



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



⑪ Veröffentlichungsnummer: **0 618 605 A1**

⑫

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

⑬ Anmeldenummer: **94103619.6**

⑭ Int. Cl. 5: **H01J 9/02, H01J 1/30,  
H01J 21/10**

⑮ Anmeldetag: **09.03.94**

⑯ Priorität: **02.04.93 DE 4310909**

⑰ Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**05.10.94 Patentblatt 94/40**

⑱ Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB IT**

⑲ Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
Wittelsbacherplatz 2  
D-80333 München (DE)**

⑳ Erfinder: **Stengl, Reinhard, Dr., IBM Fishkill  
Facility  
1580 Route 52,  
Bldg. 630-1,  
ZIP 33 A  
Hopewell Junction, N.Y. 12533 (US)**  
Erfinder: **Hönlein, Wolfgang, Dr.  
Ludwig-Thoma-Strasse 60  
D-82008 Unterhaching (DE)**

### ⑳ Verfahren zur Herstellung stabförmiger Siliziumstrukturen.

⑳ Verfahren zur Herstellung stabförmiger oder zylindrischer Strukturen im nm-Bereich auf einem Substrat (1) aus Silizium, bei dem in dem Loch einer Maskenschicht (2) aus Oxid ein erster Zylinder (3) aus Silizium selektiv epitaktisch abgeschieden wird, die Maskenschicht (2) entfernt wird, das Silizium zu einer Oxidschicht (4) einer solchen Dicke (d) oxidiert wird, daß von dem ersten Zylinder (3) der Höhe (h) ein dünnerer zweiter Zylinder (5) mit praktisch derselben Höhe (H) übrig bleibt und bei dem in einem letzten Schritt diese Oxidschicht (4) entfernt wird, so daß der zweite Zylinder (5) einen freistehenden Siliziumstab auf der Oberfläche des Substrates (1) bildet.

FIG 1

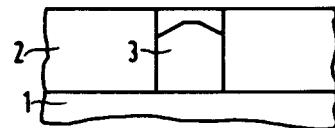
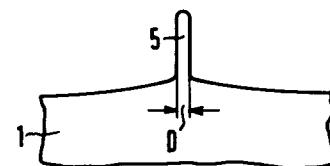


FIG 4



Die vorliegende Erfindung betrifft ein Herstellungsverfahren für stabförmige Siliziumstrukturen im nm-Bereich, insbesondere für die Herstellung von Feldemissionselektroden.

Im Bereich der Mikroelektronik ist es vielfach erforderlich, zylindrische oder stabförmige Strukturen im nm-Bereich herzustellen. Solche Strukturen sind z. B. insbesondere bei der Feldemission-Mikroskopie erforderlich. Ein Kaltkathoden-Feldemitter erfordert Strukturen in der Größe weniger Nanometer. Ab Durchmessern von vier nm sind auch Anwendungen für Quantenbauelemente, z. B. Lumineszenzstrukturen, denkbar. In der Veröffentlichung von T. Utsumi in IEEE Transactions on Electron Devices 38, 2276 bis 2283 (1991) sind die Gütefaktoren verschiedener Kaltkathoden-Emissionsspitzen in Abhängigkeit von ihrer geometrischen Form, in bezug auf ihre Stromergiebigkeit bei einer bestimmten elektrischen Spannung miteinander verglichen. Als ideale Geometrie für eine Feldemissionsspitze ergibt sich ein an der Spitze abgerundeter Zylinder. Eine solche Struktur ist den bisher verwendeten kegelförmigen Emittoren sowohl in bezug auf ihre Stabilität als auch in der Stromergiebigkeit um einen Faktor 3 bis 10 überlegen. Statt der bisher verwendeten kegelförmigen Emittoren, die z. B. durch Ätzen, spezielle Aufdampftechniken oder selektive Epitaxie erzeugt werden, werden daher in Zukunft zunehmend zylindrische Strukturen Bedeutung erlangen. Bekannt ist das Zuspitzen solcher Strukturen auf Silizium in einem Oxidationsprozeß, wobei die anisotrope Oxidation an Kanten und Spitzen ausgenutzt wird.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Herstellungsverfahren für stabförmige oder zylinderförmige Strukturen im nm-Bereich, insbesondere für die Herstellung von Feldemitterelektroden anzugeben.

Diese Aufgabe wird mit dem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Das erfindungsgemäße Verfahren löst die Aufgabe dadurch, daß zunächst eine zylinderförmige Struktur aus Silizium auf einem Siliziumsubstrat erzeugt wird und nachfolgend deren Durchmesser in Ätz- oder Oxidationsschritten verkleinert wird. Der Durchmesser wird hierbei mit der doppelten Ätz-, bzw. Oxidationsrate verkleinert, während sich die Höhe des ursprünglichen Zylinders nur unwesentlich ändert. Nach dem Entfernen der Oxidschicht verbleibt daher ein sehr dünner Zylinder etwa derselben Höhe auf dem Siliziumsubstrat. Dieses Verfahren ermöglicht es daher, stabförmige Strukturen herzustellen, die wesentlich höher sind als ihr Durchmesser. Aufgrund der gewölbten Oberseite des ursprünglichen Zylinders und der Eigenschaften des Oxidationsprozesses ergibt sich

dieser gedünnte Zylinder von selbst mit einer gerundeten Spitze.

Es folgt eine Beschreibung dieses erfindungsgemäßen Verfahrens anhand der Figuren 1 bis 8.

- 5 Fig. 1 bis 4 zeigen einen Ausschnitt aus der Oberfläche des Siliziumsubstrates nach verschiedenen Verfahrensschritten im Querschnitt.
- 10 Fig. 5 bis 8 zeigen entsprechende Ausschnitte nach verschiedenen Verfahrensschritten bei der Herstellung speziell einer Triodenstruktur.

Bei dem grundlegenden Verfahren der vorliegenden Erfindung wird von einem Substrat 1 aus Silizium ausgegangen (s. Fig. 1). Auf diesem Substrat 1 wird eine Maskenschicht 2 hergestellt. Diese Maskenschicht 2 kann z. B. ein Oxid, insbesondere z. B.  $\text{SiO}_2$ , sein. Im Prinzip ist aber jedes Material, das bezüglich Silizium selektiv ätzbar ist, als Material für diese Maskenschicht 2 geeignet. In dieser Maskenschicht 2 ist z. B. durch Ätzen mittels Maskentechnik ein Loch hergestellt, das die Oberfläche des Substrates 1 freilegt. Eine typische Abmessung für dieses Loch ist  $0,05 \mu\text{m}$  bis  $0,5 \mu\text{m}$  Durchmesser. In dieses Loch wird dann epitaktisch und selektiv Silizium abgeschieden, das in diesem Loch bis zur Höhe eines ersten Zylinders 3 aufwächst. Danach wird das Material der Maskenschicht 2 zumindest in dem Bereich um diesen ersten Zylinder 3 herum entfernt, z. B. durch Abätzen. Es bleibt der erste Zylinder 3 als freistehendes Türmchen aus Silizium mit einer Höhe  $h$  von typisch etwa  $0,5 \mu\text{m}$  übrig (s. Fig. 2). Durch eine anschließend durchgeführte thermische Oxidation wird der Durchmesser dieses ersten Zylinders 3 so stark verkleinert, daß davon nur ein zweiter Zylinder 5 wie in Fig. 3 übrig bleibt. Das übrige Material des ersten Zylinders 3 ist als Oxid bis zu der in Fig. 3 gezeichneten Kontur aufgequollen. Die Höhe  $H$  des zweiten Zylinders 5 aus Silizium ist näherungsweise gleich der Höhe  $h$  des ersten Zylinders 3. Durch geeignete Einstellung der Dicke  $d$  der sich ergebenden Oxidschicht 4 kann die Dicke des zweiten Zylinders 5 entsprechend den Vorgaben bemessen werden. Der Abstand der Mäntel des ersten Zylinders 3 und des zweiten Zylinders 5 beträgt etwa das 0,45-fache der eingezeichneten Dicke  $d$  der Oxidschicht 4, was sich aus der Volumenänderung des Siliziums bei der Oxidation ergibt. Daher wird der Durchmesser des ersten Zylinders 3 durch diesen Oxidationsschritt um etwa das 0,9-fache der Dicke  $d$  der entstehenden Oxidschicht 4 verkleinert. Durch Kontrolle der Prozeßparameter bei dieser Oxidation kann die Dicke  $d$  der Oxidschicht 4 eingestellt werden und damit der Durchmesser des hergestellten zweiten Zylinders 5 die vorgesehene Abmessung (Durchmesser  $D$ ) er-

halten. In Fig. 3 ist zur Verdeutlichung die Kontur des ersten Zylinders 3 zusammen mit einem Anteil der Substratoberfläche aus Fig. 2 mit eingezeichnet. In Fig. 4 ist das Resultat dieses Oxidationsprozesses nach dem Entfernen der Oxidschicht 4 dargestellt. Wie erkennbar, erhält man mit dem erfindungsgemäßen Verfahren einen sehr dünnen Stab aus Silizium mit verrundeter Spitze.

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich insbesonder zur Herstellung einer Triodenstruktur. Dabei wird wie bei dem Verfahrensschritt der Figur 1 Silizium selektiv im Loch einer Maskenschicht 2 abgeschieden. Diese Maskenschicht 2 ist hier zusätzlich mit einer Deckschicht 6, wie in Fig. 5 dargestellt bedeckt. Diese Deckschicht ist im Bereich des Loches der Maskenschicht 2 offen. Diese Öffnung kann z. B. zusammen mit der Strukturierung der Maskenschicht 2 durch eine auf die Deckschicht 6 aufgebrachte Maske durch Ätzen hergestellt werden. Als Materialien kommen z. B. für die Maskenschicht 2 Oxid und für die Deckschicht 6 Nitrid in Frage. Wesentlich bei der Wahl der Materialien ist, daß die Maskenschicht 2 in einem nachfolgenden Verfahrensschritt selektiv bezüglich des Siliziums des ersten Zylinders 3 und bezüglich der Deckschicht 6 geätzt werden kann. Außerdem muß das Material der Deckschicht 6 gegenüber dem nachfolgenden Oxidationsschritt resistent sein und muß bezüglich Silizium selektiv ätzbar sein. Typische Schichtdicken sind z. B. 500 nm für die Maskenschicht 2 und 100 nm für die Deckschicht 6. Bedingungen für die epitaktische Abscheidung des Siliziums sind z. B. in der EP 0 493 676 A1 angegeben.

Nach der Epitaxie wird das Material der Maskenschicht 2 im Loch unterhalb der Deckschicht 6 selektiv und isotrop unterätzt, wie in Fig. 6 dargestellt ist. Danach wird der zu Figur 3 analoge Oxidationsschritt ausgeführt. Dabei wird die Oxidation aber so lange durchgeführt, bis die entstehende Oxidschicht 4 zumindest näherungsweise bis zur Höhe des oberen Randes der Deckschicht 6 reicht. Es ergibt sich so durch die Oberseite der Deckschicht 6 und die Oberseite der Oxidschicht 4 eine näherungsweise ebene Fläche, auf die im folgenden weitere Schichten aufgebracht werden können. Durch geeignete Wahl der Schichtdicken und der Höhe des ersten Zylinders 3 können gleichzeitig die geforderten Abmessungen des übrig bleibenden zweiten Zylinders 5 eingehalten werden. In weiteren Verfahrensschritten werden eine elektrisch leitende hoch dotierte Schicht 7 und eine Isolatorschicht 8 aufgebracht. Die hoch dotierte Schicht 7 ist z. B. Polysilizium, während die Isolatorschicht 8 ein Oxid, z. B.  $\text{SiO}_2$ , oder Borphosphorsilikatglas (BPSG) sein kann. Die hoch dotierte Schicht 7 (Dotierungshöhe z. B.  $10^{20} \text{ cm}^{-3}$  mit Phosphor als Dotierungsstoff) dient als Gate-

Elektrode der herzustellenden Triodenstruktur. Die Isolatorschicht 8 wird z. B. mittels CVD (Chemical Vapor Deposition) hergestellt. Figur 7 zeigt die entstandene Struktur. Um den gedünnten zweiten Zylinder 5, der die Silizium-Elektrode bilden soll, freizulegen, wird in Fototechnik eine Maske hergestellt, die für einen anschließenden mehrstufigen, anisotropen Trockenätzprozeß dient. Dabei wird die Schichtfolge wie in Fig. 8 gezeigt ausgeätzt. In einem Bereich um den zweiten Zylinder 5 ist das Oxid der Oxidschicht 4 und das Material der Deckschicht 6, der hochdotierten Schicht 7 und der Isolatorschicht 8 entfernt. Der Trockenätzprozeß ist selektiv zu Silizium, so daß der hergestellte zweite Zylinder 5 aus Silizium stehen bleibt. Die Struktur der Figur 8 kann dann mit einer weiteren Elektrode als Anode versehen werden. Diese Anode kann z. B. wie in der zitierten EP-0 493 676 A1 durch Wafer Bonding hergestellt werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung kleiner Zylinder auf einem Substrat (1) aus Silizium, bei dem in einem ersten Schritt auf diesem Substrat (1) eine Maskenschicht (2) mit einem Loch mit kreisrundem Grundriß mit einem im Hinblick auf den nachfolgenden vierten Schritt geeigneten Durchmesser hergestellt wird, in einem zweiten Schritt in dieses Loch ein erster Zylinder (3) aus Silizium abgeschieden wird, in einem dritten Schritt diese Maskenschicht (2) zumindest in einem Bereich um diesen ersten Zylinder (3) entfernt wird, in einem vierten Schritt die Oberfläche des Siliziums so weit oxidiert wird, daß von dem ersten Zylinder (3) aus Silizium ein zweiter Zylinder (5) des vorgesehenen Durchmessers (D) und der vorgesehenen Höhe (H) aus Silizium übrig bleibt und in einem fünften Schritt dieses oxidierte Silizium zumindest in einem Bereich um diesen zweiten Zylinder (5) entfernt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Loch in der Maskenschicht (2) einen Durchmesser zwischen  $0,05 \mu\text{m}$  und  $0,5 \mu\text{m}$  hat.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 zur Herstellung einer Triodenstruktur, bei dem in dem ersten Schritt die hergestellte Maskenschicht (2) mit einer im Bereich des Loches offenen dünnen Deckschicht (6) bedeckt wird und die Materialien dieser Schichten (2, 6) so gewählt werden, daß diese Maskenschicht (2) bezüglich dieser Deckschicht (6)

und bezüglich des Siliziums selektiv ätzbar ist, bei dem der dritte Schritt so ausgeführt wird, daß von dieser Deckschicht (6) ein für einen weiteren vierten Schritt ausreichender Anteil übrig bleibt,

5

bei dem der vierte Schritt so ausgeführt wird, daß das oxidierte Silizium mit dem verbliebenen Anteil der Deckschicht (6) eine für einen nachfolgenden Schritt ausreichend ebene Oberfläche bildet,

10

bei dem in einem daran anschließenden weiteren vierten Schritt eine hoch dotierte Schicht (7), die als Gate-Elektrode vorgesehen und aus einem bezüglich Silizium selektiv ätzbaren Material ist, aufgebracht wird und bei dem der fünfte Schritt ausgeführt wird, indem durch diese hoch dotierte Schicht (7) hindurch geätzt wird.

15

4. Verfahren nach Anspruch 3,

20

bei dem die Maskenschicht (2) ein Oxid und die Deckschicht (6) ein Nitrid ist.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4,

25

bei dem in dem weiteren vierten Schritt die hoch dotierte Schicht (7) aus Polysilizium aufgebracht wird und darauf eine Isolatorschicht (8) aus einem Oxid aufgebracht wird.

30

35

40

45

50

55

FIG 1

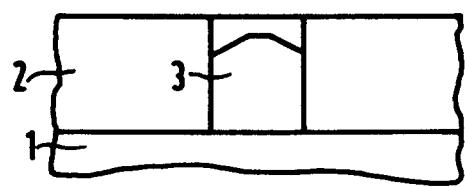


FIG 2

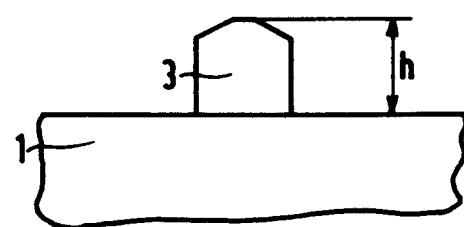


FIG 3

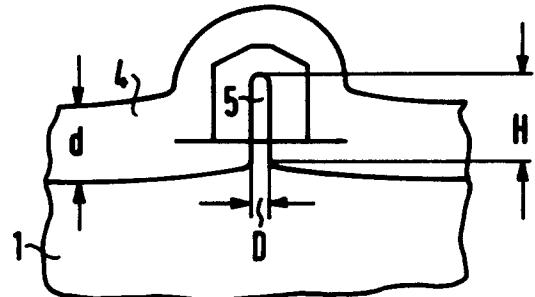


FIG 4

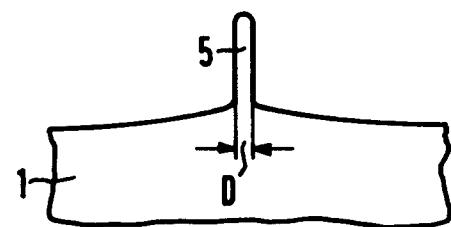


FIG 5

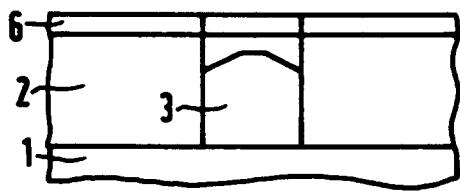


FIG 6

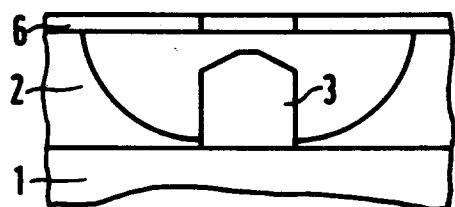


FIG 7

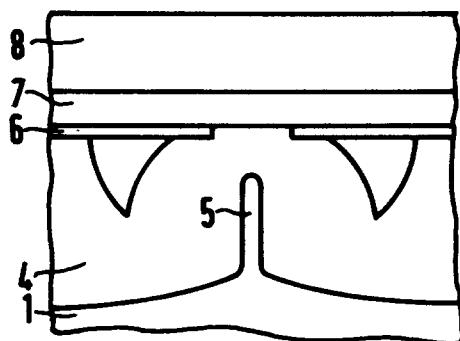
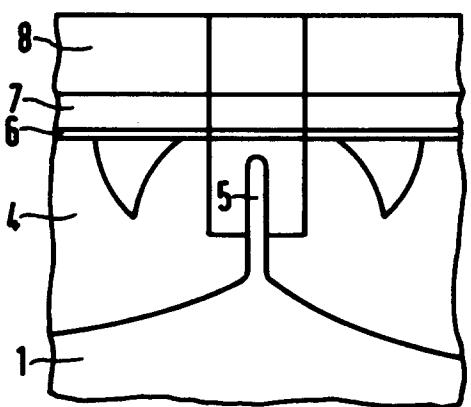


FIG 8





Europäisches  
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 94 10 3619

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE  |   |   |   |
|---|---|---|---|
| Kategorie   | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile   | Betrieft<br>Anspruch  | KLASSIFIKATION DER<br>ANMELDUNG (Int.CI.5)      |
| D, A  | IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES,<br>Bd.38, Nr.10, Oktober 1991, NEW YORK US<br>Seiten 2276 - 2283<br>T. UTSUMI 'Vacuum microelectronics: what's<br>new and exciting.'<br>* Seite 2278, linke Spalte; Abbildung 3A *<br>* Seite 2281, linke Spalte, Absatz 3 -<br>rechte Spalte, Absatz 1 *<br>--- | 1-3   | H01J9/02<br>H01J1/30<br>H01J21/10               |
| A   | JOURNAL OF VACUUM SCIENCE AND TECHNOLOGY:<br>PART A.,<br>Bd.8, Nr.4, August 1990, NEW YORK US<br>Seiten 3586 - 3590<br>K. KEN CHIN ET AL. 'Field emitter tips for<br>vacuum microelectronic devices.'<br>* Seite 3590, linke Spalte, letzter Absatz<br>- rechte Spalte, letzter Absatz *<br>---         | 1-3   |   |
| A   | APPLIED PHYSICS LETTERS.,<br>Bd.58, Nr.10, 11. März 1991, NEW YORK US<br>Seiten 1042 - 1043<br>D. LIU ET AL. 'Fabrication of wedge-shaped<br>silicon field emitters with nm-scale<br>radii.'<br>* das ganze Dokument *<br>---   | 1-3   | RECHERCHIERTE<br>SACHGEBiete (Int.CI.5)<br>H01J |
| D, A  | DE-A-40 41 276 (SIEMENS AG)<br>* Zusammenfassung; Abbildungen *<br>-----  | 1-3   |   |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt   |   |   |   |
| Recherchenort   | Abschlußdatum der Recherche   |   | Prüfer  |
| DEN HAAG  | 18. Juli 1994   |   | Schaub, G                                       |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE   |   | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder<br>nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus andern Gründen angeführtes Dokument<br>.....<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes<br>Dokument |   |
| X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer<br>anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : nichtschriftliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |   |   |   |