



19 **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

12 **Patentschrift**  
10 **DE 100 20 769 C 2**

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 L 43/12**  
H 01 L 43/08  
G 11 B 5/39  
G 01 R 33/09

21 Aktenzeichen: 100 20 769.3-33  
22 Anmeldetag: 28. 4. 2000  
43 Offenlegungstag: 8. 11. 2001  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 24. 7. 2003

**DE 100 20 769 C 2**

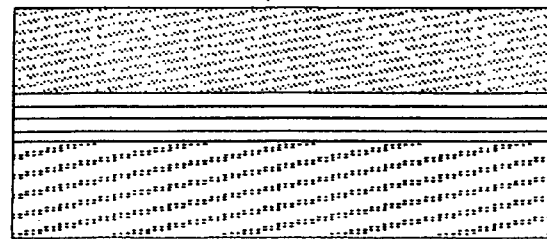
Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 **Patentinhaber:**  
Forschungszentrum Jülich GmbH, 52428 Jülich, DE  
  
74 **Vertreter:**  
Paul und Kollegen, 41460 Neuss

72 **Erfinder:**  
Girgis, Emad, Kairo, EG; Schelten, Jakob, Prof. Dr.,  
52428 Jülich, DE  
  
56 **Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:**  
DE 198 18 547 A1  
EP 5 73 157 A1  
JP 2000-036628 (abstract);  
JP 11-224961 (abstract);

54 **Verfahren zum Herstellen magnetischer Tunnelkontakte**

57 Verfahren zum Herstellen magnetischer Tunnelkontakte, bei dem eine Metallschicht auf eine erste ferromagnetische Schicht aufgebracht wird und die Metallschicht oxidiert wird, wobei die Metallschicht durch das Aufbringen mehrerer Teilschichten aufgebracht wird und jeweils nach dem Aufbringen einer Teilschicht eine Oxidation erfolgt und die Metallschicht durch Sputterposition auf ein Target aufgebracht wird, dadurch gekennzeichnet, dass vor einem Sputtervorgang die Lage des Target um einen vorbestimmten Betrag verändert wird.



NiFe  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
Co

**DE 100 20 769 C 2**

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen magnetischer Tunnelkontakte, bei dem eine Metallschicht auf eine erste ferromagnetische Schicht aufgebracht wird und die Metallschicht oxidiert wird, wobei die Metallschicht durch das Aufbringen mehrerer Metallschichten aufgebracht wird und jeweils nach dem Aufbringen einer Metallschicht eine Oxidation erfolgt, wie beispielsweise aus der DE 198 18 547 A1 bekannt.

[0002] Magnetische Tunnelkontakte kommen zum Beispiel bei Tunnelmagnetowiderständen ("Tunnel Magneto Resistor" (TMR)) zur Anwendung. Tunnelmagnetowiderstände, welche beispielsweise als Magnetfeldsensoren und zur Speicherung von digitaler Information eingesetzt werden können, bestehen im allgemeinen aus einer ersten ferromagnetischen Schicht, einer dünnen oxidischen Zwischenschicht und einer darüber angeordneten zweiten ferromagnetischen Schicht. Als ferromagnetische Schichten werden meist Co und NiFe verwendet; die dünne oxidische Zwischenschicht besteht meist aus  $Al_2O_3$ . Diese Aluminiumoxidschicht wirkt als elektrische Tunnelbarriere des Tunnelmagnetowiderstandes.

[0003] Die Herstellung der Tunnelmagnetowiderstände erfolgt derzeit in der Weise, daß auf eine erste ferromagnetische Schicht eine Aluminiumschicht mit einer Dicke von etwa 1,3 nm, was etwa 5 Atomlagen entspricht, aufgebracht wird. Diese Aluminiumschicht wird nachfolgend oxidiert, wobei verschiedene Oxidationsverfahren, zum Beispiel die Oxidation an Luft, die thermische Oxidation in Sauerstoffatmosphäre, die plasmaunterstützte Oxidation in Sauerstoffplasma und die Oxidation unter UV-Bestrahlung zum Einsatz kommen. Die dünne Aluminiumschicht wird beispielsweise durch Aufdampfen oder Sputtern auf die erste ferromagnetische Schicht aufgebracht. Besonders bewährt hat sich eine In-situ-Oxidation der Aluminium-Sputterschicht in einer  $O_2$ -Atmosphäre unter einem Druck von 100 mb bei Raumtemperatur und unter UV-Bestrahlung. Auf die Aluminiumoxidschicht wird schließlich eine zweite ferromagnetische Schicht aufgebracht.

[0004] Durch dieses Verfahren können große Magnetowiderstandsverhältnisse erzeugt werden. Das Magnetowiderstandsverhältnis (MR-Wert) ist als relative Änderung des Widerstandes beim Übergang von paralleler zu antiparalleler Stellung der Magnetisierungen in den ferromagnetischen Schichten definiert. Bezeichnet man den Widerstand bei paralleler Magnetisierung mit  $R_p$  und den Widerstand bei antiparalleler Stellung mit  $R_a$ , so ergibt sich der MR-Wert als  $(R_a - R_p)/R_p$ . Die TMR-Bauelemente zeigen jedoch eine gewisse Spannungsabhängigkeit des TMR-Effekts. Ferner läßt sich der Tunnelwiderstand über die Schichtdicken nur in bestimmten Grenzen einstellen.

[0005] Da die Tunnelkontakte bereits sehr zuverlässig sind, ergibt sich hieraus und aus den anderen genannten Eigenschaften die Möglichkeit, die Bauelemente als Magnetfeldsensoren und als digitale Speicher zu verwenden.

[0006] Gleichwohl sind die Tunnelmagnetowiderstände verbesserungsfähig; insbesondere will man erreichen, daß die Reproduzierbarkeit bei der Herstellung verbessert werden kann, dass MR-Werte oberhalb von 10% ohne weiteres herstellbar sind, daß ebenfalls ohne weiteres Spannungen im Bereich von 1 V angelegt werden dürfen, daß ferner der absolute Widerstand gezielt eingestellt werden kann und daß Strukturen im Sub- $\mu$ m-Bereich realisierbar sind.

[0007] In Fig. 7 ist ein Schichtaufbau mit einem magnetischen Tunnelkontakt des Standes der Technik dargestellt. Der Schichtaufbau besteht aus einer Co-Schicht, einer darüber liegenden  $Al_2O_3$ -Schicht und einer NiFe-Schicht, wel-

che über der  $Al_2O_3$ -Schicht liegt.

[0008] Fig. 8 zeigt einen weiteren Schichtaufbau eines magnetischen Tunnelkontaktes des Standes der Technik mit einer Co-Schicht und einer darüber liegenden  $Al_2O_3$ -Schicht. Mit dem Bezugszeichen 110 ist ein Bereich der  $Al_2O_3$ -Schicht gekennzeichnet, welcher einen lokalen, großen Defekt enthält. Dieser kann beispielsweise Target-induziert sein. Ferner ist erkennbar, daß die  $Al_2O_3$ -Schicht eine ungleichmäßige Oberfläche 112 hat, welche beispielsweise aus einem Sputtervorgang resultieren kann.

[0009] Aus der DE 198 18 574 A1 ist ein Verfahren zum Herstellen magnetischer Tunnelkontakte bekannt, bei dem die Metallschicht aus mehreren Teilschichten besteht, die nacheinander hergestellt werden, wobei jeweils nach dem Aufbringen einer Teilschicht eine Oxidation erfolgt. Auf diese Weise wird eine vollständige Oxidation des aufgetragenen Metalls bereits nach kurzen Oxidationszeiten erreicht.

[0010] Ein Problem, das bei den bekannten Verfahren zur Herstellung magnetischer Tunnelkontakte auftreten kann, besteht darin, daß Target-induzierte Defekte in den Metallschichten auftreten und zu einem großen Defekt anwachsen können, was unerwünschte Spannungsdurchbrüche begünstigt.

[0011] Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zum Herstellen magnetischer Tunnelkontakte der eingangs genannten Art anzugeben, mit welchem raue Oberflächen und Target-induzierte Defekte verhindert oder zumindest weitgehend vermieden werden können.

[0012] Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß u. a. dadurch gelöst, daß die Metallschicht durch Sputterdeposition auf ein Target aufgebracht und vor einem Sputtervorgang die Lage des Target um einen vorbestimmten Betrag verändert wird.

[0013] Erfindungsgemäß wird somit die Metallschicht durch Sputterdeposition auf ein Target aufgebracht, wodurch sich die Metallschicht besonders kontrolliert aufbringen läßt. Rauigkeiten der Schichtoberfläche, die durch den Sputtervorgang erzeugt werden, wenn Aluminiumatome mit Energien von einigen eV auf das Substrat auftreffen, können während der Oxidation aufgrund der geringen Dicke der Teilschicht ausheilen. Dadurch, daß weiter vorgesehen ist, daß vor einem Sputtervorgang die Lage des Target um einen vorbestimmten Betrag verändert wird, werden Target-induzierte Defekte auf mehrere Stellen im Substrat verteilt. Es wird so verhindert, daß ein Target-induzierter Defekt zu einem großen Defekt anwächst und damit einen unerwünschten Spannungsdurchbruch begünstigt. Statt dessen entstehen durch die Targetdrehung mehrere Defekte kleineren Ausmaßes, die weniger Einfluß auf die Durchbruchspannung des Tunnelmagnetowiderstandes nehmen.

[0014] Zweckmäßigerweise wird die Lage des Target durch Drehen um einen vorbestimmten Winkel, beispielsweise um jeweils  $5^\circ$ , verändert. Das Substrat kann so in seiner justierten Position verbleiben, wobei dennoch eine Änderung der Lage der einzelnen Targetpunkte im Hinblick auf den Sputterprozeß erfolgt.

[0015] Vorzugsweise wird nach dem Fertigstellen der oxidierten Metallschicht eine zweite ferromagnetische Schicht aufgebracht. Das Verfahren ist also zur vollständigen Herstellung eines Tunnelmagnetowiderstandes erweiterbar.

[0016] Als ferromagnetische Schichten werden bevorzugt Co-Schichten und/oder NiFe-Schichten verwendet. Hierbei handelt es sich um bewährte Substanzen für den Aufbau von Tunnelmagnetowiderständen.

[0017] Insbesondere ist vorteilhaft, daß ferromagnetische Schichten mit unterschiedlicher Zusammensetzung verwendet werden.

[0018] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung wird als Metallschicht eine Aluminiumschicht verwendet, welche durch das Oxidieren zu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  umgesetzt wird. So kommt es beispielsweise zu dem Aufbau aus einer Co-Schicht, einer darüber liegenden  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht, welche erfindungsgemäß aus mehreren Teilschichten aufgebaut ist, und einer über dieser Oxidschicht liegenden NiFe-Schicht. Man erhält also einen magnetischen Tunnelkontakt, welcher in seinem Grobaufbau demjenigen des Standes der Technik entspricht, bei dem allerdings die Struktur der Tunnelbarrierschicht durch den mehrstufigen Schichtprozess der Teilschichten bestimmt ist. Alternativ zu Al können auch Mg, Hf, Ta, Zr, y oder Er eingesetzt werden.

[0019] Es kann ebenfalls nützlich sein, daß das Aufbringen von Teilschichten und die Oxidation ausschließlich so häufig durchgeführt werden, daß die Vorgänge quasikontinuierlich ablaufen. Hierdurch kann es zu einer nochmaligen Verbesserung der Eigenschaften des magnetischen Tunnelkontaktes kommen, wobei diese Verfahrensvariante besonders bei vollautomatischen Herstellungsprozessen vorteilhaft einsetzbar ist.

[0020] Die Oxidation kann auf verschiedene Weise erfolgen. Es ist möglich, daß die Oxidation an Luft erfolgt, daß die Oxidation als thermische Oxidation in Sauerstoffatmosphäre erfolgt, daß die Oxidation als plasmaunterstützte Oxidation in Sauerstoffplasma erfolgt, daß die Oxidation bei Raumtemperatur erfolgt oder daß die Oxidation unter UV-Bestrahlung erfolgt. Die Erfindung bringt ihre Vorteile in Kombination mit all diesen Oxidationsverfahren zum Zuge.

[0021] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Oxidation in-situ erfolgt. Es ist also nicht erforderlich, die Position der Schichtanordnung vor dem Oxidationsprozeß zu verändern.

[0022] Auf der oxidierten Metallschicht kann eine zweite ferromagnetische Schicht angeordnet sein. Auf diese Weise erhält man einen Tunnelmagnetowiderstand mit dem erfindungsgemäß vorteilhaften magnetischen Tunnelkontakt.

[0023] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß die ferromagnetischen Schichten Co und/oder NiFe aufweisen. Mit diesen bewährten Materialien lassen sich Tunnelmagnetowiderstände herstellen, welche im Groben denselben Aufbau wie jene des Standes der Technik haben, wobei der magnetische Tunnelkontakt durch den Teilschichtaufbau der Oxidschicht die erfindungsgemäßen Vorteile hat.

[0024] Aus dem selben Grund ist es vorteilhaft, daß die oxidierte Metallschicht  $\text{Al}_2\text{O}_3$  aufweist, das heißt, ein Oxid, welches bereits im Stand der Technik verwendet wird.

[0025] Vorzugsweise weist die oxidierte Metallschicht eine Dicke im nm-Bereich, insbesondere von 1,3 nm auf. Somit liegt eine Tunnelbarriere für einen Tunnelmagnetowiderstand vor, welche die geforderten vorteilhaften Eigenschaften aufweist.

[0026] In bevorzugter Weise ist das relative Magnetowiderstandsverhältnis (MR-Wert) größer als 10%. Damit läßt sich ein Tunnelmagnetowiderstand mit einem erfindungsgemäßen magnetischen Tunnelkontakt für Anwendungen als Magnetfeldsensor und als digitaler Speicher einsetzen.

[0027] In diesem Zusammenhang ist es ebenfalls vorteilhaft, daß der magnetische Tunnelkontakt für Betriebsspannungen im Bereich von 1 Volt geeignet ist.

[0028] Im Hinblick auf eine vielfältige Verwendbarkeit der Tunnelmagnetowiderstände ist es vorteilhaft, daß der magnetische Tunnelkontakt in Strukturen im Sub- $\mu\text{m}$ -Bereich einsetzbar ist.

[0029] Die Erfindung wird nun mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen an Hand bevorzugter Ausführungsformen beispielhaft erläutert. In der Zeichnung zeigt

[0030] Fig. 1 einen Schichtaufbau mit einem nach der Er-

findung hergestellten magnetischen Tunnelkontakt;

[0031] Fig. 2 einen weiteren Schichtaufbau mit einem nach der Erfindung hergestellten magnetischen Tunnelkontakt;

5 [0032] Fig. 3 ein Diagramm, in welchem das relative Magnetowiderstandsverhältnis in Abhängigkeit der Spannung am Tunnelkontakt aufgetragen ist;

[0033] Fig. 4 ein Diagramm, in welchem eine charakteristische Spannung in Abhängigkeit der Anzahl der durchgeführten Prozessschritte aufgetragen ist;

[0034] Fig. 5 ein Diagramm, in welchem die Durchbruchspannung in Abhängigkeit der Zahl der durchgeführten Prozessschritte aufgetragen ist;

10 [0035] Fig. 6 ein Diagramm, in welchem der elektrische Tunnelwiderstand in Abhängigkeit der Zahl der durchgeführten Prozessschritte aufgetragen ist;

[0036] Fig. 7 einen Schichtaufbau mit einem magnetischen Tunnelkontakt des Standes der Technik; und

[0037] Fig. 8 einen weiteren Schichtaufbau mit einem magnetischen Tunnelkontakt des Standes der Technik.

15 [0038] In Fig. 1 ist ein Schichtaufbau mit einem erfindungsgemäßen magnetischen Tunnelkontakt dargestellt. Es ist erkennbar, dass die  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht zwischen der Co-Schicht und der NiFe-Schicht aus mehreren Teilschichten besteht, im Gegensatz zu der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht, welche in Fig. 7 gezeigt ist.

[0039] In Fig. 2 ist ein weiterer magnetischer Tunnelkontakt dargestellt. Auch hier erkennt man den Aufbau der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht aus Teilschichten. Zusätzlich sind Defekte 10 in den Teilschichten gezeigt. Durch den Schichtaufbau dehnen sich die Defekte nicht in große Bereiche der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht aus. Außerdem sind sie durch die vorteilhafte Drehung des Target vor einem jeweiligen Sputterprozess von vorneherein an unterschiedlichen Positionen entstanden. Diese kleineren verteilten Defekte wirken sich weniger stark auf die Eigenschaften des Tunnelmagnetowiderstandes aus als die in Fig. 8 gezeigten großen Defekte 100 in einem magnetischen Tunnelkontakt des Standes der Technik.

20 [0040] Die in den nachfolgenden Fig. 3 bis 6 angegebenen Messergebnisse wurden durchweg mit magnetischen Tunnelkontakten aufgenommen, bei denen die Oxidation unter UV-Bestrahlung erfolgt ist. Die dargestellten Vorteile zeigen sich jedoch auch an Tunnelkontakten, bei denen andere Oxidationsverfahren verwendet wurden.

[0041] Fig. 3 zeigt ein Diagramm, in welchem das  $\Delta R/R$ -Verhältnis in % gegen die Spannung am Tunnelkontakt in mV aufgetragen ist. Das  $\Delta R/R$ -Verhältnis wird auch als MR-Wert bezeichnet.  $\Delta R$  gibt hierbei den Widerstandsunterschied zwischen paralleler und antiparalleler Stellung der Magnetisierungen in den ferromagnetischen Schichten an. Die in dem Diagramm eingetragenen Messwerte resultieren aus der Messung des MR-Wertes bei einem magnetischen Tunnelkontakt, in welchem die  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Barriere in vier Schritten hergestellt wurde.

25 [0042] Fig. 4 zeigt ein Diagramm, in welchem eine charakteristische Spannung ( $V_{1/2}$ ) in Abhängigkeit der Zahl der Prozessschritte dargestellt ist, die für die Herstellung der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht verwendet wurde.  $V_{1/2}$  ist die Spannung, bei welcher der MR-Wert auf die Hälfte seines Maximalwertes bei etwa 0 V abgefallen ist. Es ist erkennbar, dass sich diese charakteristische Spannung stetig mit der Anzahl der Prozessschritte erhöht.

[0043] In Fig. 5 ist die Durchbruchspannung ( $V_B$ ) ebenfalls gegen die Zahl der Prozessschritte aufgetragen. Vorliegend wurde eine Gesamtschichtdicke der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht von 1,2 nm deponiert. Die Durchbruchspannung ist auf eine Kontaktfläche von  $180 \mu\text{m}^2$  bezogen. Auch hier ist erkennbar, dass sich die Durchbruchspannung mit der Anzahl der

Prozessschritte deutlich erhöht.

[0044] Fig. 6 zeigt den elektrischen Tunnelwiderstand in Abhängigkeit der Zahl der Prozessschritte, wobei auch hier eine  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht mit einer Dicke von 1,2 nm insgesamt deponiert wurde. Der Tunnelwiderstand nimmt kontinuierlich mit der Zahl der Prozessschritte zu.

[0045] In den Fig. 5 und 6 sind nur Messergebnisse für Prozesse mit 1, 2 oder 3 Prozessschritten dargestellt. Bei einer höheren Anzahl von Prozessschritten setzt sich die positive Entwicklung der Durchbruchspannung und des elektrischen Tunnelwiderstandes fort.

[0046] Die in der vorstehenden Beschreibung, in der Zeichnung sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung wesentlich sein.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen magnetischer Tunnelkontakte, bei dem eine Metallschicht auf eine erste ferromagnetische Schicht aufgebracht wird und die Metallschicht oxidiert wird, wobei die Metallschicht durch das Aufbringen mehrerer Teilschichten aufgebracht wird und jeweils nach dem Aufbringen einer Teilschicht eine Oxidation erfolgt und die Metallschicht durch Sputterposition auf ein Target auf gebracht wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor einem Sputtervorgang die Lage des Target um einen vorbestimmten Betrag verändert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage des Target durch Drehen um einen vorbestimmten Winkel verändert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der vorbestimmte Winkel etwa  $5^\circ$  beträgt.
4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Fertigstellen der oxidierten Metallschicht eine zweite ferromagnetische Schicht aufgebracht wird.
5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als erste ferromagnetische Schicht eine Co-Schicht oder eine NiFe-Schicht verwendet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß als zweite ferromagnetische Schicht eine Co-Schicht oder eine NiFe-Schicht verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß ferromagnetische Schichten mit unterschiedlichen Zusammensetzungen verwendet werden.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Metallschicht eine Al-, Mg-, Hf-, Ta-, Zr-, Y- oder Er-Schicht auf der ersten ferromagnetischen Schicht aufgebracht wird.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Aufbringen von Teilschichten und die Oxidation so häufig durchgeführt werden, daß die Vorgänge quasi-kontinuierlich ablaufen.
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Oxidation an Luft erfolgt.
11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Oxidation als thermische Oxidation in Sauerstoffatmosphäre erfolgt.
12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,

che, dadurch gekennzeichnet, daß die Oxidation als plasmaunterstützte Oxidation in Sauerstoffplasma erfolgt.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Oxidation bei Raumtemperatur erfolgt.

14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Oxidation unter UV-Bestrahlung erfolgt.

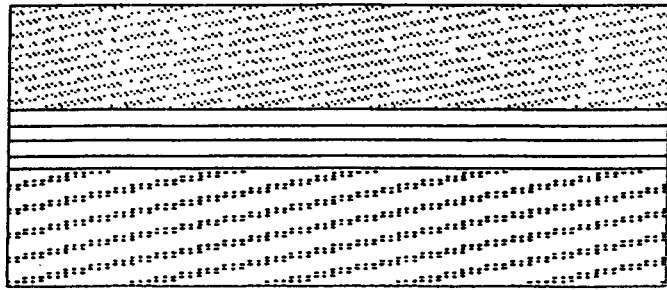
15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Oxidation in-situ erfolgt.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

Fig. 1

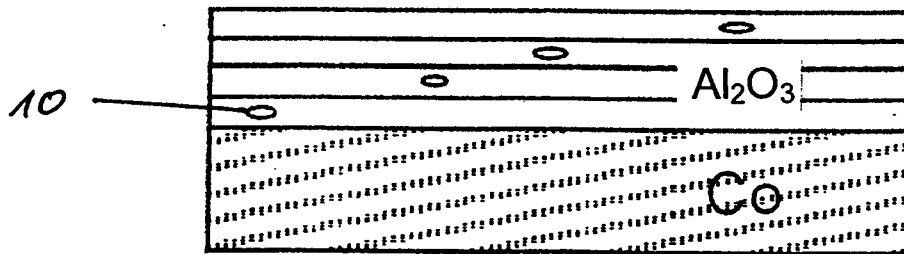


NiFe

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Co

Fig. 2



10

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Co

Fig. 3

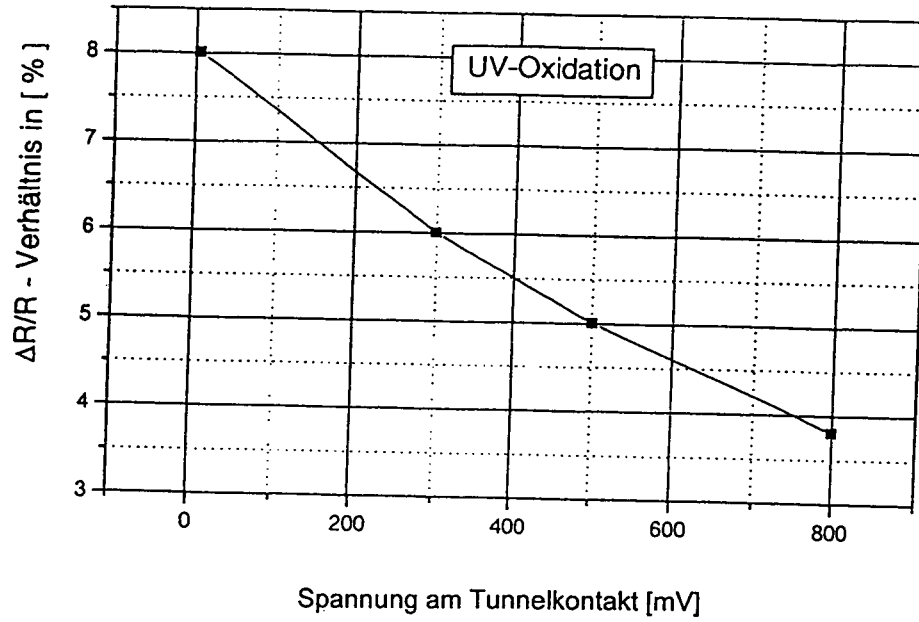


Fig. 4

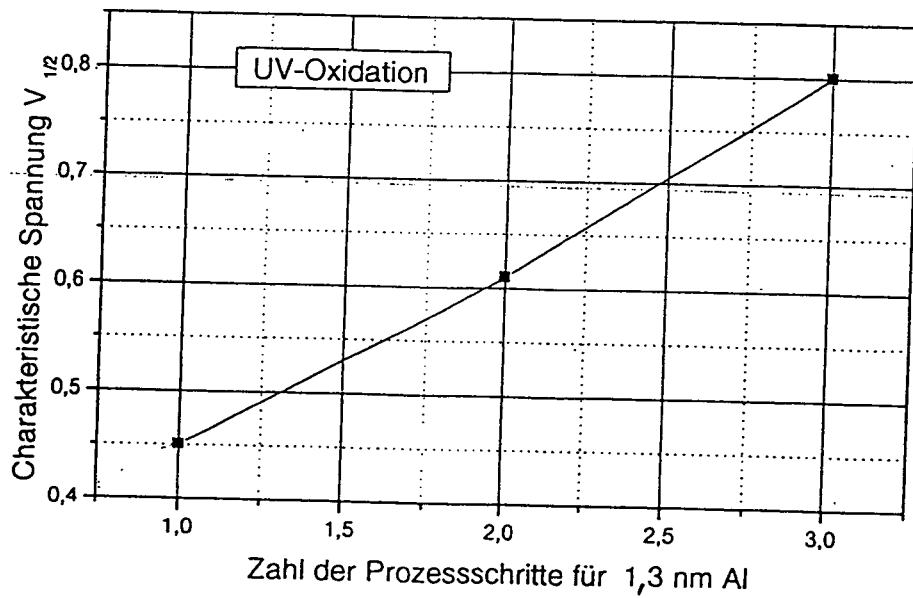


Fig. 5

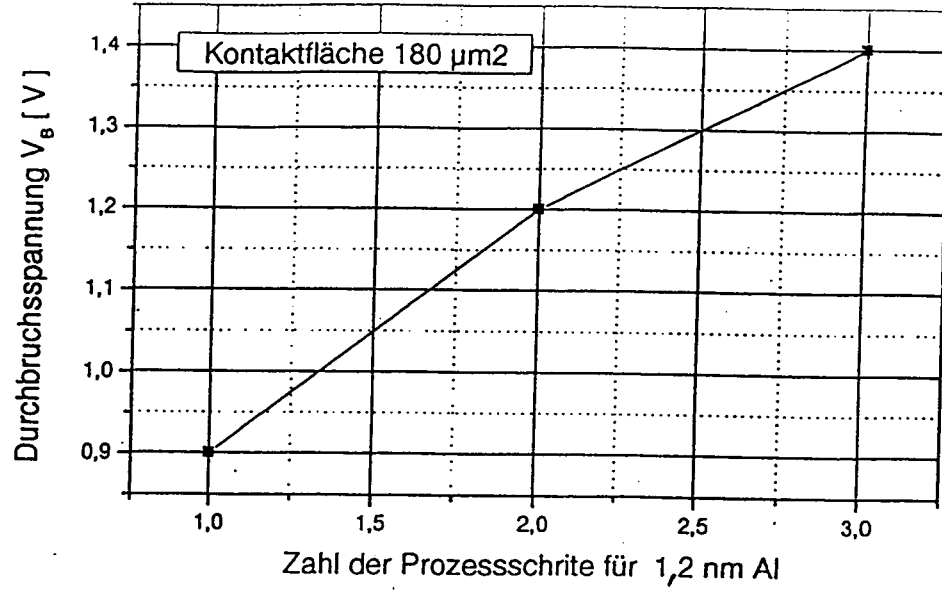


Fig. 6

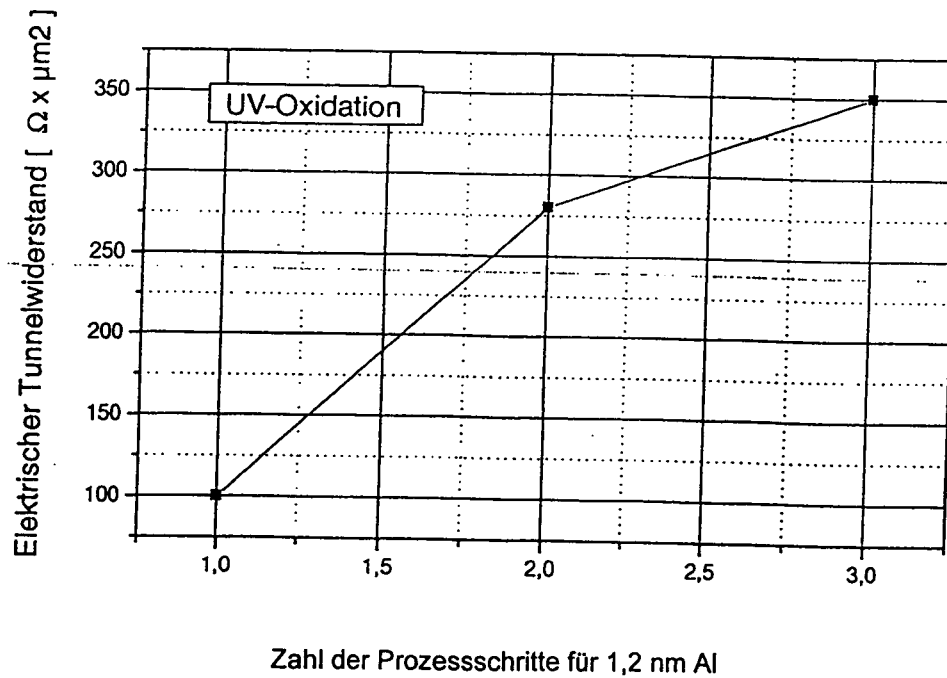


Fig. 7

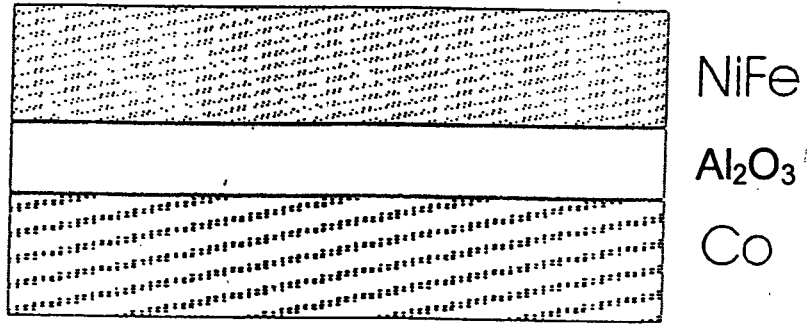


Fig. 8

