowie ein MTJ Stapel. Die Schicht aus Photolack befindet sich oberhalb der ARC-Schicht, die ARC-Schicht liegt oberhalb der Hartmaske und die Hartmaske liegt oberhalb des MTJ Stapels. Die ARC-Schicht wird geätzt, um darin eine Weichmaskenstrukturierung ausgerichtet zur innerhalb der Schicht aus Photolack ausgebildeten Lackstrukturierung zu erzeugen. Die Hartmaske wird geätzt, um darin eine Hartmaskenstrukturierung in Abstimmung mit der ARC-Strukturierung der ARC-Schicht zu erzeugen. Die Photolack- und ARC-Schichten werden mit Hilfe eines Plasmas zur Lackentfernung, welches Sauerstoff enthält, entfernt. Sobald die Oberfläche der Hartmaske dem Plasma ausgesetzt ist wird sie durch das Plasma oxidiert. Falls erforderlich kann die Zeit des tiefen Ätzens mit Hilfe des Plasmas zur Lackentfernung verlängert werden, um ein dickeres Oberflächenoxid bereitzustellen. Der MTJ Stapel wird in Abstimmung mit der Hartmaskenstrukturierung geätzt. Das Ätzen des MTJ Stapels wird mit Hilfe einer MTJ Ätzchemie durchgeführt, wobei die Gesamtfluß-Rate der MTJ Ätzchemie eine Chlor-Flußrate, eine Sauerstoff-Flußrate sowie eine Argon-Flußrate beinhaltet. Die Chlor-Flußrate beträgt ungefähr 20–60% der Gesamtfluß-Rate, die Sauerstoff-Flußrate beträgt ungefähr 10–40% der Gesamtfluß-Rate und die Argon-Flußrate beträgt ungefähr 20–35% der Gesamtfluß-Rate.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ABBILDUNGEN

[0019] Im folgenden wird eine detaillierte Beschreibung der Abbildungen gegeben, welche anschauliche Ausführungsformen der Erfindung zeigen:

[0020] [Fig. 1](#) zeigt eine vereinfachte schematische Darstellung eines Teils einer MRAM Vorrichtung;

[0021] [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) sind Querschnittsansichten zur Darstellung der Herstellungsschritte eines konventionellen Verfahrens zur Herstellung einer MTJ für eine MRAM Vorrichtung;

[0022] [Fig. 4–Fig. 12](#) stellen ein bevorzugtes Verfahren zur Herstellung einer MTJ für eine Magnet-Tunnel-Junction-Vorrichtung (z. B. eine MRAM Vorrichtung) in Einklang mit einer ersten Ausführungsform der Erfindung dar;

[0023] [Fig. 13–Fig. 15](#) zeigen Datendiagramme von Experimenten;

[0024] [Fig. 16](#) stellt eine mögliche Variation dar;

[0025] [Fig. 17–Fig. 22](#) stellen ein weiteres Verfahren zur Herstellung einer MTJ für eine Magnet-Tunnel-Junction-Vorrichtung, das für das Verständnis der Erfindung nützlich ist, dar;

[0026] [Fig. 23](#) stellt eine mögliche Variation dieses weiteren Verfahrens dar; und

[0027] [Fig. 24](#) stellt eine mögliche tiefe Ätzung bzw. leichte seitliche Ätzung des Stapels dar.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG VON ANSCHAULICHEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0028] Unter Bezugnahme zu den Abbildungen mit bestimmten Referenznummern zur Kennzeichnung entsprechender Elemente der unterschiedlichen Darstellungen werden anschauliche Ausführungsformen der Erfindung gezeigt und beschrieben. Die Abbildungen sind nicht notwendigerweise maßstabsgetreu dargestellt und unter Umständen sind die Abbildungen an manchen Stellen übertrieben und/oder vereinfacht zum Zwecke der Anschaulichkeit.

[0029] Die [Fig. 4–Fig. 15](#) stellen ein bevorzugtes Verfahren zur Herstellung einer MTJ **30** für eine Magnet-Tunnel-Junction-Vorrichtung **40** (z. B. MRAM Vorrichtung der [Fig. 16](#) stellt eine mögliche Variation dar. [Fig. 17–Fig. 22](#) stellen ein weiteres Verfahren zur Herstellung einer MTJ **30** für eine Magnet-Tunnel-Junction-Vorrichtung **40** dar. [Fig. 23](#) stellt eine mögliche Variation des weiteren Verfahrens dar. Diese Verfahren und die daraus resultierenden Strukturen **40** werden im folgenden beschrieben.

[0030] Mit Bezug auf [Fig. 4](#) wird eine Ausgangsstruktur **50** bereitgestellt. Die Ausgangsstruktur **50** beinhaltet eine Untergrundsicht **52**. Die Untergrundsicht **52** beinhaltet eine Leiterbahn **22**, welche zum Beispiel in einer dielektrischen Schicht **44** ausgebildet ist. Die Leiterbahn **22** kann eine Mantelschicht **46** aufweisen, welche typischerweise vorhanden ist. Die Leiterbahn **22** besteht beispielsweise bevorzugt aus Kupfer oder einer Kupferverbindung. Jedoch kann die Leiterbahn **22** auch aus anderen leitfähigen Materialien aufgebaut sein. Die dielektrische Schicht **44** besteht beispielsweise bevorzugt aus Siliziumdioxid. Jedoch kann die dielektrische Schicht **44** auch aus anderen isolierenden Materialien bestehen. Aufgrund der hohen Diffusivität von Kupfer in SiO_2 und dessen schlechter Haftung auf den meisten dielektrischen Materialien werden oft refraktäre auf Metall basierte Mantelungen **46** zur chemischen Isolierung des Kupfers von dem dielektrischen Material benutzt. Einige beispielhafte Materialien, welche als Mantelschicht zum Einsatz kommen bestehen beispielsweise aus TiN, Ta, Ta_3N_5 und W_2N (sind aber nicht darauf begrenzt).

[0031] Weiterhin mit Bezug auf [Fig. 4](#) beinhaltet die Ausgangsstruktur **50** der ersten Ausführungsform eine untere Tantalnitrid-Schicht **60** oberhalb der Untergrundsicht **52**. Eine Tantal-Schicht **62** befindet sich oberhalb der unteren Tantalnitrid-Schicht **60**. Ein MTJ Stapel **29** befindet sich oberhalb der Tantal-Schicht **62**. Eine Tantalnitrid-Deckschicht **64** befindet sich oberhalb des MTJ Stapels **29**. Eine Titan-Schicht **66** befindet sich oberhalb der Tantalnitrid-Deckschicht **64**. Eine Titannitrid-Schicht **68** befindet sich oberhalb der Titan-Schicht **66**. Eine Schicht **70** zur Entspiegelung (ARC) befindet sich oberhalb der Titannitrid-Schicht **68**. Eine strukturierte Schicht **72** aus Photolack befindet sich oberhalb der ARC Schicht **70**. Die Schicht **72** aus Photolack kann beispielsweise mit Hilfe herkömmlicher Verfahren strukturiert werden.

[0032] Die unten stehenden Tabellen 1 und 2 stellen anschauliche Prozeßparameter bereit, welche für eine Ausführungsform der Erfindung genutzt werden können. Tabelle 1 stellt einige bevorzugte Prozeßparameter und Bedingungen zur Benutzung bereit. Die in Tabelle 1 bereitgestellten Werte dienen lediglich der Anschauung und können etwas variiert werden um ebenso zu bevorzugten Ergebnissen zu führen. Die in Tabelle 2 bereitgestellten Werte und Bereiche stellen breitere und möglicherweise akzeptable Bereiche der Prozeßparameter dar. Die in Tabelle 1 bereitgestellten Werte wurden erprobt und zeigten eine gute Funktionalität, wobei die in Tabelle 2 bereitgestellten Bereiche und Werte abgeschätzte Bereiche sind, welche nicht notwendigerweise erprobt und durch Experimente belegt wurden.

[0033] Mit Bezug auf Tabelle 1 wurden diese bevorzugten Prozessparameter mit Hilfe einer Plasmaquelle hoher Dichte entwickelt. Dieses bei der Erprobung benutzte Gerät hat zwei Ätzkammern, wobei beide eine MORI Quelle beinhalten. Eine Kammer kann beispielsweise dem Ätzen dielektrischen Materials dienen und die andere Kammer kann beispielsweise dem Ätzen von Metall dienen. Jedoch kann ein Verfahren der Erfindung mit anderen Typen von Plasmaquellen durchgeführt werden, eingeschlossen aber nicht begrenzt auf beispielsweise ECR Quellen, IPS Quellen, TCP Quellen und/oder Parallel-Platten-Dioden-Quellen.

[0034] Mit Bezug auf [Fig. 5](#) wird die ARC Schicht **70** ausgerichtet zur strukturierten Schicht **72** aus Photolack geöffnet. Desweiteren wird ein Großteil der Titannitrid-Schicht **68**, wie in [Fig. 6](#) gezeigt, mit Hilfe einer ersten Ätzrezeptur geätzt, welche eine auf Chlor basierte Ätzchemie beinhaltet. Die bevorzugten Parameter der ersten Ätzrezeptur sind unter Schritt #2 in Tabelle 1 aufgeführt. Bevorzugt werden ungefähr 90% der gesamten Dicke der Titannitrid-Schicht **68** mit Hilfe der ersten Ätzrezeptur geätzt. Eines der Ziele dieser Ätzung mit Hilfe der ersten Ätzrezeptur ist es, vertikale oder näherungsweise vertikale Seitenwände der strukturierten Titannitrid-Schicht **68** bereitzustellen. Die erste Ätzrezeptur zeigt eine gute Funktionalität hinsichtlich eines schnellen Ätzens der Titannitrid-Schicht **68** und dem Bereitstellen der gewünschten vertikalen oder näherungsweise vertikalen Seitenwände. Jedoch kann die Ätzselektivität zwischen der Titannitrid-Schicht **68** und der Titan-Schicht **66** (oder zwischen der Titannitrid-Schicht **68** und der Tantalnitrid-Schicht **64** bei fehlender zwischenliegender Titan-Schicht **66**) unzureichend zum Bereitstellen eines präzisen Ätzstopps sein.

[0035] Beim Wechsel auf eine zweite Ätzrezeptur, welche eine auf Fluor basierte Ätzchemie beinhaltet, wird der Rest der Titannitrid-Schicht **68** mit einem leichten Eindringen in die Titan-Schicht **66** geätzt, wie in [Fig. 7](#) dargestellt ist. Die bevorzugten Parameter der zweiten Ätzrezeptur sind unter Schritt #3 in Tabelle 1 aufgeführt. Mit Hilfe der zweiten Ätzrezeptur wird die Titannitrid-Schicht **68** mit einer um einen Faktor drei höheren Rate im Vergleich zur Ätzrate der Titan-Schicht **66** geätzt. Folglich wird mit der zweiten Ätzrezeptur eine gute Ätzselektivität (3:1) zwischen der Titannitrid-Schicht **68** und der Titan-Schicht **66** bereitgestellt. Mit dieser guten Ätzselektivität kann beispielsweise die Titan-Schicht **66** mit einer Dicke in der Größenordnung von ungefähr 10,0 nm verhältnismäßig dünn sein. Obwohl die Titan-Schicht **66** verhältnismäßig dünn sein kann, ist die die Ätzselektivität zwischen der Titannitrid-Schicht **68** und der Titan-Schicht **66** zum Bereitstellen eines Ätzstopps ausreichend. Die Verwendung einer Schicht als Ätzstopp beim Ätzen der Titannitrid-Schicht **68** ist erwünscht, um eine Einwirkung auf die Tantalnitrid-Deckschicht **64** zu diesem Zeitpunkt zu vermeiden. Das Vermeiden eines vollständigen Ätzens der Tantalnitrid Deckschicht **64** kann zu diesem Zeitpunkt, bei Vorhandensein der Schicht **72** aus Photolack, wünschenswert sein, um Probleme mit „Eingittern“ zu verhindern, worauf weiter unten näher eingegangen wird.

Tabelle 1. Eine anschauliche Verfahrens-Abfolge einer ersten Ausführungsform mit bevorzugten Einstellungen.

Schritt #	Zweck der Rezeptur	Gas-Zusammensetzung cm ³ /min bei Standardbedingungen (sccm)	Quellen-/ Bias Leistung (W)	Automatische Vor-Spannung (Vpp)	Druck (Pa)	Spulen Innen/ Aussen (A)	Ätzzeit (s)	empfohlene Ätzkammer
		bevorzugt	bevorzugt		bevorzugt	bevorzugt	bevorzugt	
1	ARC Öffnen	10CF ₄ 5CHF ₃ 60 Ar	1000/100		0,33 (2,5 mTorr)	25/25	Optische Emissions-Spektroskopie End-Punkt (OES EP)	Dem Dielektrikum zugeordnet

2	TiN Maske Hauptätzung	40Cl ₂ 4NF ₃	2000/220		0,33 (2,5 mTorr)	30/0	43	Dem Metall zugeordnet
3	Leichtes Eindringen der TiN Maske auf Ti Schicht	10CF ₄ 5CHF ₃ 60 Ar	1000/100		0,33 (2,5 mTorr)	25/25	OES EP	Dem Dielektrikum zugeordnet
4	Entfernen von Lack und ARC	50O ₂ 50Ar	1500/25		0,66 (5 mTorr)	25/25	120	Dem Dielektrikum zugeordnet
5	Ti und TaN Ätzung	10CF ₄ 5CHF ₃ 60 Ar	1000/100		0,33 (2,5 mTorr)	25/25	End-Punkt Erkennung mit Restgasanalyse eines Stickstoff-Peaks oder OES EP	Dem Dielektrikum zugeordnet
6	Plasma Oxidation der Hartmaske	50O ₂ 50Ar	1500/25		0,66 (5 mTorr)	25/25	120	Dem Dielektrikum zugeordnet
7	Ätzen des MTJ Stapels	40Cl ₂ 10O ₂ 20Ar	2500/250	-350 bis -380	0,33 (2,5 mTorr)	50/50	72	Dem Metall zugeordnet
8	MTJ Reinigungs- und Stopp-Schicht-Ätzung	60CF ₄ 5O ₂ 10Ar	1000/100	-90 bis -110	2,5	25/25	40	Dem Dielektrikum zugeordnet

Tabelle 2. Eine anschauliche Verfahrens-Abfolge einer ersten Ausführungsform mit akzeptablen Einstellungen.

Schritt #	Zweck der Rezeptur	Gasgemisch cm ³ /min bei Standardbedingungen (sccm)	Quell-/Biasleistung (W)	Druck (Pa)	Spulen Innen/Außen (A)	Ätzdauer (s)
		akzeptabel	akzeptabel	akzeptabel	akzeptabel	akzeptabel

1	Öffnung ARC	$CF_4 = (1-500)$ $CHF_3 = (1-500)$ $Ar = (1-1000)$	(0-3000)/ (0-3000)	0,0133-66, 6	(0-200)/ (0-200)	5-500
2	Hauptätzung TiN Maske	$Cl_2 = (1-500)$ $NF_3 = (0-500)$	(0-3000)/ (0-3000)	0,0133-66, 6	(0-200)/ (0-200)	1-1200
3	Leichtes Eindringen der TiN Maske auf Ti Schicht	$CF_4 = (1-500)$ $CHF_3 = (1-500)$ $Ar = (0-1000)$	(0-3000)/ (0-3000)	0,0133-66, 6	(0-200)/ (0-200)	0-1200
4	Entfernen von Lack und ARC	$O_2 = (1-1000)$ $Ar = (0-1000)$	(0-3000)/ (0-3000)	0,0133- 133	(0-200)/ (0-200)	1-1200
5	Ätzung Ti und TaN	$CF_4 = (1-500)$ $CHF_3 = (1-500)$ $Ar = (0-1000)$	(0-3000)/ (0-3000)	0,0133-66, 6	(0-200)/ (0-200)	1-1200
6	Plasma-Oxidation der Hartmaske	$O_2 = (1-1000)$ $Ar = (0-1000)$	(0-3000)/ (0-3000)	0,0133- 133	(0-200)/ (0-200)	1-1200
7	Ätzung MTJ Stapel	$Cl_2 = (1-500)$ $O_2 = (1-500)$ $Ar = (0-1000)$	(0-3000)/ (0-3000)	0,0133- 133	(0-200)/ (0-200)	1-1200
8	MTJ Reinigungs- und Stopp-schicht-Ätzung	$CF_4 = (1-500)$ $O_2 = (1-500)$ $Ar = (1-1000)$	(0-3000)/ (0-3000)	0,0133- 133	(0-200)/ (0-200)	1-1200

[0036] Mit Bezug auf [Fig. 8](#) werden vor dem Ätzen der Tantalnitrid-Deckschicht **64** bevorzugt die Schicht **72** aus Photolack und die ARC Schicht **70** entfernt. Die bevorzugten Parameter für diesen Schritt zum Entfernen sind unter Schritt #4 in Tabelle 1 gezeigt. Bevorzugt wird der Photolack so schnell als möglich entfernt (d. h. sobald ein ausreichender Teil der Hartmaske **42** strukturiert ist) um „Eingitter“ Probleme zu vermeiden. „Eingittern“ bezieht sich auf ein Ansammeln von Material (z. B. Material der Hartmaske, Material der Deckschicht, leicht flüchtige Materialien des MTJ Stapels oder eine beliebige Kombination hieraus) entlang der Seitenwände des Photolacks **72** (als Folge von Wiederabscheidung von verlagertem Material), welches während des Entfernen des Photolacks nicht entfernt wurde und eine gitterförmige Struktur (nicht dargestellt) um die frühere Lage der strukturierten Schicht **72** aus Photolack hinterläßt. Einer der wesentlichen Gründe des Eingitterns ergibt sich, falls der MTJ Stapel **29** vor dem Entfernen der Schicht **72** aus Photolack freiliegt und/oder geätzt wird. Dies kann beispielsweise bei unzureichender Genauigkeit des Ätzstopps vor dem Erreichen des MTJ Stapels während des Öffnens der Hartmaske **42** auftreten. Derartige Gitterstrukturen werden auch teilweise als Schleier bezeichnet. Die Ausbildung derartiger Gitterstrukturen ist gewöhnlich unerwünscht. Folglich kann das Problem des Eingitterns durch Unterbrechung des Ätzens der Hartmaske zum Entfernen der Schicht **72** aus Photolack und/oder durch Bereitstellen einer Ätzstopp-Schicht zur Vermeidung des Freiliegens des MTJ Stapels im Plasma vor dem Entfernen der Schicht **72** aus Photolack reduziert oder vermieden werden.

[0037] In anderen Ausführungsformen kann die Titan-Schicht **66** entfernt werden. Jedoch kann die Ätzselektivität zwischen Titanitrid und Tantalnitrid unzureichend sein, um übereinstimmend an oder innerhalb der Tantalnitrid-Schicht **64** zu stoppen und dadurch das Einbringen der Photolack-Entfernung (zur Vermeidung des Eingitterns) zu ermöglichen. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der Photolack **72** unabhängig von der Anzahl der Schichten oder der Materialien der Hartmaske **42** des MTJ **30** nach der teilweisen Strukturierung der Hartmaske **42** entfernt. Dann kann der Rest der Hartmaske **42** ausgerichtet zum schon strukturierten Teil der Hartmaske **42** mit dem Ziel das Eingittern zu vermindern oder zu vermeiden geätzt werden. Die Hartmaske **42** der in den [Fig. 4-Fig. 12](#) gezeigten ersten Ausführungsform beinhaltet die Titanitrid-Schicht **68**, die Titan-Schicht **66** sowie die Tantalnitrid-Deckschicht **64**. In anderen Ausführungsformen kann die Hartmaske beispielsweise eine oder mehrere Schichten beinhalten, die aus Titan, Tantal, einer auf Titan basierten Verbindung, einer auf Tantal basierten Verbindung oder einer beliebigen sich hieraus ergebenden Verbindung (z. B. TiN, TaN, Ti, TiO, Ta, Ta₂O₅) bestehen (jedoch nicht auf diese Materialien begrenzt sind).

[0038] Falls keine Schicht (z. B. die Titan-Schicht **66**) zur Bereitstellung eines Ätzstopps während des Ätzens der Hartmaske verfügbar ist, kann ein zeitlich abgestimmter Ätzprozeß zum Stopp während der Ätzung der Hartmaske bei der Ausführung des Entfernen des Photolacks verwendet werden. Jedoch kann die verbleibende Dicke der Hartmaske **42** variieren, falls sich die Parameter oder die Bedingungen des Verfahrens bei Wiederholung leicht ändern (z. B. während der Fertigung in Massenproduktion). Eine derartige Streuung der

verbleibenden Dicke der Hartmaske kann nach der Durchführung der Entfernung des Photolacks zu sich weiter ausbreitenden Fehlern oder Abweichungen in nachfolgenden Schritten führen, die die Produktionsausbeute negativ beeinflussen. Deshalb kann die Verwendung einer Ätzstopp-Schicht in Einklang mit einer Ausführungsform der Erfindung die Prozeßzuverlässigkeit wie auch die Wiederholbarkeit unter Einbezug von Problemen des Eingitterns bedeutend verbessern, wodurch wiederum eine höhere Ausbeute erzielt werden kann.

[0039] Es gilt in Tabelle 1, Schritt #4, zu beachten, dass die Rezeptur zum Entfernen des Photolacks die Verwendung von Sauerstoff und Argon in einer Plasmaumgebung beinhalten kann. Innerhalb einer derartigen Umgebung können die freiliegenden Oberflächen der Hartmaske mit der Ausbildung eines Oberflächenoxids beginnen.

[0040] Die Tantalnitrid-Deckschicht **64** dient mehreren Zwecken. Ein Zweck liegt darin, eine Deckschicht oberhalb des MTJ Stapels **29** bereitzustellen, um diesen zu schützen, falls oder wenn die Scheibe an einer Umgebung freiliegt, welche die Materialien des MTJ Stapels oxidieren könnte. Ein weiterer Zweck liegt darin, Diffusion von metallischen Materialien des MTJ Stapels **29** in andere umgebende Schichten zu verhindern. Ein noch weiterer Zweck liegt darin, einen Teil der Hartmaske **42** bereitzustellen.

[0041] Mit Bezug auf [Fig. 9](#) mit entfernter Schicht **72** aus Photolack und entfernter ARC Schicht **70** wird der Rest der Titan-Schicht **66** und der größte Teil oder die gesamte Dicke der Tantalnitrid-Deckschicht **64** mit Hilfe einer dritten Ätzrezeptur entfernt. Die bevorzugten Parameter der dritten Ätzrezeptur sind unter Schritt #5 in Tabelle 1 gezeigt. Bevorzugt entspricht die dritte Ätzrezeptur der zweiten Ätzrezeptur. Jedoch kann in anderen Ausführungsformen die dritte Ätzrezeptur von der zweiten Ätzrezeptur abweichen. Beispielsweise kann die dritte Ätzrezeptur eine auf Chlor basierte Ätzchemie verwenden, oder aber beispielsweise eine Kombination aus Flurgas und Chlorgas in Form eines Gemischs.

[0042] Ist die Hartmaske **42** wie in [Fig. 9](#) dargestellt strukturiert, so wird die Hartmaske **42** oxidiert (z. B. mit Hilfe eines Plasmaoxidationsverfahrens). Das Oxidationsverfahren führt zur Ausbildung eines Oberflächenoxids **80** auf den Schichten der Hartmaske **42**, wie in [Fig. 10](#) gezeigt ist. Die bevorzugten Schritte für die Plasmaoxidation sind unter Schritt #6 in Tabelle 1 dargestellt. Die Energie des beschleunigten Argons bricht chemische Bindungen auf und fördert die Bildung des Oberflächenoxids **80** auf den Schichten der Hartmaske **42**. Ebenso drängt oder stößt das Argon den Sauerstoff tiefer in die Oberfläche der Hartmaske **42** um dadurch die Dicke des Oberflächenoxids **80** zu vergrößern. Wie weiter unten ausgeführt, spielt diese Ausbildung des Oberflächenoxids auf den Schichten der Hartmaske **42** eine Schlüsselrolle bei der Verbesserung der Widerstandsfähigkeit der Hartmaske vor deren Abätzung während des Ätzens der Schichten des MTJ Stapels **29** und verlängert die Lebensdauer der Hartmaske **42**. Diese verbesserte Widerstandsfähigkeit gegen Ätzen ermöglicht die Verwendung einer dünneren Hartmaske **42** (z. B. weniger als 100,0 nm) im Vergleich zur verwendeten Hartmaske ohne den Vorteil der Oberflächenoxidation **80**.

[0043] Wie in [Fig. 11](#) gezeigt, wird der MTJ Stapel **29** nach der Ausbildung des Oberflächenoxids **80** auf den Schichten der Hartmaske **42** mit Hilfe einer vierten Ätzrezeptur geätzt. Die vierte Ätzrezeptur kann auch alternativ oder ergänzend zum Schritt der Plasmaoxidation (z. B. Schritt #6 in Tabelle 1) zum Ätzen der Hartmaske **42** verwendet werden. Die bevorzugten Parameter der vierten Ätzrezeptur sind unter Schritt #7 in Tabelle 1 gezeigt. Der MTJ Stapel **29** einer gegenwärtig bevorzugten Ausführungsform beinhaltet eine Platin-Mangan-Schicht, eine Kobalt-Eisen-Schicht, eine Aluminiumoxid-Schicht sowie eine Nickel-Eisen-Schicht. In einer derart bevorzugten Ausführungsform befindet sich die Kobalt-Eisen-Schicht oberhalb der Platin-Eisen-Schicht zur Ausbildung einer unteren magnetischen Schicht, wobei die Nickel-Eisen-Schicht als obere magnetische Schicht dient und die Aluminiumoxidschicht eine Tunnelbarriere zwischen den magnetischen Schichten bereitstellt. Wie einem Fachmann geläufig ist, gibt es eine große Auswahl an möglichen Materialien und Schichtkonfiguration, welche das Bereitstellen eines MTJ Stapels **29** ermöglichen, wobei eine jede dieser Auswahl in einer Ausführungsform der Erfindung berücksichtigt sein kann.

[0044] Bevorzugt wird der MTJ Stapel bei niedrigem Druck (z. B. bei ungefähr 0,33 Pa (2,5 mTorr) mit einer hohen automatischen Gittervorspannung (z. B. ungefähr -350 bis -380 V) mit Hilfe eines $\text{Cl}_2/\text{O}_2/\text{Ar}$ Gasgemischs geätzt. Der Zusatz von O_2 Gas zur vierten Ätzrezeptur bietet den Vorteil einer erweiterten Ätzresistenz der Hartmaske **42** und der Ätzstoppschichten **60**, **62**. [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) zeigen grafische Darstellungen von Daten eines vergleichenden Versuchs mit Hilfe der optischen Emissionsspektroskopie (OES). Jede grafische Darstellung stellt die OES Signalintensität (in beliebigen Einheiten) über der Zeit bezüglich auf identische Schichten angewandten verschiedenartigen Ätzverfahren dar.

[0045] Zum Bereitstellen der in [Fig. 13](#) dargestellten Daten wurde eine 50 nm dicke Schicht aus Tantalnitrid geätzt. Die als Schritt #7 in Tabelle 1 gezeigte, vierte Ätzrezeptur (Ätzrezeptur des MTJ Stapels) wurde, abgesehen vom Entfernen des Sauerstoff Gasflusses aus der Ätzrezeptur, zum Ätzen der Tantalnitrid-Schicht verwendet. Unter diesen Umständen betrug die Ätzrate der Tantalnitrid-Schicht ungefähr 1,31 nm/s (13,1 Å/s) und die Ätzzeit bis zum Verbrauch der Tantalnitrid-Schicht betrug ungefähr 38,1 s (ab dem Zeitpunkt des Einschaltens des Plasmas). Zum Vergleich wurde eine gleichartige Tantalnitrid-Schicht (50 nm Dicke) zunächst der als Schritt #7 in Tabelle 1 dargestellten vierten Ätzrezeptur (Ätzrezeptur des MTJ Stapels) für ungefähr 698 Sekunden ausgesetzt. Während dieser anfänglichen Aussetzung wurde die Tantalnitrid-Schicht nicht verbraucht und statt dessen führte die Aussetzung zur Ausbildung eines Oberflächenoxids auf der Tantalnitrid-Schicht. Dieselbe Tantalnitrid-Schicht, die der vierten Ätzrezeptur für 698 Sekunden ausgesetzt wurde, wurde danach einem weiteren Versuch unterzogen, dessen Ergebnisse in [Fig. 14](#) dargestellt sind. In dem Versuch, welcher zu den in [Fig. 14](#) dargestellten Ergebnissen geführt hat, wurde die Tantalnitrid-Schicht der als Schritt #7 in Tabelle 1 gezeigten Ätzrezeptur (Ätzrezeptur des MTJ Stapels) ausgesetzt, jedoch ohne den O₂ Fluß wie bei der Durchführung des Versuchs für die [Fig. 13](#). Mit Bezug auf [Fig. 14](#) gilt zu beachten, dass nach dem Anschalten des Plasmas eine Inkubationsdauer von 16,7 Sekunden auftritt bevor die Tantalnitrid-Schicht von der Ätzrezeptur aufgebraucht zu werden beginnt. Nachdem die Ätzung (d. h. das Aufbrauchen) startet (d. h. nach der Inkubationsdauer) beträgt die Dauer zum Aufbrauch des Restes der Tantalnitrid-Schicht ungefähr 39,7 Sekunden (siehe [Fig. 14](#)), was vergleichbar mit der gesamten Ätzdauer zum Aufbrauch der ersten Tantalnitrid-Schicht ist (vgl. erster Versuch der [Fig. 13](#)). Diese Inkubationsdauer kann der Ausbildung des Oberflächenoxids auf der Tantalnitrid-Schicht zugeordnet werden. Es wird angenommen, dass diese anfängliche Ätzresistenz (während der 698 Sekunden Dauer der O₂ beinhaltenden Ätzchemie des Schrittes 7 in Tabelle 1) von dem zuoberst der Tantalnitrid-Schicht ausgebildeten Oberflächenoxids herrührt. Sobald Sauerstoff von dieser Oxidschicht während der O₂ beinhaltenden Ätzung abreißt oder abgesputtert wird, wird ein Teil des verlorengegangenen Sauerstoffs unmittelbar durch den in der Ätzrezeptur vorhandenen Sauerstoff wieder aufgefüllt. Ebenso stellt das Oberflächenoxid eine Härtung der Oberfläche der Hartmaske aufgrund dessen höherer Ätzresistenz verglichen mit Tantalnitrid bereit. Mit einer derart hohen automatischen Gittervorspannung (z. B. ungefähr -360 V) bei Verwendung der bevorzugten vierten Ätzrezeptur (siehe Tabelle 1) könnte man wegen der hohen Auftreffenergie der Ar⁺ und Cl⁻ Ionen mit viel Sputtervorgängen rechnen. Dennoch zeigt sich eine sehr hohe Ätzresistenz während dieser Zeitspanne. Obwohl die Versuche zur Erstellung der [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) mit einer Tantalnitrid-Schicht durchgeführt wurden, wird damit gerechnet, dass andere Schichten bestehend aus Titan- oder Tantal-basierten Verbindungen sich aufgrund der Fähigkeit zur Ausbildung ähnlicher Oberflächenoxide auf derartigen Materialien ähnlich verhalten können. Folglich stellt die Ausbildung eines Oberflächenoxids auf derartigen Materialien (d. h. Titan- und/oder Tantal-basierte Verbindungen) und die darauf folgende Ätzung mit einer auf Chlor basierten und Sauerstoff enthaltenden Ätzchemie ein Verfahren zur Halbleiter-Herstellung in Einklang mit einer Ausführungsform der Erfindung bereit.

[0046] Der Zusatz von Sauerstoff zur vierten Ätzrezeptur zum Ätzen des MTJ Stapels beeinflusst nicht wesentlich die Ätzrate des MTJ Stapels **29**, aber, wie in den [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) gezeigt ist, zeigt dieser einen wesentlichen Einfluß auf die Ätzrate der oxidierten Hartmaske. Damit steht eine verbesserte Ätzselektivität zwischen dem MTJ Stapel **29** und der Hartmaske **42** zur Verfügung und ermöglicht die Verwendung einer entsprechend dünneren Hartmaske **42**.

[0047] Da die Materialien des MTJ Stapels während des Ätzverfahrens typischerweise eine geringe Flüchtigkeit und kein Verdampfen in Gasmoleküle aufweisen, bildet sich an den Seitenwänden der Hartmaske **42** eine Kruste **82** oder Schicht von verlagertem Material des MTJ Stapels **29**, wie in [Fig. 11](#) dargestellt ist. Typischerweise führt das Ätzen von nichtflüchtigem Material nahe einer Wand zum schnellen Beschichten der Wand. Während eines tiefen Ätzanteils der Ätzung des MTJ Stapels und/oder der folgenden reinigenden Ätzung des MTJ Stapels mit Hilfe der fünften Ätzrezeptur (siehe z. B. Schritt #8 in Tabelle 1) werden einige oder alle der wiederabgeschiedenen Materialien der Kruste **82** des MTJ Stapels von den Seitenwänden der Hartmaske **42** entfernt, wie in [Fig. 12](#) dargestellt ist. Jedoch muss es zu keiner Schädigung der Funktion des MTJ **30** führen, falls ein Teil oder die ganze Kruste **82** auf den Seitenwänden der Hartmaske **42** verbleibt.

[0048] Bei einer tiefen Ätzung mit Hilfe der Ätzung des MTJ Stapels (z. B. Schritt #7 in Tabelle 1) und/oder einer anschließenden reinigenden Ätzung des MTJ Stapels mit Hilfe einer fünften Ätzrezeptur (z. B. Schritt #8 in Tabelle 1) läßt sich eine laterale Ätzung des MTJ Stapels wie beispielsweise in [Fig. 24](#) dargestellt ist erreichen. Eine derartige laterale Ätzung kann eine leichte Sanduhrform des Seitenprofils des MTJ Stapels hervorrufen (oder gewölbte Seitenwände) (siehe z. B. [Fig. 24](#)) wie von den Erfindern beim Experimentieren beobachtet wurde. Eine derartige laterale Ätzung kann höchst wünschenswert sein um sicherzustellen, dass überschüssiges Material des MTJ Stapels, welches beispielsweise auf die Seitenwände des MTJ Stapels zurückgesputtert wurde, entfernt wird zur Vermeidung von Kurzschlüssen über die Schicht der Tunnelbarriere hinweg. Einer der

hauptsächlichen Belange während der Herstellung eines MTJ Stapels gilt dem Vermeiden eines Kurzschlusses über die Tunnelbarriere um sicherzustellen, dass der MTJ richtig funktioniert. Die Verwendung einer Ta/TaN Ätzstoppschicht **96** kann dazu beitragen, eine laterale tiefe Ätzung/reinigende Ätzung des MTJ Stapels durchzuführen. Ebenso kann die Ätzresistenz der Hartmaske **42** bei bestimmten O₂-beinhaltenden Ätzchemikalien (wie z. B. weiter oben ausgeführt) zur Fähigkeit der Durchführung eines tiefen Ätzens oder eines leichten seitlichen Ätzens des MTJ Stapels beitragen, um eine wie in [Fig. 24](#) gezeigte Struktur **97** bereitzustellen. Ein tiefes Ätzen oder späteres Ätzen des MTJ Stapels kann darauf abgestimmt werden, verschiedene Maße an Wölbungen bereitzustellen (d. h. laterales Entfernen von Material). Ebenso kann sich der Effekt der Wölbung in die Schichten der Hartmaske und/oder der umgebenden Schichten des MTJ Stapels ausdehnen oder nicht ausdehnen. Die isolierende Schicht **44** kann während der Ausbildung der in [Fig. 24](#) gezeigten Struktur **97** tief geätzt werden (siehe Region **94** in [Fig. 24](#)). Das Ausmaß der tiefen Ätzung in die isolierende Schicht **44** kann sich, falls vorhanden, von demjenigen in [Fig. 24](#) dargestellten Ausmaß unterscheiden.

[0049] Durch die Kombination der Inkubationszeit der oxidierten Hartmaske **42** (siehe [Fig. 14](#)) und dem Ausbilden der Kruste **82** des MTJ Stapels auf den Seitenwänden der Hartmaske **42** können die kritischen Dimensionen bei der Ausbildung des MTJ unter Verwendung einer Ausführungsform der Erfindung gut eingehalten werden. Ebenso bleiben die Seiten der Hartmaske während der meisten oder aller Ätzungen des MTJ Stapels erhalten. Die Kruste **82** mit Material des MTJ Stapels auf den Seitenwänden der Hartmaske **42** kann deren Ecken vor Eingittern schützen (d. h. Verschleiß der Hartmaske **42** lateral an deren Kanten).

[0050] Die Ätzung des MTJ Stapels kann kurz bevor, an oder gerade innerhalb der Tantal-Schicht **62** gestoppt werden. Die Verwendung von Sauerstoff bei der Ätzung des MTJ Stapels trägt zur Fähigkeit des Stoppens an der Tantal-Schicht **62** bei. Wie in [Fig. 11](#) gezeigt, kann sich auf der Tantal-Schicht **62** ein Oberflächenoxid **84** aufgrund des Vorhandenseins von Sauerstoff innerhalb der Ätzrezeptur bilden, falls diese durch Anwendung der vierten Ätzrezeptur geöffnet wird.

[0051] Der Gebrauch einer Ausführungsform der Erfindung kann es ebenso ermöglichen, den Endpunkt der Ätzung des MTJ Stapels mit einer gewöhnlichen Endpunkt-Kontrollfunktion bzw. einem gewöhnlichen Endpunkt-Kontrollgerät zu detektieren. Einige beispielhafte Endpunkt-Detektionsverfahren, welche in einer Ausführungsform der Erfindung zur Anwendung kommen können, beinhalten, ohne darauf begrenzt zu sein, beispielsweise: Restgasanalyse, optische Emissionsspektroskopie und/oder interferometrische Endpunktverfahren. Oft ist es beim Ätzen eines MTJ Stapels **29** schwierig oder unmöglich mit einer Endpunkt-Kontrollfunktion den Stoppunkt der Ätzung des MTJ Stapels zu detektieren. Diese Unfähigkeit den Endpunkt zu detektieren wird oft durch die zu geringe Ätzrate und der nicht in genügender Anzahl zur Beeinflussung der Farbe und/oder des Kontrastes des Plasmas ausgeworfenen Atome pro Zeiteinheit hervorgerufen. Deshalb ist es wichtig, dass eine Ausführungsform der Erfindung die Erkennung des Endpunktes ermöglicht. Die Detektion des Endpunktes wird gewöhnlich gegenüber einem zeitabgestimmten Ätzverfahren aufgrund der Möglichkeit von Prozeßdrift bei Anwendung eines zeitabgestimmten Ätzverfahrens sehr bevorzugt. Zeitabgestimmtes Ätzen birgt ein höheres Risiko, da im Falle des Driftens von Bedingungen innerhalb der Kammer und einer nicht gleichmäßigen Ätzung ein ganzes Los an Scheiben verloren gehen kann (z. B. falls dieses nicht lange genug geätzt wurde).

[0052] Das Diagramm in [Fig. 15](#) zeigt, dass der Endpunkt einer Ätzung des MTJ Stapels in Einklang mit der Anwendung einer Ausführungsform der Erfindung erkannt werden kann. Mit Hilfe der optischen Emissionsspektroskopie zeigen die in [Fig. 15](#) dargestellten Daten den Endpunkt der Ätzung an der Knickstelle des Daten-Diagramms bei ungefähr 64,8 Sekunden. Die mit diesen Daten gezeigte Intensität beinhaltet beispielsweise die Summe der Lichtintensitäten im Wellenlängenbereich von ungefähr 302–310 nm und ungefähr 339–346 nm. Diese Fähigkeit den Endpunkt der Ätzung zu erkennen kann (zumindest teilweise) der Verwendung einer Plasma-Quelle mit hoher Dichte (z. B. M0RI Quelle) zugeordnet werden. Ebenso verhält sich eine vorhandene Tantal-Schicht **62** unterhalb des MTJ Stapels **29** als ausgezeichneter Ätzstopp aufgrund der Verwendung von Sauerstoff in der Ätzrezeptur des MTJ Stapels (wie oben diskutiert wurde).

[0053] Die Tantal-Schicht **62** und die untere Tantalnitrid-Schicht **60** haben mehrere Verwendungszwecke. Ein Verwendungszweck liegt im Bereitstellen einer Deckschicht oder Barrierenschicht oberhalb der Leiterbahn **22** (welche gewöhnlich aus Kupfer besteht). Ein weiterer Verwendungszweck liegt im Bereitstellen einer besseren Haftung zwischen den benachbarten Schichten. Ein noch weiterer Verwendungszweck liegt im Bereitstellen einer Ätzstopp-Schicht bei einer Ausführungsform der Erfindung. Andere Kombinationen und/oder Anzahl von Schichten können hier als Alternative zur Tantal-Schicht **62** und/oder der unteren Tantalnitrid-Schicht **60** verwendet werden wie beispielsweise (jedoch nicht unbedingt begrenzt auf) Titan- und/oder Tantal basierte Materialien. Demnach liegt ein weiterer Verwendungszweck darin, die Leiterbahnen **22** aus Kupfer davor zu

bewahren, dem Chlor während der Ätzung des MTJ Stapels ausgesetzt zu sein, da dadurch das Kupfer korrodieren könnte.

[0054] Mit Bezug zur [Fig. 12](#) können die Dicken der Tantal-Schicht **62** und der unteren Tantalnitrid-Schicht **60** bei einem idealen Prozessablauf so abgestimmt werden, dass die reinigende Ätzung zur Reinigung der Seitenwände des MTJ Stapels **29** mit Hilfe der fünften Ätzrezeptur ebenso diese Schichten **60**, **62** vollständig ätzt. Die bevorzugten Parameter der fünften Ätzrezeptur sind unter Schritt #8 in Tabelle 1 dargestellt. Jedoch kann in anderen Ausführungsformen der reinigenden Ätzung des MTJ Stapels ein anderer Ätzschritt basierend auf einer anderen Ätzrezeptur im Vergleich mit dem Ätzschritt zur Öffnung der Tantal-Schicht **62** und/oder der unteren Tantalnitrid-Schicht **60** zugrunde liegen. Die fünfte Ätzrezeptur kann beispielsweise die Verwendung eines Gasgemischs aus CF₄, CHF₃ und Ar beinhalten. Ebenso kann in anderen Ausführungsbeispielen ein tiefes Ätzen um mehrere zehn Nanometer in den Isolator **44**, wie beispielsweise in [Fig. 16](#) dargestellt ist, durchgeführt werden, was zu einer tief geätzten Region **94** innerhalb des isolierenden Substrats führen kann (als ein optionaler Schritt/Merkmal). Eine derartige tiefe Ätzung **94** innerhalb der isolierenden Schicht **44** kann beispielsweise in einem zeitabgestimmten Ätzverfahren bevorzugt werden um sicherzustellen, dass keine Kurzschlüsse zwischen den Leiterbahnen **22** auftreten.

[0055] Während der Erprobung der ersten Ausführungsform der Erfindung wurde festgestellt, dass die untere Tantalnitrid-Schicht **60** beispielsweise eine mittlere Ätzrate von ungefähr 0,24 nm/s (2,4 Å/s) hat. Mit Bezug zu dieser Ätzrate kann die Dicke der Ta/TaN Stoppschicht **96** justiert und angepasst werden, um während der reinigenden Ätzung des MTJ geätzt werden zu können (mit Hilfe der fünften Ätzrezeptur). Mit Bezug zu einer Ätzrate von ungefähr 0,24 nm/s (2,4 Å/s) ergibt sich, dass eine gemeinsame Ta/TaN Stoppschicht-Dicke von ungefähr 10–20 nm (100–200 Å) akzeptabel ist. Dennoch kann beispielsweise die gemeinsame Ta/TaN Stoppschicht-Dicke zwischen 1–80 nm (10–800 Å) variieren um ein Fenster praktikabler Dicken bereitzustellen.

[0056] Einer der Zwecke der reinigenden Ätzung des MTJ Stapels mit Hilfe einer fünften Ätzrezeptur, welche eine auf Flur basierte Ätzchemie beinhaltet, besteht in der Beseitigung von Chlor-Rückständen aus der Ätzkammer vor der Aussetzung der Kupfer-Leiterbahnen **22**. Ein weiterer Zweck liegt in der Reinigung der Seitenwände des MTJ Stapels. Einer der hauptsächlichen Belange bei der Ausbildung eines MTJ **30** liegt im Vermeiden eines Kurzschlusses über die Tunnelbarrieren-Schicht des MTJ Stapels **29**, wodurch dieser MTJ in seinem zweckmäßigen Leistungsverhalten behindert oder davon abgehalten werden könnte.

[0057] In einer bevorzugten Ausführungsform 1 wird nach dem Ätzen mit Hilfe der fünften Ätzrezeptur ein Spülen mit deionisiertem Wasser durchgeführt. Da einige Flur-basierte Rückstände in Wasser löslich sind, kann dieser reinigende Schritt mit Wasser zum Säubern von Rückständen nach dem fünften Ätzschritt genutzt werden, um eine saubere, von Rückständen befreite Struktur **40** bereitzustellen. In anderen Ausführungsformen kann dieser Reinigungsschritt jedoch nicht notwendig oder erwünscht sein.

[0058] Die [Fig. 17–Fig. 22](#) veranschaulichen ein weiteres, anderes Verfahren zur Herstellung eines MTJ für eine Magnet-Tunnel-Junction(MTJ)-Vorrichtung **40**, das für das Verständnis der Erfindung nützlich ist. [Fig. 17](#) zeigt eine Ausgangsstruktur **50**, welche eine Untergrundschiicht **52** enthält. Die Untergrundschiicht **52** enthält beispielsweise eine in einer dielektrischen Schicht **44** ausgebildete Leiterbahn **22**. Die Leiterbahn **22** kann typischerweise eine Mantelschicht **46** aufweisen. Diese Ausgangsstruktur **50** des weiteren Verfahrens beinhaltet eine untere Ätzstopp/Barrieren-Schicht **96** oberhalb der Untergrundschiicht **52**. Ein MTJ Stapel **29** liegt oberhalb der unteren Schicht **96**. Eine Hartmaske **42** liegt oberhalb des MTJ Stapels **29**. Eine Schicht **70** zur Entspiegelung (ARC) liegt oberhalb der Hartmaske **42**. Eine strukturierte Schicht **72** aus Photolack liegt oberhalb der ARC Schicht **70**. Die Schicht **72** aus Photolack kann beispielsweise mit Hilfe gewöhnlicher Verfahren strukturiert sein.

[0059] Zur Vereinfachung und Anschauung ist die Hartmaske **42** in den [Fig. 17–Fig. 23](#) als eine einzelne Schicht dargestellt, obwohl diese eine oder mehrere Schichten aus einem oder mehreren Materialien (wie oben beim ersten Ausführungsbeispiels ausgeführt) enthalten kann. Ebenso ist die Schicht des MTJ Stapels **29** in den [Fig. 17–Fig. 23](#) als einzelne Schicht dargestellt, obwohl diese diese drei oder mehrere Schichten aus verschiedenen Materialien (wie oben ausgeführt) enthalten kann. Des weiteren ist die untere Schicht **96** als einzelne Schicht dargestellt, obwohl diese ein oder mehrere Schichten aus einem oder mehreren Materialien (wie oben beim ersten Ausführungsbeispiels ausgeführt) enthalten kann.

[0060] [Fig. 18](#) zeigt die Struktur **50** nach dem zur strukturierten Schicht **72** aus Photolack ausgerichteten Öffnen der ARC Schicht **70**. In dem weiteren Verfahren wird die Hartmaske **42** vor dem Entfernen der Schicht **72** aus Photolack vollständig geätzt und strukturiert, wie in [Fig. 19](#) dargestellt ist. Wie [Fig. 20](#) zeigt, werden

die Seiten der Hartmaske **42** während (oder vor oder nach) dem Entfernen der Schicht **72** aus Photolack (und der ARC Schicht **70**) mit einem Plasma oxidiert, wobei das Entfernen beispielsweise mit Hilfe eines Sauerstoff enthaltenden Plasmas wie etwa eines O₂ und Ar Gasgemischs durchgeführt wird. Falls erforderlich oder erwünscht, kann das zum Entfernen der Schicht **72** aus Photolack und der ARC Schicht **70** verwendete Sauerstoff-basierte Plasma nach dem Entfernen dieser Schichten **70**, **72** weiterverwendet werden, um die obere Fläche der Hartmaske **42** mit einem Plasma zu oxidieren.

[0061] Ein Vorteil dieser Verfahrensabfolge des weiteren Verfahrens liegt darin, dass die Hartmaske **42** mit Hilfe desselben Ätzrezeptur-Schrittes oxidiert werden kann, mit dem auch die Schicht **72** aus Photolack und die ARC Schicht **70** entfernt werden. Ein möglicher Nachteil des weiteren Verfahrens liegt darin, dass sich ein Gitter (nicht gezeigt) aus wiederabgeschiedenem Material (z. B. Material der Hartmaske und/oder des MTJ Stapels) an den Seitenwänden der Schicht **72** aus Photolack bilden kann, welches typischerweise während des Entfernens des Photolacks nicht entfernt wird. Ob sich ein Gitter während der Ätzung der Hartmaske ausbildet, kann von der Dicke der Hartmaske **42**, der verwendeten Ätzrezeptur, dem Material/den Materialien der Hartmaske **42** (z. B. Ätzselektivität zwischen verschiedenen, die Hartmaske **42** umfassenden Schichten) und/oder der Ätzdauer abhängen. Ein beliebiger oder alle dieser Faktoren können darauf Einfluß nehmen, ob der MTJ Stapel **29** während der Ätzung der Hartmaske freigelegt wird. Freilegen und/oder Ätzen des MTJ Stapels **29** vor dem Entfernen der Schicht **72** aus Photolack ist einer der wesentlichen Gründe für das Auftreten von Problemen mit Eingittern.

[0062] Die verbleibenden Schritte des weiteren, in den [Fig. 21](#) und [Fig. 22](#) dargestellten Verfahrens können beispielsweise den oben für das erste Ausführungsbeispiel beschriebenen Schritten gleichen. Falls erforderlich oder erwünscht, kann ein tiefes Ätzen (als Alternative oder optionaler Schritt des zweiten Verfahrens) wie in [Fig. 23](#) (mit dem Pfeil **94** markiert) durchgeführt werden. Ein tiefes Ätzen um ungefähr 20 nm kann zu einem erwünschten Resultat führen. Ein derartiges tiefes Ätzen kann erforderlich oder erwünscht sein, um sicherzustellen, dass beispielsweise kein Kurzschluss zwischen benachbarten Leiterbahnen **22** über verbleibende Teile der unteren Schicht **96** auftritt. Das Ätzen des isolierenden Materials **44** kann in derselben Kammer, in der auch die Ätzung des MTJ Stapels stattfindet, durchgeführt werden. Der Bedarf eines derartigen tiefen Ätzens kann von der Fähigkeit, den Endpunkt der Ätzung des MTJ Stapels **29** und/oder der unteren Schicht **96** zu erkennen, abhängen. Die Fähigkeit den Endpunkt der Ätzung zu erkennen kann beispielsweise von der verwendeten Ätzrezeptur, der Plasmaquelle, der Ätzrate und/oder des Materials/der Materialien der unteren Schicht **96** abhängen.

[0063] Das Verfahren zur Ätzung des MTJ Stapels kann die Verwendung einer eine Cl₂ Flußrate, eine O₂ Flußrate und eine Ar Flußrate enthaltenden Ätzchemie beinhalten. Beispielsweise kann die Cl₂ Flußrate ungefähr 20–60% der gesamten Flußrate, die O₂ Flußrate ungefähr 10–40% der gesamten Flußrate und die Ar Flußrate ungefähr 20–35% der gesamten Flußrate betragen. Die gesamte Flußrate kann beispielsweise zwischen 50 und 500 cm³/min Standardbedingungen (sccm) liegen. Ebenso kann die MTJ Ätzung beispielsweise bei einem Druck zwischen ungefähr 0,133 und 2,66 Pa (1 und 20 mTorr) liegen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Magnet-Tunnel-Junction-Vorrichtung, umfassend:
Bereitstellen einer Hartmaske (**42**) oberhalb eines Magnet-Tunnel-Junktion-Stapels (**29**), wobei die Hartmaske (**42**) eine Titannitrid-Schicht (**68**) oberhalb einer Titan-Schicht (**66**) beinhaltet;
Bereitstellen einer strukturierten Schicht (**72**) aus Photolack oberhalb der Hartmaske (**42**);
Ätzen wenigstens der Hälfte der Schichtdicke der Titannitrid-Schicht (**68**) mit einer ersten Ätzrezeptur;
Ätzen des Restes der Schichtdicke der Titannitrid-Schicht (**68**) und eines Teils der Schichtdicke der Titan-Schicht (**66**) mit einer zweiten Ätzrezeptur; und
Entfernen der Schicht (**72**) aus Photolack.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Hartmaske des weiteren eine Tantalnitrid-Deckschicht (**64**) beinhaltet, wobei die Titan-Schicht (**66**) oberhalb der Tantalnitrid-Deckschicht (**64**) ist und das Verfahren weiterhin umfaßt:
Ätzen des Restes der Schichtdicke der Titan-Schicht (**66**) und zumindest eines Teils der Schichtdicke der Tantalnitrid-Deckschicht (**64**) mit einer dritten Ätzrezeptur nach dem Entfernen der Schicht (**72**) aus Photolack; und
Oxidieren freiliegender Teile der Titannitrid-Schicht (**68**), der Titan-Schicht (**66**) und der Tantalnitrid-Deckschicht (**64**) zur Ausbildung eines darauffliegenden Oberflächenoxids (**80**).
3. Verfahren nach Anspruch 1 weiterhin umfassend:

- Bereitstellen einer Ausgangsstruktur (50) aus einer Unterlagenschicht (52), einer unteren Tantalnitrid-Schicht (60) oberhalb der Unterlagenschicht (52), einer Tantal-Schicht (62) oberhalb der unteren Tantalnitrid-Schicht (60), dem Magnet-Tunnel-Junction-Stapel (29) oberhalb der Tantal-Schicht (62), einer Tantalnitrid-Deckschicht (64) oberhalb des Magnet-Tunnel-Junction-Stapels (29), der Titan-Schicht (66) oberhalb der Tantalnitrid-Deckschicht (64), der Titannitrid-Schicht (68) oberhalb der Titan-Schicht (66) und der strukturierten Schicht (72) aus Photolack oberhalb der Titannitrid-Schicht (68);
- Ätzen wenigstens der Hälfte der Schichtdicke der Titannitrid-Schicht (68) mit der ersten Ätzrezeptur;
- Ätzen des Restes der Schichtdicke der Titannitrid-Schicht (68) und eines Teils der Schichtdicke der Titan-Schicht (66) mit der zweiten Ätzrezeptur;
- Entfernen der Schicht (72) aus Photolack;
- Ätzen des Restes der Schichtdicke der Titan-Schicht (66) und zumindest eines Teils der Tantalnitrid-Deckschicht (64) mit einer dritten Ätzrezeptur;
- Oxidieren freiliegender Teile der Titannitrid-Schicht (68), der Titan-Schicht (66) und der Tantalnitrid-Deckschicht (64) zur Ausbildung eines Oberflächenoxids (80) auf diesen freiliegenden Teilen,
- Ätzen des Magnet-Tunnel-Junction-Stapels (29) mit einer vierten Ätzrezeptur; und
- Ätzen der Tantal-Schicht (62) und der unteren Tantalnitrid-Schicht (60) mit einer fünften Ätzrezeptur.

4. Verfahren nach Anspruch 3, weiterhin umfassend:

Spülen mit deionisiertem Wasser nach dem Ätzen der unteren Tantalnitrid-Schicht (60).

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, bei dem die Unterlagenschicht (52) aus einem isolierenden Material (44) mit einer darin ausgebildeten Leiterbahn (22) besteht.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das isolierende Material (44) SiO₂ ist und die Leiterbahn (22) eine Mantelschicht (46) und eine Kupferleitung beinhaltet.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, bei dem der Magnet-Tunnel-Junction-Stapel (29) eine Platin-Mangan-Schicht, eine Kobalt-Eisen-Schicht oberhalb der Platin-Mangan-Schicht, eine Aluminiumoxid-Schicht oberhalb der Kobalt-Eisen-Schicht und eine Nickel-Eisen-Schicht oberhalb der Aluminiumoxid-Schicht beinhaltet.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7, bei dem das Ätzen der Titannitrid-Schicht (68) ungefähr 90% der gesamten Dicke der Titannitrid-Schicht (68) beträgt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 8, bei dem die erste Ätzrezeptur einen Fluß von zumindest Cl₂ oder NF₃ beinhaltet.

10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem die erste Ätzrezeptur
einen Fluß von Cl₂ von 40 cm³/min,
einen Fluß von NF₃ von 4 cm³/min,
eine Plasma-Quellenleistung von 2000 Watt,
eine Plasma Bias-Leistung von 220 Watt und
einen Druck von 0,33 Pa
beinhaltet.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 10, bei dem die zweite Ätzrezeptur auf Fluor basiert.

12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem die zweite Ätzrezeptur
einen Fluß von CF₄ von 10 cm³/min,
einen Fluß von CHF₃ von 5 cm³/min,
einen Fluß von Ar von 60 cm³/min,
eine Plasma-Quellenleistung von 1000 Watt,
eine Plasma Bias-Leistung von 100 Watt und
einen Druck von 0,33 Pa
beinhaltet.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 12, bei dem das Entfernen der Schicht (72) aus Photolack mit Hilfe eines Flusses von zumindest O₂ oder Ar durchgeführt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 13, bei dem das Entfernen der Schicht (72) aus Photolack vor dem Ätzen mit der dritten Ätzrezeptur erfolgt.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 14, bei dem die dritte Ätzrezeptur auf Fluor basiert.

16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem die dritte Ätzrezeptur einen Fluß von CF_4 von $10 \text{ cm}^3/\text{min}$, einen Fluß von CHF_3 von $5 \text{ cm}^3/\text{min}$, einen Fluß von Ar von $60 \text{ cm}^3/\text{min}$, eine Plasma-Quellenleistung von 1000 Watt, eine Plasma Bias-Leistung von 100 Watt und einen Druck von $0,33 \text{ Pa}$ beinhaltet.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 16, bei dem die Oxidation zur Ausbildung des Oberflächenoxids eine Plasma-Oxidation ist, deren Ausführung die Bedingungen eines Flusses von O_2 von $50 \text{ cm}^3/\text{min}$, eines Flusses von Ar von $50 \text{ cm}^3/\text{min}$, einer Plasma-Quellenleistung von 1500 Watt, einer Plasma Bias-Leistung von 25 Watt und eines Druckes von $0,66 \text{ Pa}$ beinhaltet.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 17, bei dem die oberflächenoxidierten Deckschichten (68, 66, 64) aus Titanitrid, Titan und Tantalnitrid eine Hartmasken-Struktur zum Ätzen des Magnet-Tunnel-Junction-Stapels bereitstellen.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 18, bei dem die vierte Ätzrezeptur einen Fluß von mindestens Cl_2 oder O_2 oder Ar beinhaltet.

20. Verfahren nach Anspruch 19, bei dem die vierte Ätzrezeptur einen Fluß von Cl_2 von $40 \text{ cm}^3/\text{min}$, einen Fluß von O_2 von $10 \text{ cm}^3/\text{min}$, einen Fluß von Ar von $20 \text{ cm}^3/\text{min}$, eine Plasma-Quellenleistung von 2500 Watt, einer Plasma Bias-Leistung von 250 Watt und einen Druck von $0,33 \text{ Pa}$ beinhaltet.

21. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem die vierte Ätzrezeptur des weiteren eine automatische Gittervorspannung zwischen -350 Volt und -380 Volt beinhaltet.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 21, bei dem die fünfte Ätzrezeptur auf Fluor basiert.

23. Verfahren nach Anspruch 22, bei dem die fünfte Ätzrezeptur des weiteren einen Fluß von CF_4 von $60 \text{ cm}^3/\text{min}$, einen Fluß von O_2 von $5 \text{ cm}^3/\text{min}$, einen Fluß von Ar von $120 \text{ cm}^3/\text{min}$, eine Plasma-Quellenleistung von 1000 Watt, einer Plasma Bias-Leistung von 100 Watt und einen Druck von $0,33 \text{ Pa}$ beinhaltet.

24. Verfahren nach Anspruch 23, bei dem die fünfte Ätzrezeptur des weiteren eine automatische Gittervorspannung zwischen -90 Volt und -110 Volt beinhaltet.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 24, weiterhin umfassend: ein tiefes Ätzen mit der fünften Ätzrezeptur zum Entfernen von bis zu 90 nm der Untergrundschicht.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 25, bei dem die Ausgangsstruktur (**50**) des weiteren eine strukturierte Entspiegelungsschicht (**70**) zwischen der Schicht (**72**) aus Photolack und der Titannitrid-Schicht (**68**) aufweist und beim Entfernen der Schicht (**72**) aus Photolack auch die ARC-Schicht (**70**) entfernt wird.

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 26, bei dem mindestens die Tantal-Schicht (**62**) oder die untere Tantalnitrid-Schicht (**60**) durch Behandlung mit der vierten Ätzrezeptur oxidiert wird.

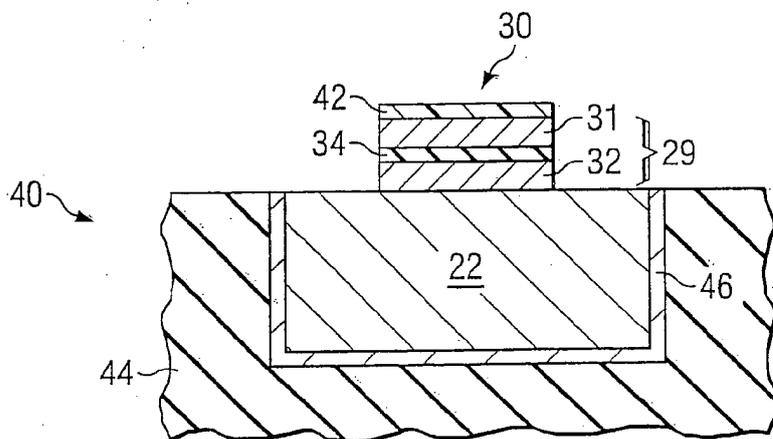
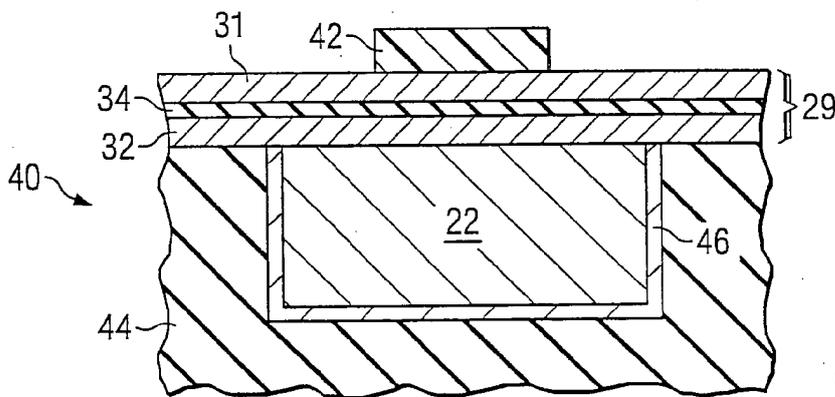
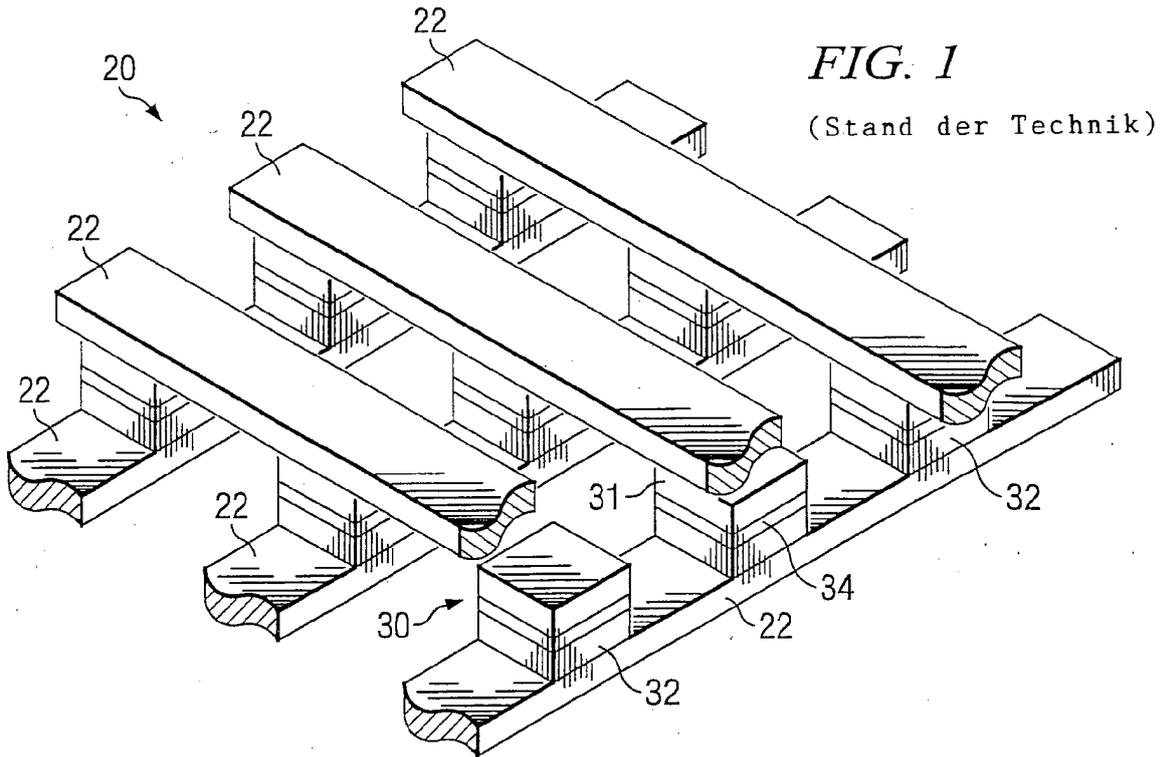
28. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 27, bei dem ein Endpunkt der Ätzung des Magnet-Tunnel-Junction-Stapels (**29**) mit der vierten Ätzrezeptur mit einer Endpunkt-Funktion gemessen wird, die aus einer aus optischer Emissionsspektroskopie, Restgasanalyse, Laserinterferometrie, interferometrischer Endpunkterkennung und vollständiger interferometrischer Scheibenabbildung bestehenden Gruppe ausgewählt wird.

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 27, bei dem das Ätzen des Magnet-Tunnel-Junction-Stapels (**29**) mit der vierten Ätzrezeptur eine zeitlich festgelegte Ätzung ist.

30. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 27, bei dem das Ätzen des Magnet-Tunnel-Junction-Stapels (**29**) mit der vierten Ätzrezeptur um ein tiefes Ätzen mit einer Ätzzeit zwischen 0 und 1000 Sekunden zur Entfernung von wiederabgeschiedenem Material an den Seitenwänden der Magnet-Tunnel-Junction-Stapels (**29**) erweitert wird, um Kurzschlüsse über eine Tunnelbarriere des Magnet-Tunnel-Junction-Stapels (**29**) zu verhindern.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



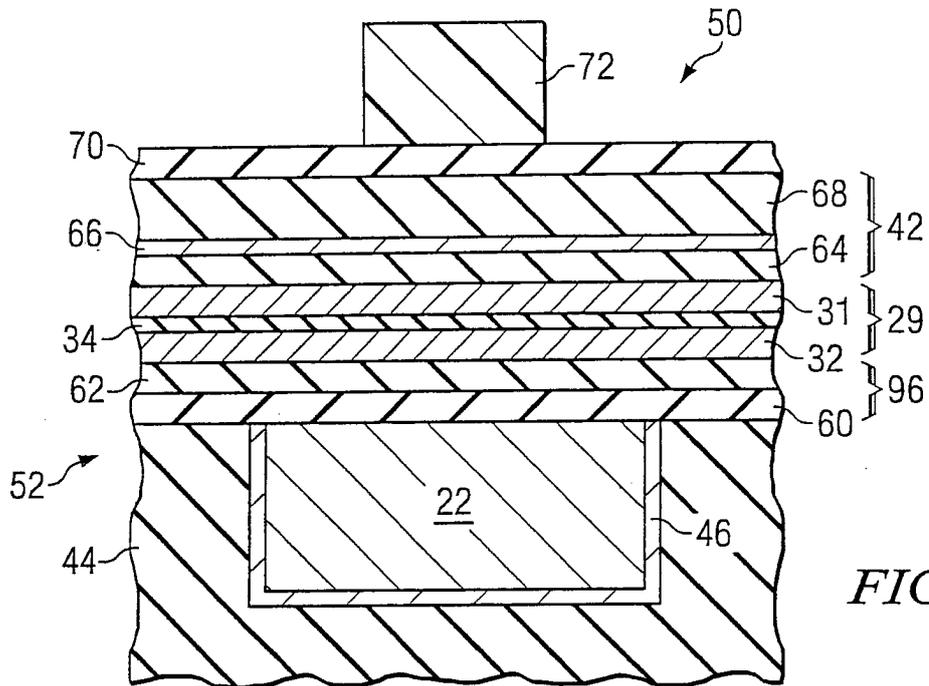


FIG. 4

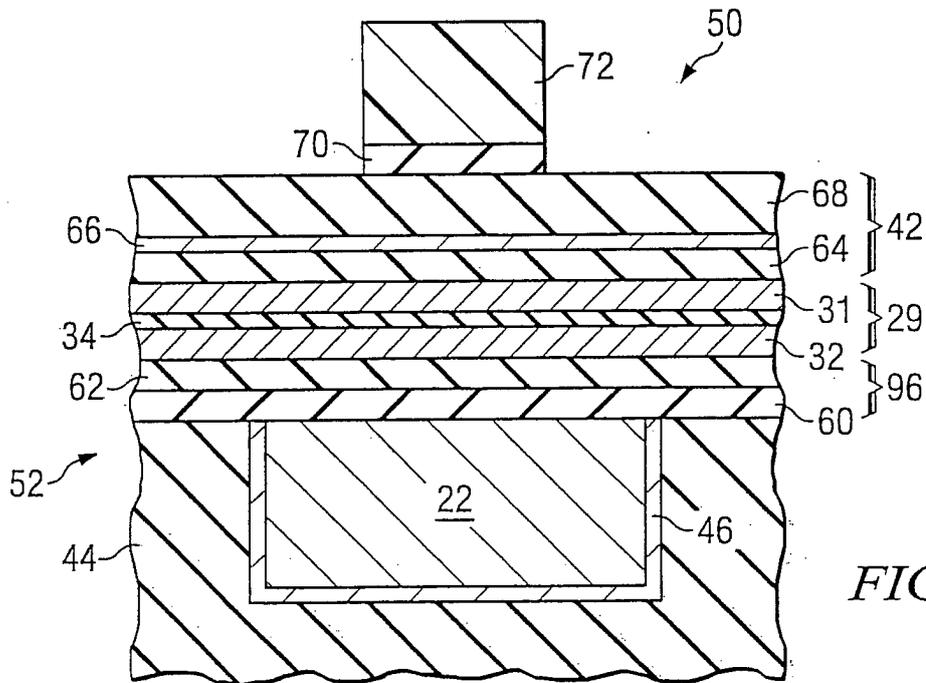


FIG. 5

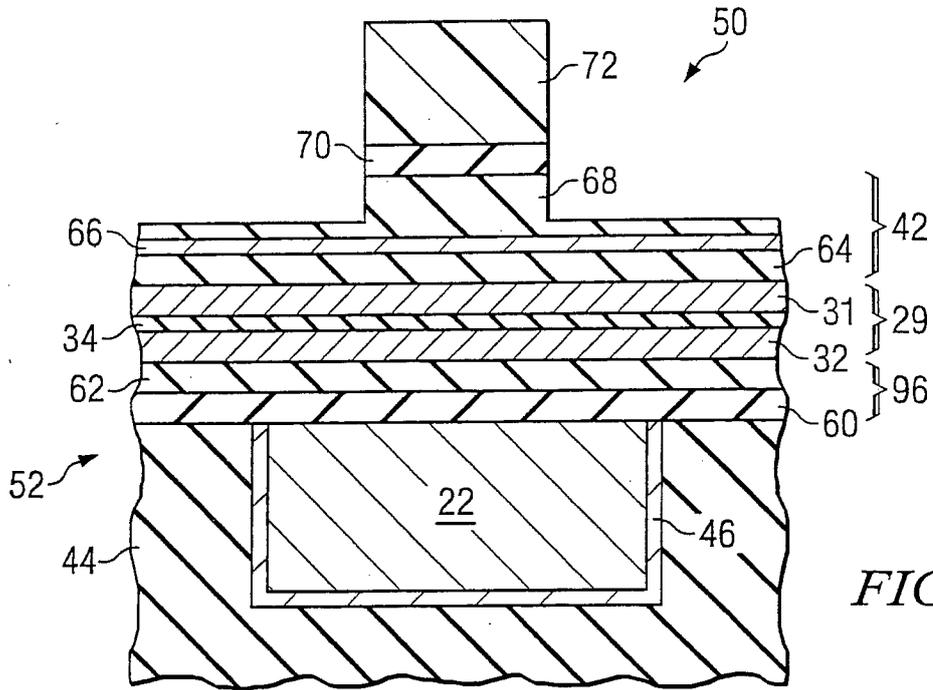


FIG. 6

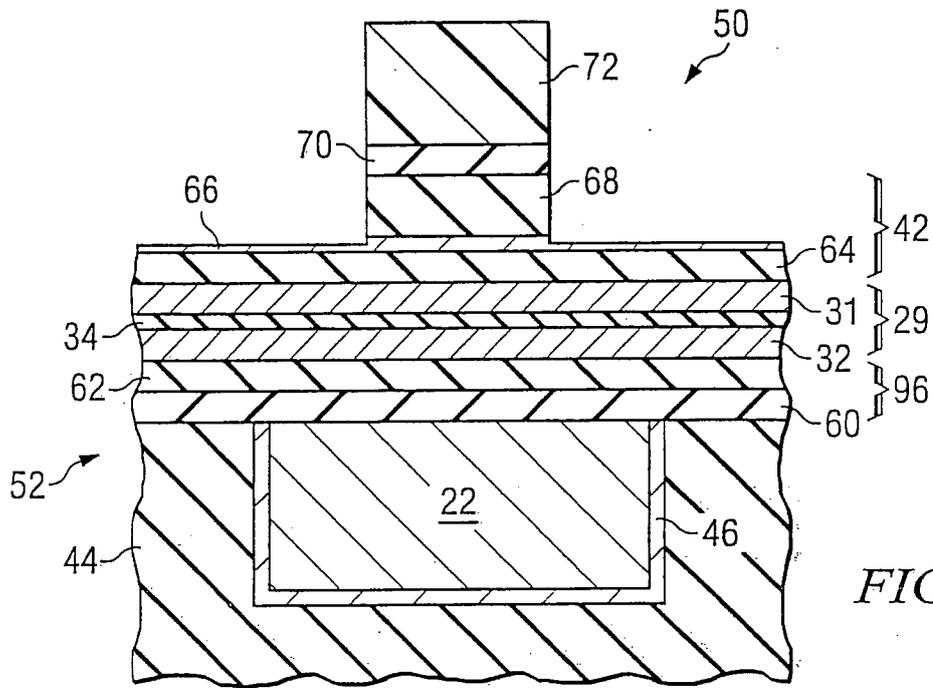
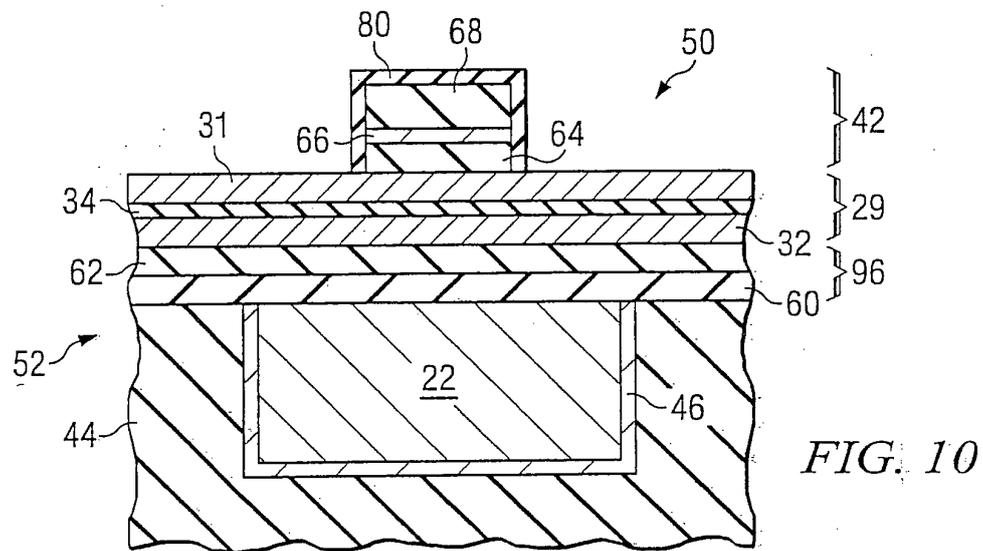
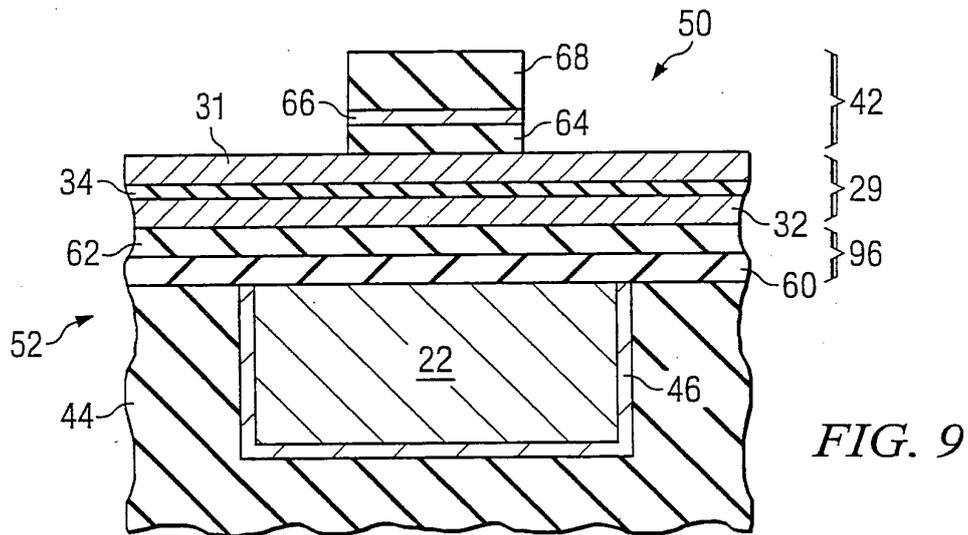
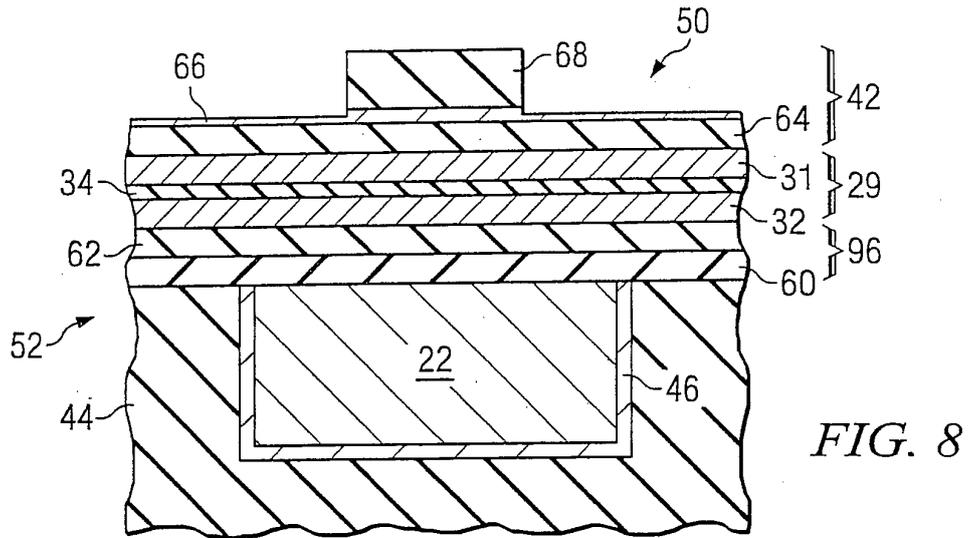


FIG. 7



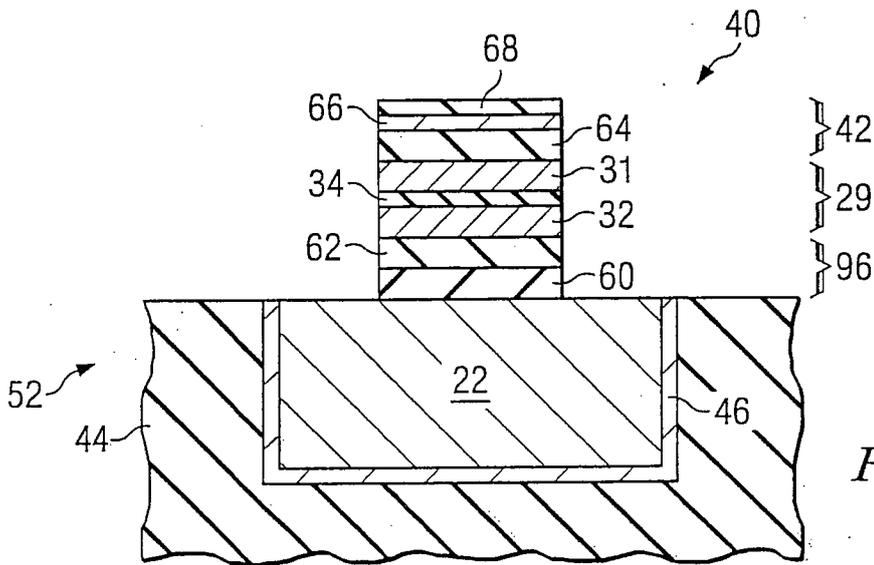
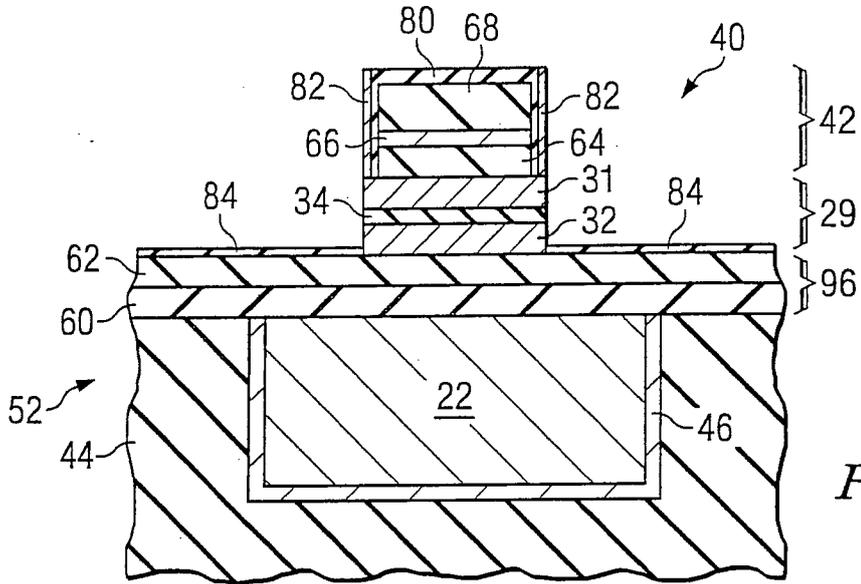


FIG. 13

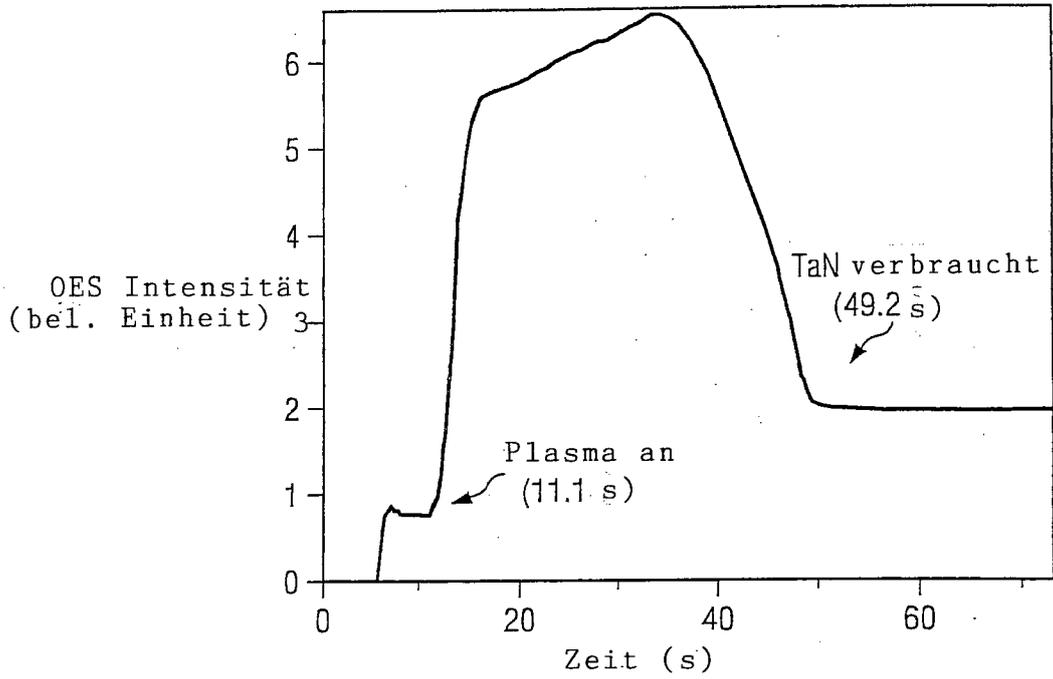


FIG. 14

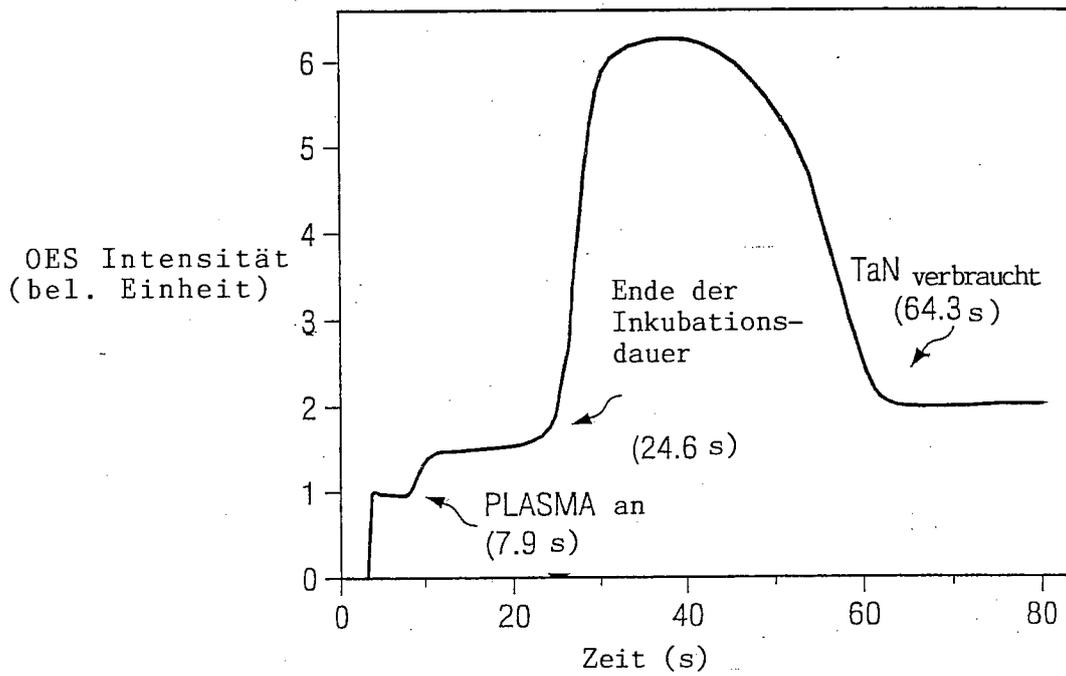


FIG. 15

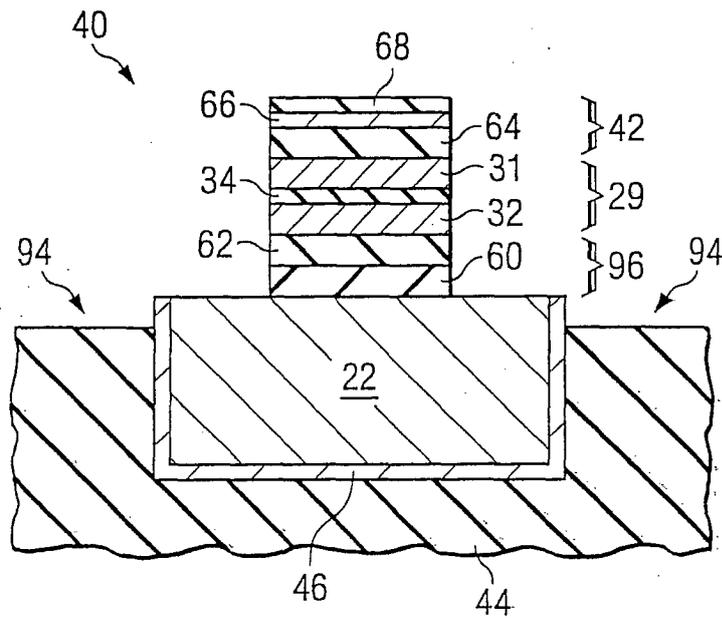
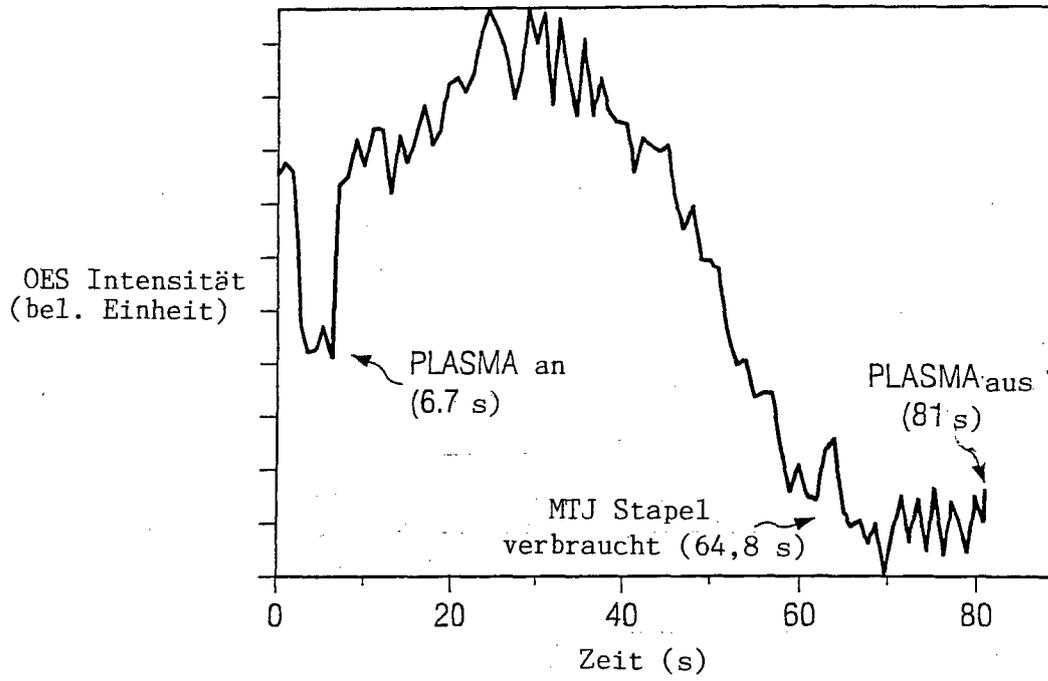


FIG. 16

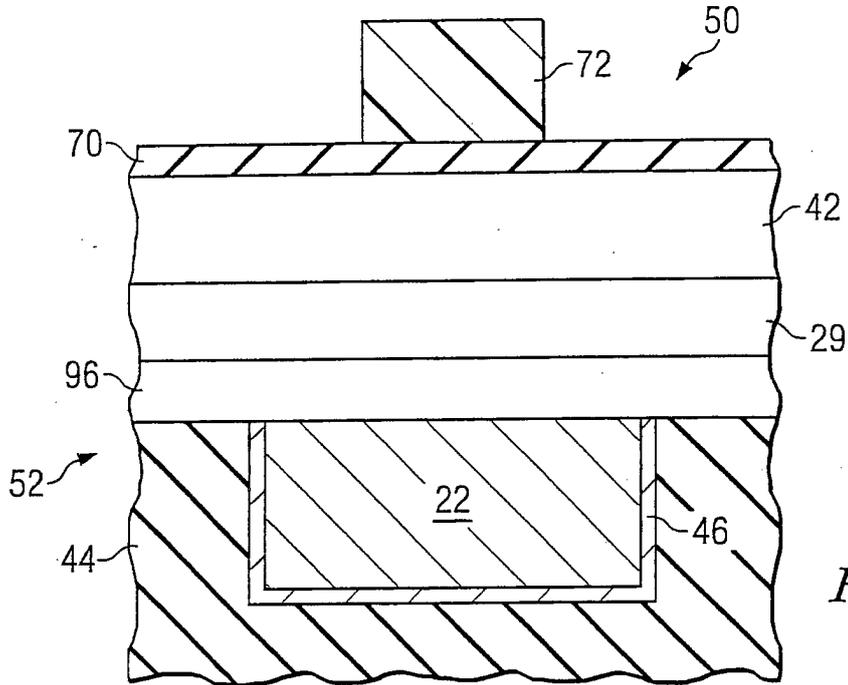


FIG. 17

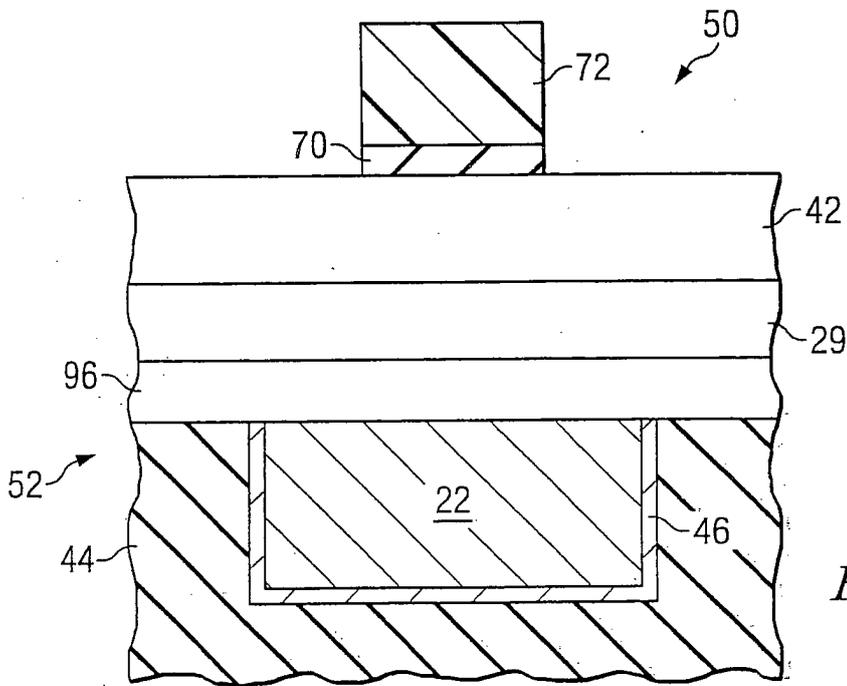


FIG. 18

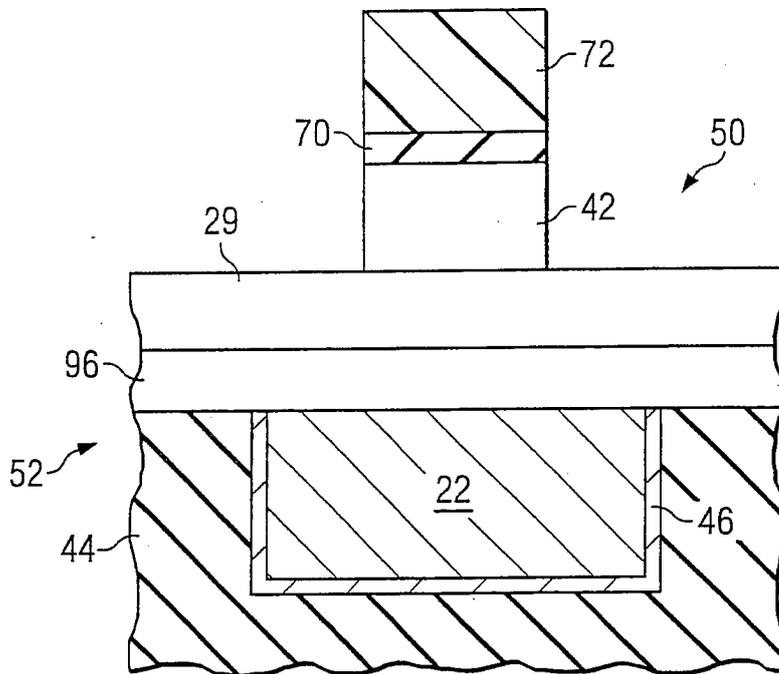


FIG. 19

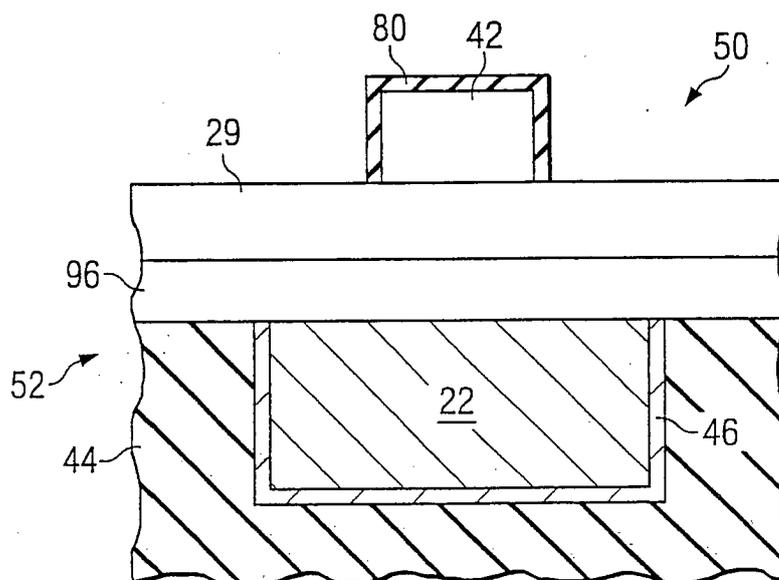


FIG. 20

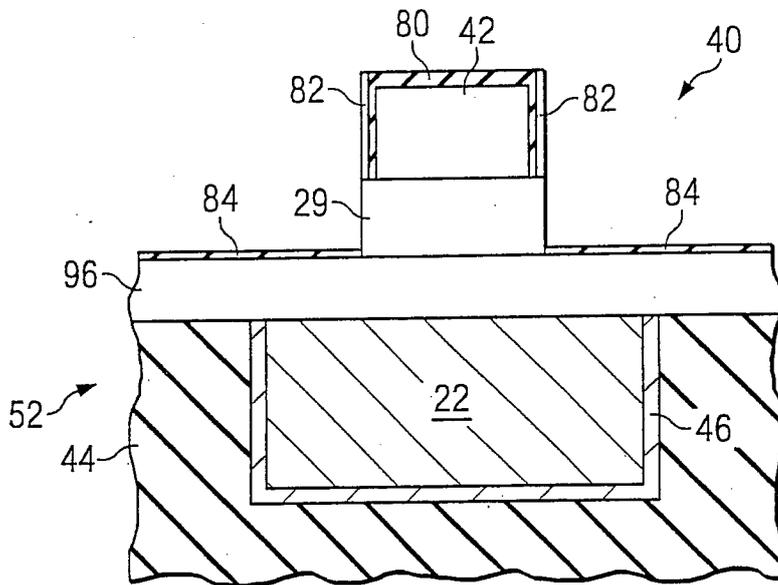


FIG. 21

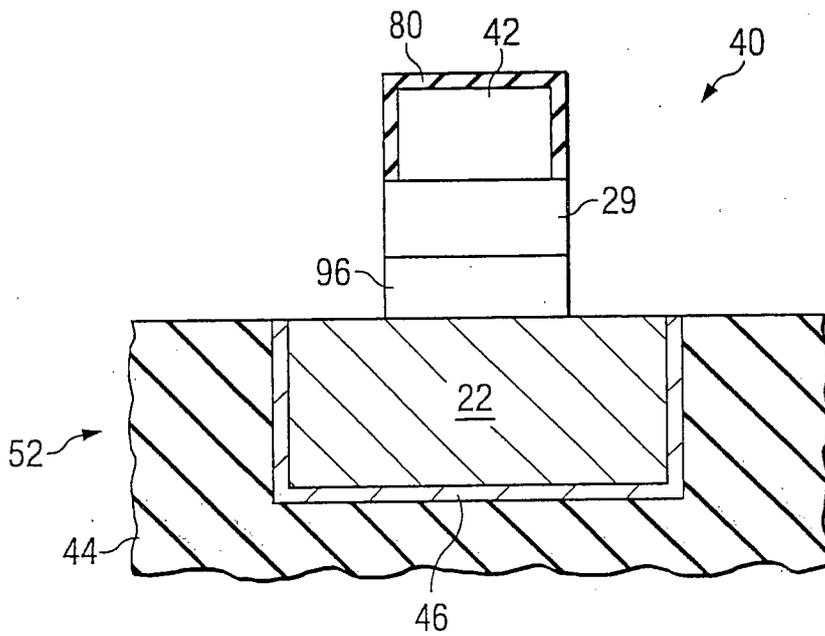


FIG. 22

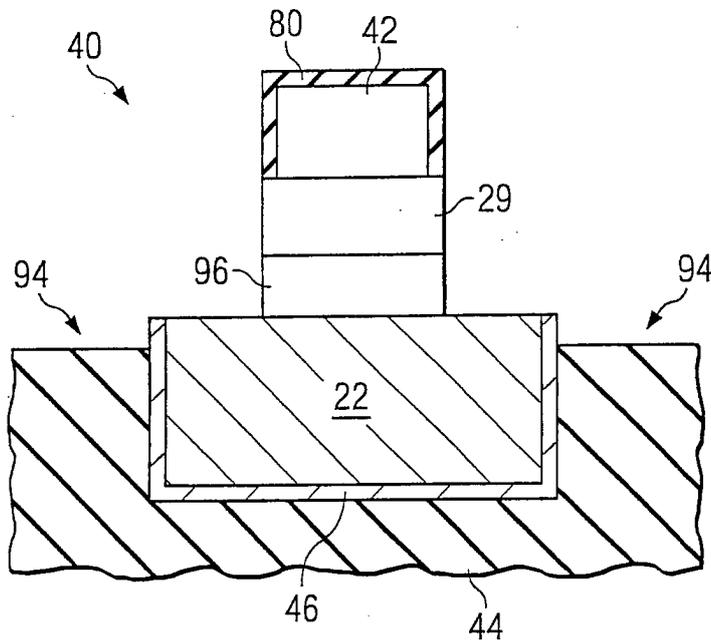


FIG. 23

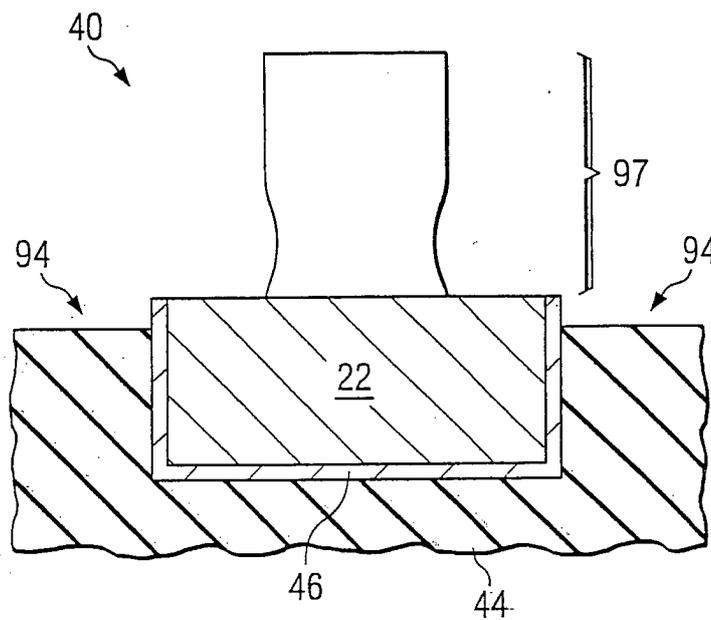


FIG. 24