



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 051 662 B3 2006.04.20**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2004 051 662.6
(22) Anmeldetag: 22.10.2004
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 20.04.2006

(51) Int Cl.⁸: **B81C 1/00** (2006.01)
B82B 3/00 (2006.01)
H01L 21/768 (2006.01)
G03F 7/00 (2006.01)
G03F 7/09 (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:
**Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24118
Kiel, DE**

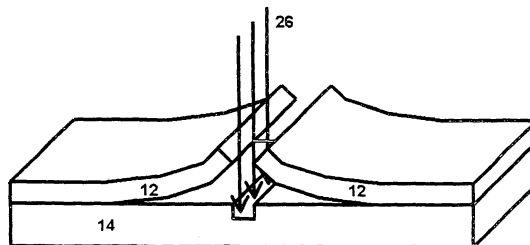
(74) Vertreter:
BOEHMERT & BOEHMERT, 24105 Kiel

(72) Erfinder:
**Adelung, Rainer, 24118 Kiel, DE; Rehders, Stefan,
24232 Schönkirchen, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
US 45 25 919 A
**ADELUNG, R. et al., nature materials, vol.3, june
2004, S.375-379;**
**SAIF, T. et al., Proc. IEEE Micro Electro Mech Syst
MEMS, 2003, Konferenzartikel zu IEEE Sixteenth
Annual International Conference on Micro Electro
Mechanical Systems, Kyoto Japan 19-23 Januar
2003,
S.45-47;**
**KUNZ, R. et al., Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol.
818, 2004, S.139-144;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung von Submikronstrukturen**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Herstellung von Submikronstrukturen unter Nutzung einer Schattenmaske, wobei ein Materialeintrag und/oder Energieeintrag durch die Öffnungen der Schattenmaske erfolgt, mit den Schritten: Aufbringen eines als Schattenmaske dienenden Films aus Maskierungsmaterial auf das Substrat, Erzeugen von Rissen in diesem Film, die bis auf das Substrat reichen, Ablösen von den Rissen eng benachbarten Randbereichen des Films unter Freilegung des Substrats und Einbringen des Materials oder der Energie durch die Rissöffnungen auf das freiliegende Substrat auch unter die abgelösten Randbereiche des Schattenmaskenfilms.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft die Herstellung von Submikronstrukturen, insbesondere von elektronischen Bauelementen mit Abmessungen zwischen einigen Nanometern und wenigen Mikrometern, die Teilkomponenten in Submikrongröße aufweisen (z.B. Elektroden).

[0002] In dem Bestreben, integrierte Schaltungen und elektronische Bauelemente fortwährend zu verkleinern, wenden sich Forschung und Entwicklung mittlerweile den physikalisch kleinsten Mehrkomponentenstrukturen zu. Solche Strukturen bestehen ganz allgemein aus einer Mehrzahl über- und/oder nebeneinander angeordneter Materialansammlungen auf einem Substrat, wobei die Abmessung einer solchen Ansammlung in wenigstens einer Dimension im Submikronbereich liegt, etwa Dünnschichten, Nanodrähte oder Quantumdots. Die Materialien, aus denen die einzelnen Ansammlungen gebildet werden, variieren von Elementmetallen über Halbleiter und Metalloxidkeramiken bis hin zu organischen Verbindungen, z.B. funktionelle oder chemisch stabile Polymere.

[0003] Die präzise Anordnung von verschiedenen Materialkomponenten ist für Vorhersagbarkeit und Reproduzierbarkeit des Verhaltens einer Submikronstruktur wesentlich. Will man beispielsweise zwei elektrisch leitende Nanodrähte – eventuell aus verschiedenen Metallen – mit einem Abstand von wenigen 10 Nanometern zueinander parallel auf einem Substrat anordnen, um sodann ein drittes Material – z.B. ein Dielektrikum – zwischen diesen einzufügen, könnte schon die Fehlplatzierung von ein paar Hundert Metallatomen einen Kurzschluss ermöglichen und die aufwändig erzeugte Struktur unbrauchbar machen.

[0004] Dabei ist bis heute sogar die definierte Anordnung eines einzelnen Nanodrahtes noch längst keine allgemein beherrschte Kunst. Typische Verfahren, die bisher zur Anwendung kommen, zeichnen sich durch extrem hohe Kosten aus, wie z.B. Elektronenstrahl- oder Photolithographie.

[0005] Nanodrähte (auch: Quantendrähte) weisen typisch Längen von etlichen Mikrometern bei Durchmesser im Nanometerbereich auf. Solche Drähte bieten die Möglichkeit, hochempfindliche Sensoren, katalytisch wirksame Oberflächen oder optisch transparente elektrische Leiter herzustellen.

[0006] Das Anordnen oder Ausrichten von Nanodrähten auf einem Substrat ist äußerst schwierig, da kaum geeignete Werkzeuge zur gezielten Manipulation von Nanoteilchen zur Verfügung stehen. Übliche Verfahren zur Mikrostrukturierung wie z.B. Röntgen-Lithographie scheitern bei Quantendrähten dar-

an, dass die benötigten Strukturabmessungen deutlich kleiner als der Strahldurchmesser sind und das Licht nicht ohne weiteres fokussiert werden kann. Viele Verfahren zielen daher auf die Selbstorganisation von Metallatomen oder -clustern auf dem Substrat ab, bei der sich die Drähte von selbst bilden. Dies ist allerdings meist nur unter sehr speziellen Bedingungen zu erreichen.

Stand der Technik

[0007] Der Artikel ADELUNG, R. et al. *nature materials*, Vol. 3, June 2004, S. 375–379 beschreibt einen relativ einfachen Weg, eine Nanostruktur, insbesondere einen Nanodraht, auf ein Substrat zu bringen, wobei dieser einer mikroskopischen Vorstrukturierung folgt. Dazu wird das Substrat zunächst nasschemisch oder durch Aufdampfen beschichtet, z.B. mit einem spröden Oxidfilm oder einem Polymer, und im Anschluss werden gezielt Risse in dieser Schicht erzeugt, die bis auf das Substrat reichen. Zum Beispiel mittels Dampf Abscheidung („Vapour Deposition“) werden schließlich z.B. Metallatome auf das Substrat mit dem gerissenen Film gebracht, wobei sich nur im Bereich der Risse drahtförmige Metallansammlungen direkt auf dem Substrat ausbilden können. Gegebenenfalls kann der Film entfernt werden, so dass nur diese Nanodrähte zurück bleiben. Je nach vorgezeichneter Rissstruktur lassen sich so auch komplexere Nanodrahtnetzwerke herstellen, z.B. ein Rechteckgitternetz.

[0008] Das in dem o.g. Artikel vorgestellte Verfahren eignet sich zwar auch zur gleichzeitigen Verwendung mehrerer Materialien, beispielsweise zur Erzeugung von Legierungsdrähten aus Elementmetallen. Will man aber wie im obigen Beispiel zwei parallel verlaufende, voneinander elektrisch isolierte Metalldrähte schaffen, so werden diese entsprechend der auf die Mikroskala begrenzten Strukturierungsmöglichkeiten etliche 100 Nanometer Abstand zueinander aufweisen.

[0009] Ein besserer Ansatz, mit Methoden der Mikrostrukturierung unmittelbar benachbarte Submikronstrukturen herzustellen, ist in der US 4 525 919 offenbart. Dabei wird das Substrat mit einer Schattensmaske versehen und unter einem Winkel gegen die Substratnormale mit Material besputtert. Die Schattensmaske wird durch eine Aussparung in einer das Substrat bedeckenden Maskierungsschicht realisiert, wobei der freiliegende Substratbereich zusätzlich von einer die erste Maskierungsschicht überlappenden zweiten Schicht abgeschattet wird. Die effektive Maskenöffnung ist somit kleiner als der freiliegende Substratbereich. Materialeintrag unter einem Winkel kann nur zu einer teilweisen Bedeckung des Substrats führen. Ändert man den Winkel, werden andere Bereiche des „Schattenraumes“ auf dem Substrat bedeckt. Insbesondere können so parallel verlaufen-

de, separate Nanodrähte erzeugt werden.

[0010] Die Problematik dieses Verfahrens liegt allerdings in der erforderlichen Herstellung der Schattenmaske. Die US 4 525 919 sieht eine Kombination aus epitaktischem Wachstum der Maske und selektivem Ätzen zum Freilegen des Substrats in einem definierten Bereich vor. Derartige Maßnahmen sind kompliziert zu steuern, zeitintensiv und somit für eine Massenfertigung kaum geeignet.

Aufgabenstellung

[0011] Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren anzugeben, mit dem sich Submikronstrukturen nach dem beschriebenen Konzept der Schattenmaske in einfacher Weise erzeugen lassen.

[0012] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Hauptanspruchs. Die Unteransprüche geben vorteilhafte Ausbildungen des Verfahrens an.

[0013] Die Erfindung geht von dem in dem o.g. Artikel ausführlich beschriebenen Verfahren der kontrollierten Rissbildung aus, mit dem gezielt Schablonen („templates“) für Nanodrähte erzeugt werden können. Insbesondere weist die Erfindung auch alle dort erläuterten Vorteile auf.

[0014] Als Fortentwicklung des Verfahrens in diesem Artikel wird nun ein Maskierungsmaterial verwendet, in dem sich leicht Risse hervorrufen lassen, das nur schwach am Substrat haftet und das vor allem zur Ausbildung einer Zugspannung an der Maskenoberfläche neigt. Dies ist etwa der Fall, wenn die einzelnen Partikel der Maskenschicht an der Grenzfläche zum Substrat gezwungen sind, zueinander einen größeren Abstand als im Volumen des Maskenmaterials einzunehmen. Die Maskenschicht zieht sich dann mit wachsender Schichtdicke bevorzugt an der Oberfläche zusammen, wenn ihr dies gestattet wird.

[0015] Dies hat aber zur Folge, dass bei einer Rissbildung bis auf das Substrat Kräfte im Maskierungsfilm entstehen, die das teilweise Aufrollen des Filmes in unmittelbarer Nachbarschaft eines Risses begünstigen. Ist die Haftung des Filmes am Substrat nicht zu hoch, wird sich ein ausreichend dicker Film ausgehend vom Riss ablösen und anheben (Delaminierung). Dies geschieht an beiden gegenüberliegenden Filmkanten entlang des Risses, bleibt aber auf einen Nahbereich um den Riss begrenzt, d.h. der Film hebt sich nur lokal ab. Sowohl das Ausmaß der Delaminierung als auch die Rissbreite können über die Materialparameter des Dünnsfilmes kontrolliert werden, wie z.B. die Filmdicke, Grenzflächenhaftung und -spannung. Hierzu kann ein Material auch gezielt beeinflusst werden, etwa durch Tempern oder Bestrah-

lung. Als Beispiele sind amorpher Kohlenstoff oder getemperter – und dadurch brüchig gewordener – Photolack (PMMA) zu nennen.

[0016] Es wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, die abgelösten Filmkanten nun als Öffnung einer Schattenmaske zu nutzen, durch die Material und/oder Energie ggf. unter einem Winkel auf das gerade freigelegte Substrat eingetragen werden kann.

Ausführungsbeispiel

[0017] Die Erfindung wird im Folgenden näher erläutert und anhand eines Ausführungsbeispiels verdeutlicht. Dazu dienen die folgenden Figuren:

[0018] [Fig. 1](#) zeigt eine Skizze der erfindungsgemäß erzeugten Schattenmaske zur Herstellung von Nanostrukturen;

[0019] [Fig. 2](#) zeigt das Prinzip und ein realisiertes Beispiel für parallel verlaufende Nanodrähte (Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme);

[0020] [Fig. 3](#) stellt ein Fertigungskonzept für nanoskalige Feldeffekttransistoren (nano-FET) mit den Mitteln der Erfindung dar;

[0021] [Fig. 4](#) zeigt die Möglichkeit auf, mit Schattenmasken gezielt Material aus dem Substrat zu entfernen;

[0022] [Fig. 5](#) stellt eine Ausgestaltung der Erfindung dar, bei der a) zuerst der Maskenfilm entlang definierter Linien abgelöst wird und dann b) durch Rissbildung entlang der Filmwölbung eine Schattenmaske analog zu [Fig. 1](#) entsteht.

[0023] Die kontrollierte Rissbildung in der Maskierungsschicht mit anschließender Teilablösung der Schicht führt, wie [Fig. 1](#) verdeutlicht, unmittelbar auf eine Schattenmaskierung des Substrats. Eine relativ schmale Durchlassöffnung wird in einigem Abstand zum Substrat über einer deutlich breiteren, freigelegten Substratfläche gebildet. Es ist dabei ein besonderer Vorzug des Verfahrens, dass der sich aufrollende Maskierungsfilm Verunreinigungen an der Substratoberfläche i. a. bindet und mit abhebt. Die „Arbeitsfläche“, auf der Nanostrukturen erzeugt werden sollen, weist gewissermaßen die maximale Sauberkeit unmittelbar nach der Filmablösung auf und hat ideale Abmessungen um äußerst scharfe Schattenkanten zu produzieren, da sich die Maske im (Sub)mikrometerebereich über der Arbeitsfläche befindet.

[0024] Bezugszeichen 10 bezeichnet den Hohlraum zur Strukturierung, Bezugszeichen 12 den delaminierten Dünnsfilm, 14 das Substrat.

[0025] Die durch Delaminierung gebildete Schatten-

maske lässt die Nutzung aller bekannten Vorteile der Schattenmaskentechnik zu. Insbesondere können gleichzeitig oder nacheinander verschiedene Materialien unter variablen Winkeln eingetragen werden, um Mischsubstanzen oder solche mit Gradienten in der Zusammensetzung herzustellen. Auch das eingangs geschilderte Problem paralleler, separierter Drähte ist behandelbar, wie [Fig. 2](#) zeigt. Zwei Materialien A und B werden nacheinander unter wesentlich verschiedenen Eintragswinkeln auf die Arbeitsfläche gebracht und lassen ggf. einen Zwischenraum unbedeckt. Die Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme zeigt eine Realisierung zweier eher dicker Drähte.

[0026] Es sollte darauf hingewiesen werden, dass in der schematischen Skizze der [Fig. 2](#) zur Verdeutlichung auf Maßstabstreuung verzichtet wurde. Die unten liegende Maskierungsschicht ist normalerweise sehr viel dicker als etwa die Materialschichten A und B, die während der Nanodrahterzeugung entstehen. Gleichwohl kann sich die Ablagerung zusätzlichen Materials auf den bereits abgelösten Film dahingehend auswirken, dass sich die Kräfte im Film ändern, die das Aufrollen bewirken. Neben der unabsichtlichen Änderung der Schattenmaskenöffnung, die man zu erwägen hat, bietet dieser Umstand natürlich auch die Möglichkeit, den Öffnungsdurchmesser in gewissen Grenzen zu kontrollieren.

[0027] Bezugszeichen 16 bezeichnet Metall A, 18 Metall B (Nanodrähte).

[0028] Ein Beispiel hierfür wäre etwa die zusätzliche Deponierung von Maskenmaterial auf dem bereits abgelösten Film, um die Öffnung nachträglich zu verändern.

[0029] Die Kontrolle der Kräfte im Maskenfilm ist aber vorzugsweise so auszugestalten, dass die Kraftereinwirkung von außen auf den Film beliebig steuerbar ist und ohne den zusätzlichen Eintrag von Material erfolgen kann.

[0030] Eine einfache Möglichkeit liegt in der Beimengung magnetischer Partikel zum Maskierungsmaterial, die im aufgetragenen Film durch ein externes Magnetfeld ausgerichtet werden können. Wenn sich die gegenüberliegenden Kanten des gerissenen Filmes z.B. magnetisch abstoßen, wird die Schattenmaske weiter geöffnet.

[0031] Man kann dem Maskenmaterial ebenso Partikel hinzufügen, die bei Energiezufuhr hohe thermische Ausdehnung oder Schrumpfung aufweisen oder eine Ausdehnungsänderung durch Licht zeigen wie z.B. die in wieder beschreibbaren CDs verwendeten Azobenzole. Dabei kann es zweckmäßig sein, sie während der Maskierung flächig und selektiv in bestimmten Schichten der Maske anzuordnen, insbesondere an der Oberfläche. Falls sich beispielsweise

in erster Linie die Maskenoberfläche unter Beleuchtung ausdehnt, nimmt die Öffnungsbreite der Schattenmaske wieder ab.

[0032] Es soll besonders betont werden, dass das hier vorgeschlagene Verfahren im Gegensatz zur Schattenmasken-Methode mit Epitaxie und Ätzung die interessante Möglichkeit bietet, die Öffnung der Schattenmaske weitestgehend wieder zu verschließen, da ja kein Material entfernt wird. Somit ist es prinzipiell möglich, sehr komplexe Nanostrukturen zu realisieren, etwa eine Reihe breiterer Drähte nebeneinander auf dem Substrat mit darauf angeordneten schmalen Kontakten.

[0033] Ein gutes Ausführungsbeispiel für eine komplexere Nanostruktur, die sich nach dem hier vorgestellten Verfahren leicht herstellen lässt, ist ein nanoskaliger Feldeffekttransistor (nano-FET). In den [Fig. 3a](#) bis g) sind die einzelnen Fertigungsschritte skizziert:

[Fig. 3a](#) zeigt Substrat und Maskierungsfilm (hier mit Riss und Ablösung) in Seitenansicht und Aufsicht. Die Aufsicht lässt erkennen, dass sich der Film nur über einen Mittelbereich des Substrats erstreckt; zwei Substratränder sind frei geblieben durch Abdeckung beim Auftragen der Maske.

[0034] In [Fig. 3b](#)) und c) wird je einer der zuvor frei gebliebenen Substratränder mit einer temporären Maske abgedeckt, und es wird Metall je unter einem Winkel durch die Schattenmaske auf das Substrat gebracht. Es entstehen parallele, separate Drähte im Schattenraum der Maske, von denen jeder zu einer der beiden metallisierten Flächen am Substratrand elektrischen Kontakt hat. Diese Kontaktflächen fungieren als Zuleitungen zu den Nanodrähten, die mit konventioneller Technik gebondet werden können.

[0035] [Fig. 3d](#)) und e) zeigen das großflächige Aufbringen eines Halbleitermaterials 20 und das Entfernen der Maskenschicht. Zurück bleibt das Substrat mit den Randkontakten, zwei Nanodraht-Metallektroden („Source“ und „Drain“) und einem dazwischen liegenden Halbleiter-Nanodraht, wie [Fig. 3f](#)) verdeutlicht.

[0036] Der nano-FET wird in [Fig. 3g](#)) vervollständigt, indem quer über die Nanodrahtanordnung zunächst eine Isolatorschicht 22 und zuletzt eine Metallschicht 24 (kein Nanodraht) gelegt werden. Letztere ist die Gate-Elektrode, über deren Potenzial die Ladungsträgerdichte im Halbleiterdraht gesteuert wird.

[0037] Schließlich zeigt [Fig. 4](#) noch eine weitere interessante Variante der Herstellung von Submikronstrukturen mit Schattenmasken auf. Mittels eines Ionenstrahls werden Teile des Substrats durch Sputtern herausgelöst, und es entstehen grabenartige Strukturen. Auch hier kann der Ionenbeschuss unter

definierten Winkeln und für definierte Zeiträume erfolgen, um die Morphologie der Gräben genau zu kontrollieren. Die Maskenschicht muss dazu natürlich gegen den Partikelstrahl 26 (Atome; Photonen, Elektronen...) unempfindlich sein.

[0038] Das technologische Potenzial zur Erzeugung komplexer Submikronstrukturen mittels Schattenmasken ist anhand voran stehender Beispiele deutlich und dem Fachmann im großen und ganzen bekannt. Durch vielfältige Kombinationsmöglichkeiten aus Materialien, Grabenstrukturen und präzisen Kontaktierungen sind neben einem nano-FET noch viele andere Bauelemente an der Grenze zur atomaren Skala realisierbar.

[0039] Der Fachmann weiß aber auch, dass angemessene Schattenmasken bislang nur mit erheblichem Aufwand und nicht ohne weiteres für Massenprodukte zur Verfügung gestellt werden können.

[0040] Die vorliegende Erfindung schafft hier Abhilfe, indem sie lehrt, einen ohnehin vorhandenen Effekt – nämlich die oft als störend angesehene Rissbildung und Ablösung von Filmen – systematisch zu begünstigen und auszunutzen.

[0041] Für die Realisierung des hier beschriebenen Verfahrens kommt es darauf an, dass ein Maskenfilm auf dem Substrat geschaffen wird, der sich lokal einreißen und ablösen lässt. Doch die Reihenfolge dieser Schritte ist für das Ergebnis unwesentlich, wie anhand von Fig. 5 verdeutlicht wird.

[0042] Bringt man die Maske auf ein zunächst erwärmtes Substrat (z.B. Silizium, 150 °C) und schreckt man dieses hiernach ab (z.B. durch Flüssigstickstoffbedampfung), so bilden sich Auswölbungen entlang der schwächsten Stellen im Film, wobei der Film zugleich vom Substrat abgelöst wird (Fig. 5a). Eine sehr spröde Maske wird bereits bei der Ausbildung der Wölbungen Risse im Bereich der kleinsten Krümmungsradien ausbilden, also auf den Wölbungskämmen (Fig. 5b). Ansonsten kann man durch zusätzliche Zugspannung die Rissbildung auch nach der Filmablösung noch befördern.

[0043] Der Verlauf der Wölbungen kann prinzipiell genauso wie der Verlauf von Rissmustern durch eine Vorstrukturierung der Maske auf der Mikroskala (siehe ADELUNG, R. et al. nature materials, Vol. 3, June 2004, S. 375–379 für Beispiele) gesteuert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Submikronstrukturen unter Nutzung einer Schattenmaske, wobei ein Materialeintrag und/oder Energieeintrag durch die Öffnungen der Schattenmaske erfolgt, mit den folgenden Schritten

- Aufbringen eines als Schattenmaske dienenden Films aus Maskierungsmaterial auf das Substrat,
- Erzeugen von Rissen in diesem Film, die bis auf das Substrat reichen,
- Ablösung von den Rissen eng benachbarten Randbereichen des Films unter Freilegung des Substrats und
- Einbringen des Materials und/oder der Energie durch die Rissöffnungen auf das freiliegende Substrat auch unter die abgelösten Randbereiche des Schattenmaskenfilms.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Aufbringen des Films dem Maskierungsmaterial Partikel beigemischt werden, die ihre geometrische Form infolge eines Energieeintrags ändern können.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass Partikel mit einem durch Energieeintrag veränderlichen Volumen eingesetzt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Energie in Form von Licht in die Partikel eingetragen wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass magnetische Partikel dem Maskierungsmaterial beigemischt werden.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Öffnungsbreite der Schattenmaske während des Herstellens der Submikronstruktur gezielt verändert wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine gesteuerte Beleuchtung des Filmes auf dem Substrat erfolgt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein gesteuertes Magnetfeld auf den Film im Bereich der Risse einwirkt.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

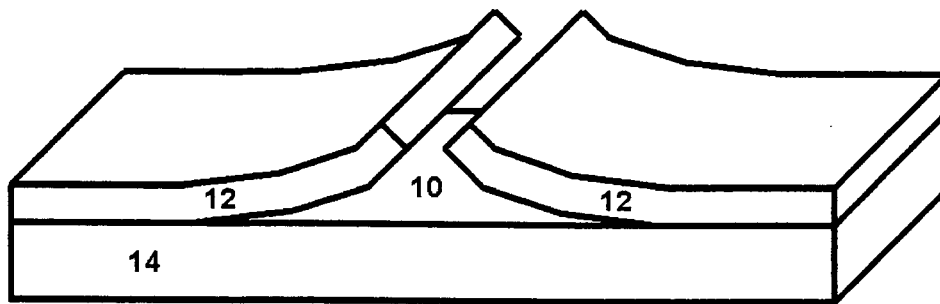


Fig. 1

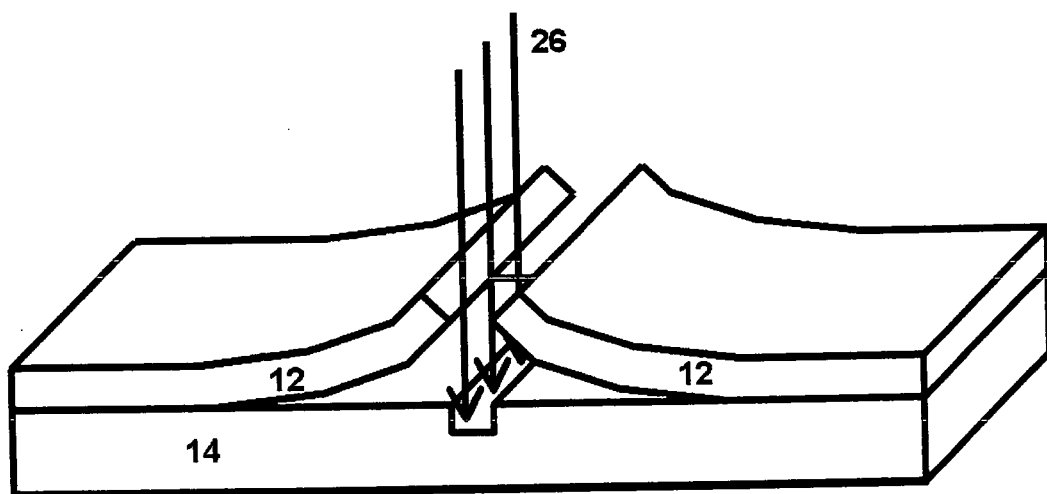


Fig. 4

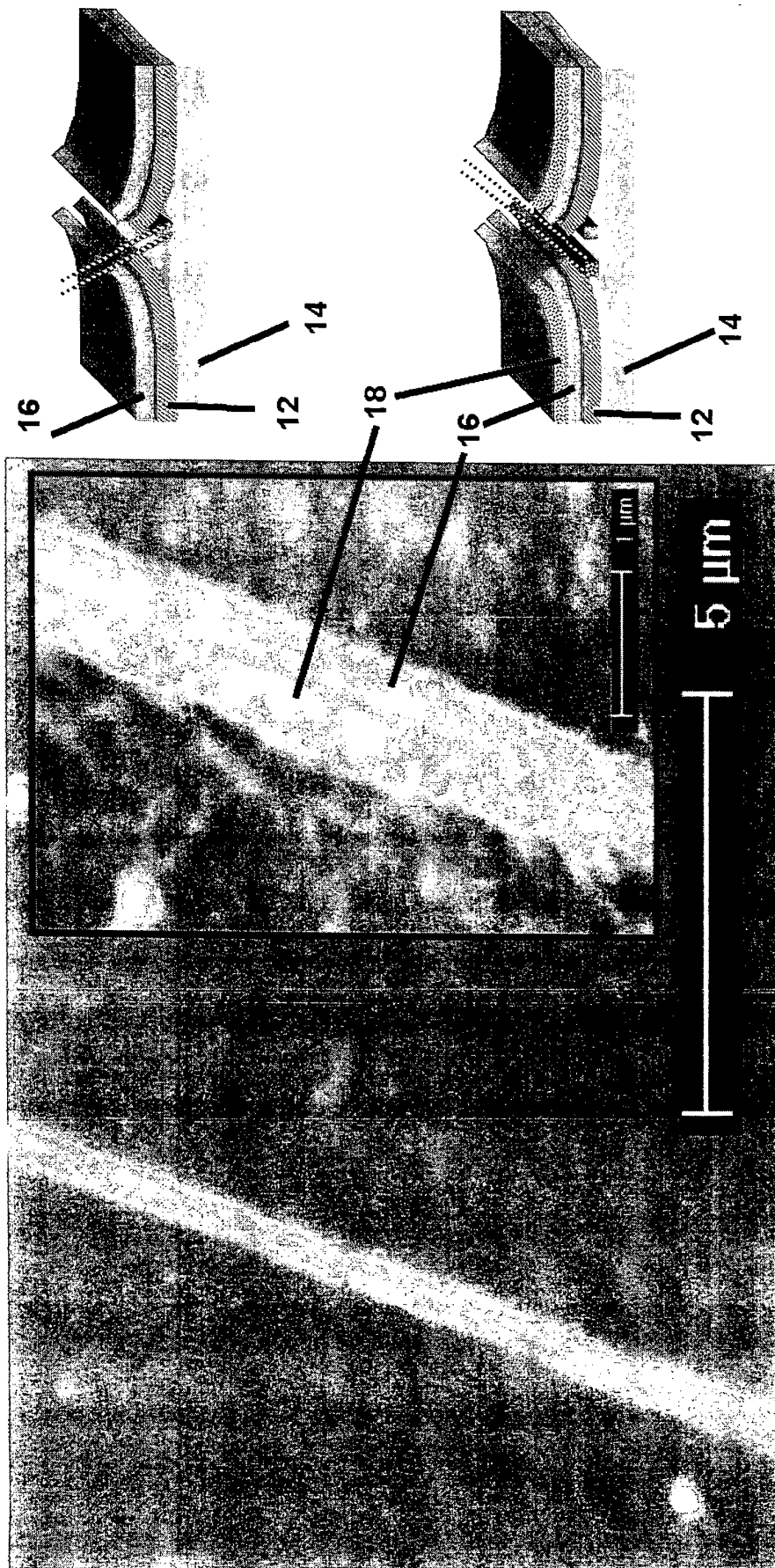


Fig. 2

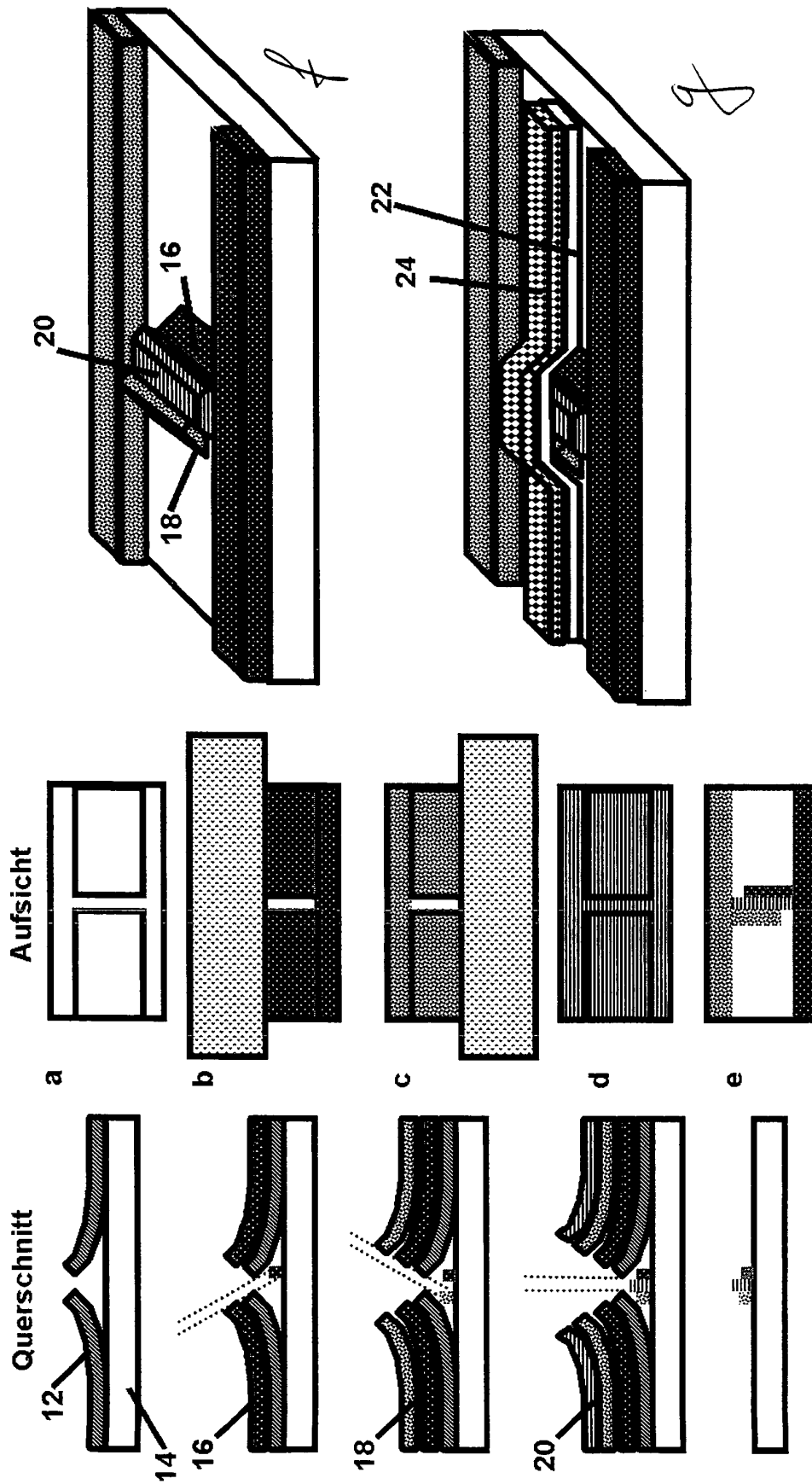


Fig. 3

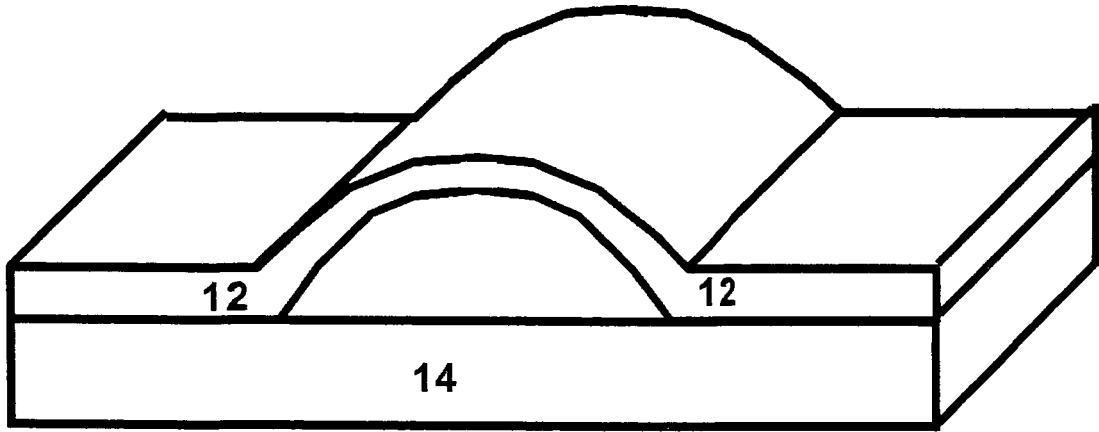


Fig. 5 a)

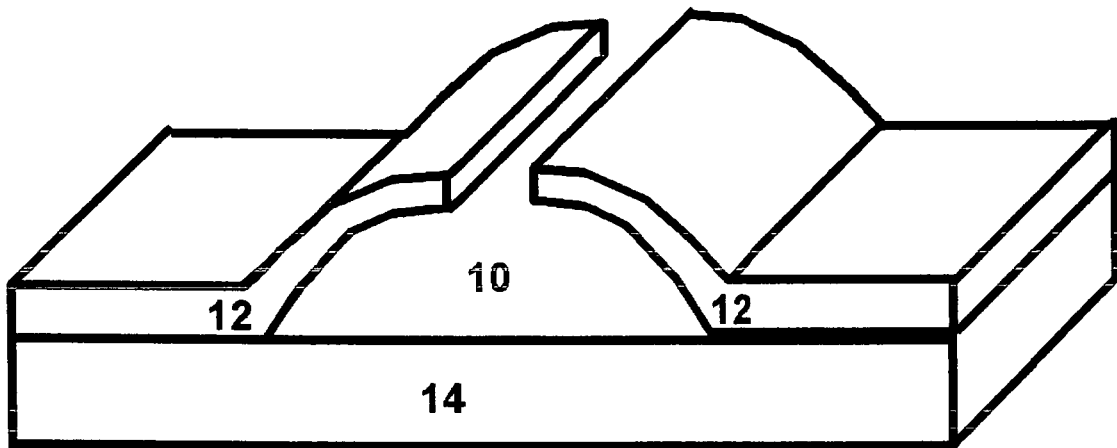


Fig. 5 b)