



(10) DE 11 2011 106 043 T5 2014.09.18

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
 (87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2013/100916**
 in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
 (21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2011 106 043.2**
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2011/067434**
 (86) PCT-Anmeldetag: **27.12.2011**
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **04.07.2013**
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
 in deutscher Übersetzung: **18.09.2014**

(51) Int Cl.: **H01G 4/005 (2006.01)**

(71) Anmelder:
Intel Corporation, Santa Clara, Calif., US

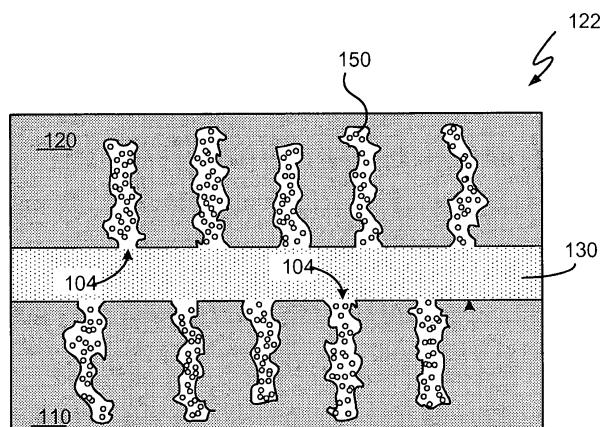
(74) Vertreter:
BOEHMERT & BOEHMERT Anwaltspartnerschaft mbB - Patentanwälte Rechtsanwälte, 28209 Bremen, DE

(72) Erfinder:
Gardner, Donald S., Los Altos, Calif., US; Holzwarth, Charles W., San Jose, Calif., US; Chen, Zhaohui, San Jose, Calif., US; Pint, Cary L., Hayward, Calif., US; Jin, Wei, Sunnyvale, Calif., US; Liu, Yang, State College, Pa., US; Hannah, Eric C., Pebble Beach, Calif., US; Gustafson, John L., Pleasanton, Calif., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Herstellung von elektrochemischen Kondensatoren mit porösem Silicium**

(57) Zusammenfassung: Es werden Verfahren zum Bilden mikroelektronischer Strukturen beschrieben. Ausführungsformen dieser Verfahren können das Bilden einer elektrochemischen Kondensatorvorrichtung durch Bilden von Poren in Siliciummaterialien geringer Reinheit umfassen. Verschiedene hierin beschriebene Ausführungsformen ermöglichen die Herstellung von Vorrichtungen hoher Kapazität unter Anwendung von preisgünstigen Techniken.



Beschreibung**HINTERGRUND**

[0001] Ladungsspeicherungsvorrichtungen, z. B. Batterien und Kondensatoren, werden in großem Umfang in elektronischen Vorrichtungen verwendet. Insbesondere Kondensatoren werden verbreitet für Anwendungen verwendet, die von elektrischen Schaltungen und Energieversorgung bis zur Spannungsregulierung und zum Batterieersatz reichen. Im Zuge der Weiterentwicklung der Kondensatortechnologie sind verschiedene Typen entwickelt worden. Zum Beispiel sind elektrochemische Kondensatoren, umfassend Kondensatoren mit elektrischer Doppelschicht (Electric Double-Layer Condensators, EDLCs), auch als Ultrakondensatoren bezeichnet (neben anderen Bezeichnungen), ein Kondensatortyp, der durch eine hohe Energiespeicherung und Spannungsdichte, eine geringe Größe und ein niedriges Gewicht gekennzeichnet ist und somit zu einem vielversprechenden Kandidaten für eine Verwendung in verschiedenen Anwendungen geworden ist.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0002] Obwohl an die Beschreibung Patentansprüche angehängt sind, die bestimmte Ausführungsformen speziell herausstellen und getrennt beanspruchen, sind die Vorteile der verschiedenen Ausführungsformen einfacher aus der folgenden Beschreibung der Ausführungsformen in Verbindung mit den begleitenden Zeichnungen zu ersehen, in welchen:

[0003] **Fig. 1a** einen Ablaufplan eines Verfahrens zum Bilden von Strukturen gemäß einigen Ausführungsformen darstellt;

[0004] **Fig. 1b** bis **Fig. 1g** Strukturen gemäß einigen Ausführungsformen darstellen;

[0005] **Fig. 2a** bis **Fig. 2b** Ablaufpläne von Verfahren gemäß einigen Ausführungsformen darstellen;

[0006] **Fig. 3a** bis **Fig. 3b** Systeme gemäß einigen Ausführungsformen darstellen;

[0007] **Fig. 4** bis **Fig. 5** Systeme gemäß einigen Ausführungsformen darstellen.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0008] In der folgenden detaillierten Beschreibung wird auf die begleitenden Zeichnungen Bezug genommen, welche veranschaulichend die speziellen Ausführungsformen darstellen, die ausgeführt werden können. Diese Ausführungsformen werden detailliert genug beschrieben, um dem Fachmann zu ermöglichen, die Ausführungsformen auszuführen. Es versteht sich, dass sich die verschiedenen Ausfüh-

rungsformen, obwohl unterschiedlich, nicht notwendigerweise gegenseitig ausschließen. Zum Beispiel können ein spezielles Merkmal, eine Struktur oder eine Eigenschaft, die hierin in Verbindung mit einer Ausführungsform beschrieben werden, in anderen Ausführungsformen realisiert werden, ohne von ihrer Idee und dem Umfang abzuweichen. Außerdem versteht es sich, dass die Stelle oder Anordnung einzelner Elemente in jeder offenbarten Ausführungsform modifiziert werden kann, ohne von ihrer Idee und ihrem Umfang abzuweichen. Die folgende detaillierte Beschreibung ist deswegen nicht in einem beschränkenden Sinn zu verstehen und der Umfang der Ausführungsformen wird nur durch die anhängenden Patentansprüche definiert, richtig ausgelegt, zusammen mit dem gesamten Bereich der Äquivalente, die auf die Patentansprüche angewendet werden können. In den Zeichnungen beziehen sich gleiche Bezugszahlen überall in den verschiedenen Zeichnungen auf dieselbe oder eine ähnliche Funktionalität.

[0009] Verfahren und zugehörige Strukturen zum Bilden und Verwenden mikroelektronischer Strukturen, z. B. elektrochemischer Kondensatorstrukturen, können das Bilden poröser Siliciumstrukturen geringer Reinheit durch Bilden von Poren in einem Siliciumsubstrat geringer Reinheit umfassen. Verschiedene hierin beschriebene Ausführungsformen ermöglichen die Herstellung von Vorrichtungen hoher Kapazität unter Anwendung von kostengünstigen Techniken. Techniken zum Verringern der Kosten der Herstellung von Porös-Silicium-Ultrakondensatoren zur Energiespeicherung umfassen die Verwendung von Siliciummaterialien wie Silicium geringer Reinheit, Silicium metallurgischer Güte, monokristallinem Silicium, polykristallinem Silicium und aufgesprühtem Silicium. Herstellungsverfahren, welche diese Kosten senken, umfassen die diskontinuierliche Atomschichtabscheidung (Atomic Layer Deposition, ALD), ALD von Rolle zu Rolle und diskontinuierliche elektrochemische Ätzsysteme.

[0010] **Fig. 1a** bis **Fig. 1g** veranschaulichen Ausführungsformen des Bildens von mikroelektronischen Strukturen, z. B. porösen preisgünstigen Siliciumstrukturen geringer Reinheit. **Fig. 1a** veranschaulicht einen Ablaufplan eines Verfahrens, wodurch zum Beispiel elektrochemische Kondensatorstrukturen auf Siliciumsubstraten geringer Reinheit gebildet werden können. In einer Ausführungsform kann im Schritt **101** ein Siliciumsubstrat/-material geringer Reinheit erhalten werden. Das Substrat geringer Reinheit kann eine Reinheit von etwa 99,999 Prozent oder weniger aufweisen, so dass die Kosten eines solchen Substrats deutlich geringer sind als die Kosten eines Substrats höherer Reinheit, wie es typischerweise bei der Herstellung mikroelektronischer Vorrichtungen verwendet wird (in einigen Fällen weisen solche Substrate hoher Reinheit einen Reinheitsgrad von 99,9999999 Prozent oder höher auf und

können bis zu zwanzig Mal so viel wie das poröse Siliciummaterial geringer Reinheit der hierin beschriebenen Ausführungsformen kosten).

[0011] Zum Beispiel kann in einigen Fällen Silicium geringer Reinheit (99,999%) etwa einen bis sechs Dollar je Pfund kosten, im Vergleich zu hochreinem (> 99,9999999%) Silicium höchster Güte, welches mehr als 25 Dollar je Pfund kosten kann. In Ausführungsformen kann eine poröse Siliciumstruktur niedriger Reinheit (die hierin noch weiter beschrieben wird) unter Verwendung von polykristallinem oder monokristallinem Silicium hergestellt werden, das aus einem Silicium-Einsatzgut einer niedrigen Reinheit von 99,999% oder weniger als Ausgangsmaterial gebildet wird. Um die Kosten weiter zu reduzieren, können diese Siliciumsubstrate geringer Reinheit in einigen Ausführungsformen unter Auslassung eines oder mehrerer Schritte des Wafer-Bildungs-Verfahrens hergestellt werden, die angewendet werden, um Siliciumsubstrate höchster Gute herzustellen, z. B. Reibschräfen, Ätzen, Polieren usw.

[0012] Das Siliciummaterial geringer Reinheit umfasst Verunreinigungen wie z. B. Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Eisen, Aluminium, Kupfer, Titan, Mangan, Chrom, Nickel, Calcium, Zirconium, Natrium und Zink, welche unter Anwendung von Zusammensetzungs-Messtechniken, z. B. spektrographischen Techniken, umfassend zum Beispiel induktiv gekoppelte Plasmamassenspektrometrie (ICP-MASS), Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS) und Glimmentladungs-Massenspektrometrie (GDMS), erfassbar sind. Diese Verunreinigungen sind in dem Siliciummaterial geringer Reinheit in einem viel höheren Maße vorhanden als Verunreinigungen, die man in Siliciummaterialien höherer Reinheit findet, die typischerweise für die Herstellung von Vorrichtungen gemäß dem Stand der Technik verwendet werden. Zum Beispiel können die Verunreinigungsgrade, die man in dem Siliciummaterial geringer Reinheit findet, in einigen Fällen in einer Größenordnung von etwa 100 Mal höher als jene sein, die man in Siliciummaterialien höherer Reinheit findet. In einer Ausführungsform das Siliciummaterial geringer Reinheit mit einem Dotierstoff des p-Typs oder einem Dotierstoff des n-Typs dotiert sein, zum Beispiel Bor bzw. Phosphor.

[0013] Im Schritt 103 der **Fig. 1a** können in dem Siliciumsubstrat geringer Reinheit Poren/Kanäle gebildet werden, um eine poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit zu bilden. Eine solche poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit kann zum Beispiel als ein Abschnitt eines elektrochemischen Kondensators oder anderer ähnlicher Energiedladungsvorrichtungen verwendet werden. In einer Ausführungsform kann ein Ätzmittel verwendet werden, um in dem Siliciummaterial geringer Reinheit poröse Strukturen herzustellen. Als ein Beispiel kann eine poröse Silicium-

struktur geringer Reinheit durch Ätzen eines Siliciumsubstrats geringer Reinheit mit einem Fluorwasserstoffsäure-Gemisch erzeugt werden, welches auch ein organisches Lösungsmittel wie Isopropylalkohol oder Ethanol enthalten kann.

[0014] In einer anderen Ausführungsform kann elektrochemisches Ätzen angewendet werden, welches in einigen Fällen diskontinuierliches elektrochemisches Ätzen umfassen kann, um Poren in dem Siliciummaterial geringer Reinheit zu bilden. In einer anderen Ausführungsform kann die Porosität unter Anwendung solcher Verfahren wie Anodisierung und Fleckenätzen eingebracht werden. In einigen Fällen können in dem Siliciumsubstrat geringer Reinheit 100 in etwa 5 Minuten Poren 104 gebildet werden, welche eine Tiefe 106 von etwa 20 Mikrometern aufweisen, um die poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit 102 zu bilden (**Fig. 1b**). In anderen Ausführungsformen kann die Parentiefe 106 bis zu etwa 300 Mikrometer betragen. Die Parentiefe kann gemäß der speziellen Anwendung variieren.

[0015] Jede der Poren 104 weist eine Öffnung zu der Fläche 109 der porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit 102 auf. In einer Ausführungsform können die Öffnungen anschließend von einer Schicht aus epitaxialem Silicium bedeckt werden, welches über der Öffnung gebildet werden kann, gemäß den Anforderungen der speziellen Anwendung, zum Beispiel als eine Stelle für Schaltungen oder andere Verdrahtungen, die man auf den Kanälen/Poren 104 anwachsen lassen kann. Die poröse Struktur geringer Reinheit 102 kann gemäß einigen Ausführungsformen mit sehr genauer und gleichmäßiger Steuerung der Porengrößenverteilung hergestellt werden (im Gegensatz zu Aktivkohle). Dies ermöglicht eine schnelle Aufladung (die Porengröße kann so optimiert werden, dass sie zu der Größe der Anionen und Kationen kompatibel ist) und es wird unter Verwendung der porösen Siliciumstrukturen geringer Reinheit 102 der hierin beschriebenen Ausführungsformen auch die Kapazität von Ladungsspeicherungsvorrichtungen verbessert.

[0016] Es sei in Verbindung damit angemerkt, dass (poröse) Aktivkohle, die auf eine andere Weise als oben beschrieben gebildet wird, typischerweise eine andere Struktur aufweist – eine, die durch vollständig umschlossene Hohlräume ohne Oberflächenöffnungen gekennzeichnet ist. Es sei auch angemerkt, dass die Poren 104, die in den verschiedenen Figuren hierin abgebildet sind, dadurch stark idealisiert sind, dass sie als sich nur vertikal erstreckend dargestellt sind. In einigen Ausführungsformen können sich die Kanäle/Poren 104 in mehrere Richtungen verzweigen, um eine vernetzte unregelmäßige Struktur zu erzeugen. In einer Ausführungsform können die Poren 104 eine abgeschrägte Struktur aufweisen, das heißt, ein oberer Abschnitt der Pore kann einen

größeren Durchmesser als ein Durchmesser eines unteren Abschnitts der Pore umfassen.

[0017] Wieder Bezug nehmend auf **Fig. 1a**, kann im Schritt **105** in mindestens einer Pore der porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit ein leitfähiges Material gebildet werden. Die mindestens eine Pore **104** kann mit einem elektrisch leitfähigen Material **111** beschichtet/ausgekleidet werden, wobei ein Verfahren wie z. B. eine Technik von Rolle zu Rolle, ein diskontinuierliches Verfahren und/oder ein Atomschichtabscheidungs(ALD)-Verfahren angewendet wird (**Fig. 1c**). In einer Ausführungsform kann die poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit **102** in einem Abscheidungssystem angebracht werden, z. B., ohne darauf beschränkt zu sein, einem ALD-System und/oder einem Rakelauftragssystem. Zum Beispiel kann auch eine ALD von Rolle zu Rolle oder eine diskontinuierliche ALD angewendet werden, entweder, um Vorstufen, die zum Bilden dünner Filme verwendet werden, über das poröse Siliciumsubstrat geringer Reinheit fließen zu lassen, oder um das poröse Siliciumsubstrat geringer Reinheit durchfließen zu lassen. Auch können diskontinuierliche elektrochemische Ätzsysteme angewendet werden, wobei in einigen Ausführungsformen Wafer in einem Mehrkammersystem elektrisch in Reihe verbunden werden können.

[0018] Bezug nehmend auf **Fig. 3a**, kann ein ALD-System **320** zum Beschichten einer porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit **302** ein Übersetzungs- system, Rolle-zu-Rolle-Konfiguration, umfassen, wobei das leitfähige Material auf die poröse Siliciumstruktur/das poröse Siliciumsubstrat geringer Reinheit **302** geformt/geschichtet werden kann, welches in einigen Fällen in einer Wafer-Form vorliegen kann. Das ALD-System **320** umfasst Anschlüsse für Gase, welche über/durch das poröse Siliciumsubstrat geringer Reinheit strömen können, z. B. Stickstoff **301**, Trimethylaluminium (TMA) **303**, Wasser **305** usw., gemäß der speziellen Anwendung. Die poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit **302** kann für Herstellungsanwendungen mit hohem Volumen durch das System bewegt werden.

[0019] In einer anderen Ausführungsform kann ein System **322** (**Fig. 3b**) angewendet werden, bei welchem eine ALD durch das Substrat angewendet wird, um für Wafer/poröse Siliciumstrukturen geringer Reinheit **302**, welche vollständig durchätzbar werden, die Poren/Kanäle in der porösen Struktur geringer Reinheit zu beschichten, wobei das Abscheidungsverfahren in diesem Fall viel schneller sein kann. Es können zum Beispiel Gase wie TMA **303** und N₂ **301** verwendet werden. In einer Ausführungsform kann dies unter Anwendung eines ALD-Verfahrens von Rolle zu Rolle durchgeführt werden. In einer anderen Ausführungsform kann das Verfahren unter Verwendung eines (nicht dargestellten) diskonti-

nuerlichen ALD-Reaktors durchgeführt werden, welcher zum Beispiel von 0,1 Torr bis 760 Torr arbeiten kann. Ein Vorteil der Verwendung eines ALD-Systems ist, dass es dazu beitragen kann, die Bindungen an der Oberfläche abzubrechen oder die Benetzbarkeit der Oberfläche der Poren innerhalb des Wafers **302** zu verbessern. Die Erhöhung der Benetzbarkeit der Poren ermöglicht, dass ein Elektrolyt tiefer in die Poren der porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit **302** eindringt, wodurch die Kapazität einer Ladungsspeicherungsvorrichtung, bei welcher die poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit **302** verwendet wird, erhöht wird.

[0020] Das elektrisch leitfähige Material **111**, welches gebildet werden kann und welches die Poren der porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit auskleiden kann, verringert den effektiven Reihenwiderstand (Effective Series Resistance, ESR) der porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit, wodurch die Leistungsfähigkeit verbessert wird. Zum Beispiel kann eine Vorrichtung, welche einen niedrigeren ESR aufweist, eine höhere Leistung abgeben (was sich in einer höheren Beschleunigung, mehr Pferdestärken usw. zeigen kann). Im Gegensatz dazu begrenzt ein höherer ESR (ein Zustand, der innerhalb einer typischen Batterie vorliegt) die Menge der verfügbaren Energie, zumindest teilweise aufgrund der Tatsache, dass viel der Energie als Wärme verschwendet wird. Beispiele für geeignete elektrisch leitfähige Materialien **111** umfassen, ohne darauf beschränkt zu sein, Wolfram, Aluminium, Kupfer, Nickel, Eisen, Kobalt, Kohlenstoff (Graphen), Palladium, Ruthenium, Zinn und Legierungen, umfassend Zinn, Aluminiumtitannitrid (AlTiN), Titannitrid (TiN), Wolframnitrid (WN₂), Tantalnitrid (TaN), Wolframtitanitrid (W-TiN), Titansiliciumnitrid (Ti-Si-N), Wolframsiliciumnitrid (W-Si-N), Titanbornitrid (Ti-B-N) und Molybdänitrid (MoN). In einem Szenario könnte zum Beispiel unter Anwendung eines ALD-Verfahrens ein sehr leitfähiger TiN-Film (mit einem niedrigen spezifischen Widerstand wie ~20 µOhm·cm) abgeschieden werden.

[0021] In einer Ausführungsform kann das elektrisch leitfähige Material **111** dazu dienen, die Leitfähigkeit der porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit zu bewahren oder zu verbessern – insbesondere wo die Porosität der porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit etwa 20 Prozent übersteigt. In einer Ausführungsform können elektrisch leitfähige Materialien **111** durch Verfahren wie Elektroplattieren, stromloses Plättieren, chemische Abscheidung aus der Gasphase (CVD) und/oder ALD aufgebracht werden, z. B. unter Verwendung eines Systems, welches in **Fig. 3a** bis **Fig. 3b** dargestellt ist. Falls erwünscht, kann die poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit auch mit einem Dotierstoff dotiert sein, der die elektrische Leitfähigkeit der Struktur erhöhen soll (zum Beispiel Bor, Arsen oder Phosphor).

[0022] In einer anderen Ausführungsform kann ein Material innerhalb der porösen Struktur gebildet werden, um einen Pseudokondensator zu bilden. In einigen Ausführungsformen kann das Material ein Übergangsmetallocid wie zum Beispiel MnO_2 , RuO_2 , NiO_x , Nb_2O_5 oder V_2O_5 sein. In anderen Ausführungsformen könnte das Material WC, VN oder ein leitfähiges Polymer sein. In denselben oder anderen Ausführungsformen kann das Bilden des Materials in der porösen Struktur über ein ALD-Verfahren durchgeführt werden. Andere Abscheidungs- oder Bildungsverfahren sind ebenfalls möglich. Der Pseudokondensator ist eine andere Klasse eines elektrochemischen Kondensators, wobei an bestimmten Typen von Elektroden statt der EDL-Kapazität eine andere Art der Kapazität entstehen kann – eine, die Faraday'schen und nicht elektrostatischen Ursprungs ist. Diese andere Art der Kapazität wird als „Pseudokapazität“ bezeichnet. Pseudokondensatoren sind Energiespeicherungsvorrichtungen, welche sich wie Kondensatoren verhalten, aber auch Reaktionen zeigen, die zu einer Ladungsspeicherung führen. Typischerweise ist eine der Elektroden eines Pseudokondensators mit dem Übergangsmetallocid beschichtet. Diese Materialien können mit einem Elektrolyt wie Kaliumhydroxid (KOH) verwendet werden. Wenn die Pseudokondensatorvorrichtung geladen wird, reagiert der Elektrolyt mit dem Übergangsmetallocidmaterial in einer Reaktion, welche ermöglicht, dass Energie auf eine Weise gespeichert wird, die Ähnlichkeiten zur Energiespeicherung einer Batterie aufweist. Insbesondere speichern diese Materialien Energie durch hochreversible (Faraday'sche) Redoxreaktionen an der Oberfläche und unterhalb der Oberfläche, gleichzeitig bleibt jedoch der Energiespeicherungsmechanismus der elektrischen Doppelschicht und stellt das Potenzial für eine hohe Leistung bereit.

[0023] In einer anderen Ausführungsform kann innerhalb mindestens einer Pore der porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit ein dielektrisches Material gebildet werden (wieder Bezug nehmend auf **Fig. 1a**, Schritt 107). Das dielektrische Material 113, welches High-k-Dielektrikums-Materialien umfassen kann, kann eine Dielektrizitätskonstante von mindestens etwa 3,9 aufweisen und kann die Pore 104 der porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit 102 auskleiden (**Fig. 1d**). In einer Ausführungsform kann das dielektrische Material 113 auf dem leitfähigen Material 111 angeordnet sein, welches auf dem porösen Siliciumsubstrat geringer Reinheit 100 angeordnet ist. In einer anderen Ausführungsform kann das leitfähige Material 111 auf dem dielektrischen Material 113 angeordnet sein, welches direkt auf dem porösen Siliciumsubstrat geringer Reinheit 100 angeordnet sein kann. Im Allgemeinen ist eine hohe Energiedichte eine erwünschte Eigenschaft für kapazitive Strukturen. Um die erreichbare Energiedichte zu erhöhen, beinhalten hierin beschriebene Ausführungsformen Materialien, welche relativ höhere

Durchschlagspannungen ermöglichen, z. B. das leitfähige Material 111 und das dielektrische Material 113, die in den hierin beschriebenen Ausführungsformen verwendet werden. Somit ist die Gesamt-Durchschlagspannung von Ladungsspeicherungsvorrichtungen, bei welchen die porösen Siliciumstrukturen geringer Reinheit der Ausführungsformen verwendet werden, erhöht.

[0024] Als ein Beispiel können Materialien, welche die Durchschlagspannung erhöhen, entweder gute elektrische Isolatoren sein oder sie können elektrochemisch sehr inert sein (z. B. Quecksilber). Wenn diese Materialien auch hohe Dielektrizitätskonstanten aufweisen, z. B. High-k-Materialien, können die Materialien die zusätzlichen vorteilhaften Effekte der Erhöhung der Kapazität und der Verringerung des Leckstroms aufweisen. Alternativ können für diese Zwecke separate Schichten oder Materialien verwendet werden – d. h. ein Material zum Erhöhen der Durchschlagspannung neben einem separaten High-k-Material. Ladungsspeicherungsvorrichtungen, bei welchen Materialien hoher Durchschlagspannung in Verbindung mit porösen Strukturen und organischen Elektrolyten verwendet werden, weisen eine viel höhere Energiedichte als Ladungsspeicherungsvorrichtungen ohne solche Komponenten auf.

[0025] **Fig. 1e** bis **Fig. 1f** zeigen Ausführungsformen von elektrochemischen Kondensatorvorrichtungen zur Ladungsspeicherung. In einer Ausführungsform, die in **Fig. 1e** dargestellt ist, umfasst eine Ladungsspeicherungsvorrichtung 122 einen elektrischen Isolator und Ionenleiter 130, welcher eine erste poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit 110 von einer zweiten porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit 120 trennt, wobei der elektrische Isolator 130 ein dielektrisches Material umfasst. Mindestens eine der ersten und zweiten porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit umfasst Poren 104 (zum Beispiel ähnlich den Poren der **Fig. 1d**). In einer Ausführungsform können die erste und zweite poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit 110, 120 einander zugewandt miteinander verbunden sein, wobei das Trennelement 130 dazwischen angeordnet ist. Die Poren 104 mindestens einer der ersten und zweiten porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit können ferner ein ionisches Material 150 umfassen, z. B. einen ionischen Elektrolyten 150. Eine der porösen Siliciumstrukturen geringer Reinheit 110, 120 kann die positive Seite (Elektrode) sein und die andere poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit 110, 120 kann die negative Seite (Elektrode) sein.

[0026] Als ein anderes Beispiel umfasst in der Ausführungsform der **Fig. 1f** die elektrochemische Kondensatorvorrichtung zur Ladungsspeicherung 124 eine einzige planare poröse Struktur, in welcher ein erster Abschnitt (poröse Siliciumstrukturen geringer Reinheit 110) von einem zweiten Abschnitt (poröse

Siliciumstrukturen geringer Reinheit **120**) durch einen Graben **131** getrennt ist, welcher ein Trennelement **130** enthält. Eine der porösen Siliciumstrukturen geringer Reinheit **110, 120** kann die positive Seite (Elektrode) sein und die andere poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit kann die negative Seite (Elektrode) sein. Das Trennelement **130** ermöglicht die Übertragung von Ionen aus dem Elektrolyten **150**, verhindert jedoch einen elektrischen Kontakt zwischen den Elektroden.

[0027] In einer Ausführungsform, wobei der Elektrolyt **150** verwendet wird, können sich zwei elektrische Doppelschichten (EDL) bilden, eine in den Poren der porösen Siliciumstrukturen geringer Reinheit **110** und eine andere in den Poren der porösen Siliciumstrukturen geringer Reinheit **120**. Diese elektrische Doppelschicht, die schematisch in **Fig. 1g** dargestellt ist, kann das oben beschriebene dielektrische Material **130** ergänzen oder ersetzen. Wie in **Fig. 1g** veranschaulicht, ist in einer der Poren/Kanäle **104** eine elektrische Doppelschicht (EDL) **132** gebildet worden. Die EDL **132** ist aus zwei Ionenschichten aufgebaut, von denen eine die elektrische Ladung der Seitenwände des Kanals/der Pore **104** ist (in **Fig. 1g** als positiv abgebildet, sie könnte jedoch auch negativ sein) und die andere durch freie Ionen in dem Elektrolyten **150** gebildet wird. Die EDL **132** isoliert die Oberfläche elektrisch, wodurch für die Ladungstrennung gesorgt ist, die notwendig ist, damit der Kondensator funktioniert. Die hohe Kapazität und somit das Energiespeicherungspotenzial von Kondensatoren mit elektrischer Doppelschicht entsteht durch die kurze (ungefähr 1 nm) Trennung zwischen Elektrolyt-Ionen und der Elektrode.

[0028] Es sei angemerkt, dass, wenn eine Ladungsspeicherungsvorrichtung, z. B. die Ladungsspeicherungsvorrichtungen **122, 124**, entladen wird, die EDL verschwindet. Bezugnahmen hierin auf „eine erste poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit und eine zweite poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit, die durch einen elektrischen Isolator und einen Ionenleiter voneinander getrennt sind“ umfassen speziell Situationen, wo, wie oben beschrieben, der elektrische Isolator nur vorhanden ist, wenn die Ladungsspeicherungsvorrichtung elektrisch aufgeladen ist.

[0029] In einigen Ausführungsformen ist der Elektrolyt **150** ein organischer Elektrolyt. Als ein Beispiel kann der Elektrolyt eine flüssige oder feste Lösung organischer Materialien wie z. B. Tetraethylammoniumtetrafluorborat in Acetonitril sein. Andere Beispiele umfassen Lösungen auf der Basis von Borsäure, Natriumborat oder schwachen organischen Säuren. Alternativ könnten als Elektrolyt (nicht-organische) Lösungen auf Wasserbasis verwendet werden.

[0030] In einer anderen Ausführungsform kann statt der Verwendung von Siliciumsubstraten geringer

Reinheit, z. B. Silicium-Wafers geringer Reinheit, ein Verfahren angewendet werden, wodurch ein Silicium-Teilchen/Pulver-Material geringer Reinheit in einer Lösung behandelt werden kann, um es porös zu machen (zum Beispiel unter Anwendung eines elektrochemischen Ätz- oder Anodisierungsverfahrens). In Abhängigkeit von der Teilchengröße des Pulvers können Poren durch mindestens einen Anteil der Teilchen geätzt werden (wenn nicht durch die gesamten Teilchen im Mikrometer-Maßstab), wodurch ein Netzwerk von porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit mit großer Oberfläche erhalten wird. In einer anderen Ausführungsform kann das Siliciumpulver geringer Reinheit oder die Siliciumkugelchen geringer Reinheit nach dem elektrochemischen Ätzverfahren gebildet werden, welches angewendet wird, um die poröse Struktur zu bilden. Das heißt, nachdem die poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit gebildet ist, kann die poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit dann nach dem Ätzen der Poren zu Teilchen zerkleinert werden. Außerdem kann die poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit vor dem Bilden des porösen Siliciumpulvers geringer Reinheit/der porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit unter Anwendung von Techniken wie ALD mit einem Leiter oder einem dielektrischen Material beschichtet werden.

[0031] Die Teilchengröße der porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit kann typischerweise im Bereich von mehreren Mikrometern liegen, diese können jedoch zu Teilchen einer Größe von 100 nm zerkleinert werden, wobei zum Beispiel Techniken wie Ultraschall oder ein Kugelmühlenverfahren angewendet werden. Das poröse Siliciumpulver geringer Reinheit kann dann auf poröse Strukturen mit guter Leitfähigkeit abgeschieden werden, z. B. auf einporöses Aluminiumgerüst oder porösen Aluminiumschaum. Leitfähige und mechanisch robuste Bindemittel, z. B. Kohlenstoff-Nanoröhrchen oder leitfähige Polymere, können verwendet werden, um Teilchen zu verbinden, welche eine steuerbare Größe, Porosität usw. aufweisen. Das poröse Siliciumpulver geringer Reinheit kann auf eine beliebige Art von Oberfläche, Substrat oder Film aufgesprührt/gesintert werden. In einer Ausführungsform kann ein solches Substrat, welches das poröse Siliciumpulver geringer Reinheit enthält, unter Anwendung eines Ansatzes von Rolle zu Rolle mittels Abscheidung aus einer Lösung hergestellt werden. Durch die Verwendung solcher Pulverformen des porösen Siliciummaterials geringer Reinheit werden die Materialkosten bei der Herstellung elektrochemischer Kondensatorstrukturen, z. B. Ultrakondensatorstrukturen, deutlich reduziert.

[0032] Um die porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit/das poröse Siliciumpulver geringer Reinheit so zu präparieren, dass sie/es für Energiespeicherungsanwendungen effektiv sind/ist, kann die Oberfläche durch ALD entweder in Wafer-Form oder in

Pulverform, eine weitere HF/HNO₃/H₂O-Behandlung, um steuerbare Oberflächenmerkmale von 3 nm bis 5 nm zu erhalten, Temperbehandlungen in gasförmiger Atmosphäre oder eine nasschemische Behandlung in Lösung modifiziert werden. Solche Behandlungen führen zu einer leitfähigen, passivierten, stabilen Oberfläche der Siliciumteilchen geringer Reinheit, auf welcher sich eine Doppelschicht bilden kann. Um eine mechanische Verbindung der porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit zu unterstützen, können die Teilchen mit leitfähigen und/oder strukturell robusten Bindemittelmaterialien in wässrigen oder nichtwässrigen Lösungen vermischt werden. In einer Ausführungsform können die porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit dann aus der Lösung auf Elektrodenstrukturen, z. B. leichte leitfähige Gerüste, gegossen werden, mit welchen Elektroden für elektrochemische Kondensatorvorrichtungen herzustellen sind. In einer Ausführungsform können mehrere diskrete Elektroden, z. B. leichte Gerüste, mit einem Elektrolyten in Kontakt gebracht werden, wobei die porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit auf den Elektroden angeordnet werden, um eine elektrochemische Kondensatorvorrichtung zu bilden.

[0033] Diese Gerüste können auf Folienrollen basieren, welche porös oder texturierter Natur sein können und mit einem skalierbaren Verfahren von Rolle zu Rolle zum Lösungsgießen der porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit kompatibel sind. In einer Ausführungsform können diese dünnen Kollektoren auf Folienbasis, die mit porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit und Bindemittelmaterial beschichtet sind, in Sandwich-Form mit einem Elektrolyten angeordnet werden, um eine fertige elektrochemische Kondensatorvorrichtung herzustellen. In einer Ausführungsform kann ein Rakelauftragsverfahren angewendet werden, um glatte Filme abzuscheiden, welche aus porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit bestehen.

[0034] **Fig. 2a** zeigt ein Verfahren gemäß einer Ausführungsform. In einer Ausführungsform können Siliciumteilchen geringer Reinheit erhalten werden (Schritt 210), wobei Poren darin gebildet werden können, um porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit zu bilden (Schritt 220). Im Schritt 225 können die porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit mit mindestens einem aus einem leitfähigen und einem dielektrischen Material beschichtet werden. Die Beschichtung kann durch ein Beschichtungsverfahren wie zum Beispiel, ohne darauf beschränkt zu sein, ein ALD-Verfahren erreicht werden. Im Schritt 230 können die porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit mit einem Bindemittelmaterial vermischt werden. Im Schritt 240 können die porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit aus der Lösung auf ein Substrat (zum Beispiel ein Gerüst) gegossen werden, um einen Abschnitt einer Elektrodenstruktur eines elektrochemischen Kondensators zu bilden.

[0035] **Fig. 2b** zeigt ein anderes Verfahren gemäß einer Ausführungsform. In einer Ausführungsform kann ein Siliciumsubstrat geringer Reinheit erhalten werden (Schritt 250), wobei Poren darin gebildet werden können, um ein poröses Siliciumsubstrat geringer Reinheit zu bilden (Schritt 260). Im Schritt 270 kann das poröse Silicium geringer Reinheit zerkleinert werden, um poröse Siliciumteilchen geringer Reinheit zu bilden. Im Schritt 280 können die porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit mit mindestens einem aus einem leitfähigen und einem dielektrischen Material beschichtet werden. Die Beschichtung kann durch ein Beschichtungsverfahren wie zum Beispiel, ohne darauf beschränkt zu sein, ein ALD-Verfahren erreicht werden. In einer anderen Ausführungsform kann das poröse Siliciumsubstrat geringer Reinheit vor dem Bilden der porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit beschichtet werden. Im Schritt 290 können die porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit mit einem Bindemittelmaterial vermischt werden. Im Schritt 292 können die porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit aus der Lösung auf ein Substrat (zum Beispiel ein Gerüst) gegossen werden, um einen Abschnitt einer Elektrodenstruktur eines elektrochemischen Kondensators zu bilden.

[0036] Die elektrochemischen Kondensatorstrukturen der Ausführungsformen hierin können verwendet werden, um Niederfrequenz-Entkopplungskondensatoren zu bilden, welche für die Energieversorgung und für die Ermöglichung zukünftiger Leistungsanforderungen verwendet werden können. Solche elektrochemischen Kondensatorstrukturen der Ausführungsformen können den Betrieb des Turbomodus in mehrkernigen Mikroprozessoren und in Vorrichtungen kleineren Formfaktors ermöglichen, welche typischerweise eine höhere Starkstromkapazität, kleinere Formfaktoren und eine höhere Kapazitätsdichte benötigen.

[0037] In elektrochemischen Kondensatorvorrichtungen gemäß den Ausführungsformen hierin wird preisgünstiges poröses Silicium verwendet, welches mit der Silicium-Verarbeitungstechnologie kompatibel ist. Diese elektrochemischen Kondensatorvorrichtungen mit preisgünstigem porösem Silicium geringer Reinheit können Batterien in der Energie je Kilogramm und je Liter übertreffen. Somit ermöglichen die Ausführungsformen elektrochemische Kondensatorstrukturen, welche eine höhere Energiedichte als Batterien besitzen. Die preisgünstigen porösen Silicium-Strukturen/Teilchen der Ausführungsformen können auch verwendet werden, um Pseudokondensatoren oder hybride Ultrakondensator-Batterie-Elektroden sowie Elektroden in herkömmlichen Batterievorrichtungen zu bilden. Ein Vorteil der elektrochemischen Kondensatorstrukturen hierin ist, dass sie schnell aufgeladen und entladen werden können, weil sie nicht auf chemischen Reaktionen zur Energiespeicherung beruhen. Sie verschlechtern sich

auch nicht deutlich während ihrer Lebensdauer, auch wenn sie schnell aufgeladen und entladen werden und sie sind auch weniger temperaturempfindlich als Batterien des Standes der Technik.

[0038] Vorrichtungen, die mit den vorliegenden preisgünstigen porösen Siliciumstrukturen geringer Reinheit hergestellt werden, besitzen eine Dichte von 2,3290 g/cm³, welche ähnlich wie jene des Graphit-Kohlenstoffs (2,267 g/cm³) ist. Somit weisen die elektrochemischen Kondensatorvorrichtungen der Ausführungsformen eine ähnliche Porosität und ein ähnliches Gewicht wie jene auf, die unter Verwendung von Kohlenstoff hergestellt werden können. Eine Anwendung der elektrochemischen Kondensatorvorrichtungen, die gemäß den Ausführungsformen hierin hergestellt werden, ist, dass sie in Silicium-Vorrichtungen oder auf Packungen integriert werden können, um für eine Energiespeicherung mit schneller Reaktion zu sorgen.

[0039] Eine andere Anwendung der Ausführungsformen hierin ist, dass die elektrochemischen Kondensatorvorrichtungen in einem System zusammen mit Batterien verwendet werden können, um die Batterien vor hohen Spannungsstößen zu schützen, wodurch die Batterielebensdauer verlängert werden kann. Auch können die Elektroden in Batterien durch Verwendung der elektrochemischen Kondensatorstrukturen hierin dünner gemacht werden, da sie hohe Leistungsanforderungen versorgen können, wodurch ihr Gewicht verringert wird. Außerdem können beliebige Vorrichtungen, welche einen kurzzeitigen hohen Energiebedarf, kurzzeitige hohe Leistungsanforderungen aufweisen, vom Einbau der porösen Silicium-Strukturen/Teilchen geringer Reinheit profitieren, die in den Ausführungsformen hierin beschrieben sind. Auch verbessern die schnellen Aufladungs- und Entladungszeiten der Vorrichtungen, die in den Ausführungsformen hierin beschrieben sind, den Komfort eines Benutzers, wodurch sie für mobile Vorrichtungen wie Smartphones und andere tragbare Vorrichtungen wünschenswert werden. In einem größeren Maßstab können, da die Energiespeicherung für alternative Energiequellen wichtig ist, die periodisch auftreten, z. B. Solar- und Windkraftanwendungen, die hierin beschriebenen porösen Silicium-Strukturen/Teilchen geringer Reinheit in solchen Anwendungen wie Solar- und Windkraftvorrichtungen verwendet werden.

[0040] **Fig. 4** ist ein Blockschaubild, welches eine mobile elektronische Vorrichtung **4000** gemäß einer Ausführungsform der Erfindung darstellt. Wie in **Fig. 4** veranschaulicht, umfasst die mobile elektronische Vorrichtung **4000** ein Substrat **4010**, auf welchem ein Mikroprozessor **4020** und eine Ladungsspeicherungsvorrichtung/elektrochemische Kondensatorvorrichtung **4030** in Verbindung mit dem Mikroprozessor **4020** angeordnet sind. Die Ladungsspei-

cherungsvorrichtung **4030** kann entweder auf dem Substrat **4010** von dem Mikroprozessor **4020** getrennt angeordnet sein, wie in durchgezogenen Linien veranschaulicht, oder sie kann auf dem Mikroprozessor **4020** selbst angeordnet sein, wie in gestrichelten Linien veranschaulicht. In einer Ausführungsform umfasst die Ladungsspeicherungsvorrichtung **4030** erste und zweite poröse Siliciumstrukturen geringer Reinheit, welche durch einen elektrischen Isolator voneinander getrennt sind, wobei mindestens eine der ersten und zweiten porösen Siliciumstrukturen geringer Reinheit eine poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit umfasst, welche mehrere Kanäle/Poren enthält, wie sie z. B. in den Ausführungsformen hierin beschrieben werden. Als ein Beispiel kann diese Ausführungsform einer oder mehreren der Ausführungsformen, die in **Fig. 1e** bis **Fig. 1f** dargestellt und in dem begleitenden Text beschrieben sind, ähneln (und Strukturen umfassen, die dort abgebildet sind). In zumindest einigen Ausführungsformen ist die Ladungsspeicherungsvorrichtung **4030** eine von mehreren Ladungsspeicherungsvorrichtungen (die in **Fig. 4** alle durch den Block **4030** dargestellt sind), die in der mobilen elektronischen Vorrichtung **4000** enthalten sind. In einer oder mehreren jeder Ausführungsformen umfasst die mobile elektronische Vorrichtung **4000** ferner ein Schaltnetz **4040**, welches mit den Ladungsspeicherungsvorrichtungen verbunden ist. Wenn ein Kondensator entladen wird, behält er typischerweise keine konstante Spannung, sondern klingt stattdessen in exponentieller Weise ab (anders als eine Batterie, bei welcher die Spannung während der Entladung relativ konstant bleibt). Das Schaltnetz **4040** umfasst Schaltungen oder einen anderen Mechanismus, welcher verschiedene Kondensatoren ein- und ausschaltet, so dass eine relativ konstante Spannung bewahrt wird. Zum Beispiel könnten die Ladungsspeicherungsvorrichtungen anfänglich parallel geschaltet miteinander verbunden sein und dann nach einem gewissen Maß des Abklingens der Spannung könnte eine Teilgruppe der Ladungsspeicherungsvorrichtungen durch das Schaltnetz so verändert werden, dass sie in Reihe geschaltet sind, so dass ihre einzelnen Spannungsbeiträge die abnehmende Gesamtspannung erhöhen können. In einer Ausführungsform könnte das Schaltnetz **4040** unter Anwendung einer existierenden Silicium-Vorrichtungs-Technologie realisiert werden, wie sie auf dem Fachgebiet (Transistoren, Silicium-Thyristoren (Silicon Controlled Rectifiers, SCRs) usw.) angewendet wird, während es in anderen Ausführungsformen unter Verwendung von Relais oder Schaltern mikroelektromechanischer Systeme (MEMS) realisiert werden könnte (welche, dies sei angemerkt, gewöhnlich einen sehr niedrigen Widerstand aufweisen).

[0041] In einigen Ausführungsformen umfasst die mobile elektronische Vorrichtung **4000** ferner ein Sensornetz **4050**, welches mit den Ladungsspeicherungsvorrichtungen **4030** verbunden ist. In zumin-

dest einigen Ausführungsformen weist jede der mehreren Ladungsspeicherungsvorrichtungen ihren eigenen Sensor auf, welcher bestimmte Verhaltensparameter der Ladungsspeicherungsvorrichtung anzeigt. Zum Beispiel können die Sensoren vorhandene Spannungsniveaus sowie die laufende Entladungsreaktion anzeigen, welche beide Parameter sind, die von dem Schaltnetz verwendet werden können – insbesondere in Fällen, wo das dielektrische Material (oder der andere elektrische Isolator), das verwendet wird, nicht linear ist, sondern stattdessen eine Dielektrizitätskonstante aufweist, die sich mit der Spannung verändert. In diesen Fällen kann es vorteilhaft sein, zusammen mit dem Sensornetz eine Maschine endlicher Zustände wie z. B. eine Spannungssteuerungsvorrichtung **4060** einzubauen, die das Verhalten des Dielektrikums kennt und dementsprechend reagiert. Eine Spannungssteuerungsvorrichtung, welche das Verhalten des Dielektrikums kennt, kann jede Nichtlinearität ausgleichen. Ein Temperatursensor **4070**, der mit den Ladungsspeicherungsvorrichtungen **4030** verbunden ist, kann ebenso eingebaut werden, um die Temperatur (oder andere sicherheitsbezogene Parameter) zu erfassen. In bestimmten Ausführungsformen umfasst die mobile elektronische Vorrichtung **4000** ferner eines oder mehreres aus dem Folgenden: eine Anzeigevorrichtung **4081**, eine Antenne/HF-Elemente **4082**, eine Netzwerk-Schnittstelle **4083**, eine Dateneingabevorrichtung **4084** (z. B. ein Tastenfeld oder ein Touchscreen), ein Mikrofon **4085**, eine Kamera **4086**, einen Videoprojektor **4087**, einen GPS-Empfänger **4088** und Ähnliches.

[0042] Fig. 5 ist ein Blockschaubild, welches eine mikroelektronische Vorrichtung **5100** gemäß einer Ausführungsform der Erfindung darstellt. Wie in Fig. 5 veranschaulicht, umfasst die mikroelektronische Vorrichtung **5100** ein Substrat **5110**, einen Mikroprozessor **5120** über dem Substrat **5110** und eine Ladungsspeicherungsvorrichtung/elektrochemische Kondensatorvorrichtung **5130** gemäß Ausführungsformen hierin, die mit dem Mikroprozessor **5120** verbunden ist. Die Ladungsspeicherungsvorrichtung **5130** kann entweder auf dem Substrat **5110** von dem Mikroprozessor **5120** getrennt angeordnet sein, wie in durchgezogenen Linien veranschaulicht (z. B. ein Kondensator auf Seiten eines Halbleiterplättchens), oder sie kann auf dem Mikroprozessor **5120** selbst angeordnet sein, wie in gestrichelten Linien veranschaulicht (z. B. in einer Aufbauschicht über dem Mikroprozessor). In einer Ausführungsform umfasst die Ladungsspeicherungsvorrichtung **5130** erste und zweite poröse Siliciumstrukturen geringer Reinheit, welche durch einen elektrischen Isolator voneinander getrennt sind, wobei mindestens eine der ersten und zweiten porösen Siliciumstrukturen geringer Reinheit mehrere Kanäle/Poren umfasst. Als ein Beispiel können die porösen Siliciumstrukturen geringer Reinheit dieser Ausführungsform einer oder mehreren der Ausführungsformen ähneln, die in Fig. 1e bis

Fig. 1f dargestellt und in dem begleitenden Text beschrieben sind.

[0043] Die hierin offenbarten Ladungsspeicherungsvorrichtungen können in einigen Ausführungsformen als ein Entkopplungskondensator in der mikroelektronischen Vorrichtung **5100** verwendet werden – einer, der kleiner ist und der aus den Gründen, die an anderer Stelle hierin beschrieben werden, eine viel höhere Kapazität und eine viel niedrigere Impedanz als existierende Entkopplungskondensatoren bietet. Wie bereits erwähnt, kann die Ladungsspeicherungsvorrichtung **5130** ein Teil einer integrierten Schaltung (IC) auf einem Träger oder eines Chips sein oder sie kann auf dem Mikroprozessor-Plättchen selbst angeordnet sein. Als ein Beispiel könnte man gemäß Ausführungsformen der Erfindung in der Lage sein, Zonen porösen Siliciums geringer Reinheit (oder von Ähnlichem, wie oben beschrieben) auf einem Mikroprozessor-Plättchen zu bilden und anschließend einen eingebetteten Entkopplungskondensator mit hoher Oberfläche direkt auf dem Substrat des Mikroprozessor-Plättchens zu erzeugen. Wegen der Porosität des Siliciums geringer Reinheit hätte der eingebettete Kondensator eine sehr hohe Oberfläche. Andere mögliche Verwendungen für die offenbarten Ladungsspeicherungsvorrichtungen umfassen die Verwendung als Speicherelement (wo Probleme mit der z-Richtungs-Größe von Ansätzen mit eingebetteten DRAMs gelöst werden können, indem der Wert der Farad je Flächenvorrichtung deutlich erhöht wird) oder als eine Komponente von Spannungswandlern in Spannungsverstärkungsschaltungen, möglicherweise zur Verwendung mit Schaltungsblöcken, einzelnen Mikroprozessorkernen oder Ähnliches.

[0044] Als ein Beispiel könnten höhere Kapazitätswerte in diesem Zusammenhang vorteilhaft sein, weil Teile der Schaltung dann nominell mit einer bestimmten (relativ niedrigen) Spannung laufen könnten, aber dann könnte die Spannung an Stellen, wo eine höhere Spannung benötigt wird, um die Geschwindigkeit zu erhöhen (z. B. Cache-Speicher, Eingabe/Ausgabe(I/O)-Anwendungen), auf einen höheren Wert angehoben werden. Ein Betriebsschema dieser Art würde wahrscheinlich gegenüber einem bevorzugt, bei welchem die höhere Spannung überall verwendet wird; d. h. in Fällen, wo nur eine geringe Menge an Schaltungen eine höhere Spannung benötigt, wäre es wahrscheinlich zu bevorzugen, die Spannung für diesen geringen Teil der Schaltungen von einer niedrigeren Grundspannung zu erhöhen, statt die Spannung für den Großteil der Schaltungen von einem höheren Grundwert zu senken. Zukünftige Mikroprozessorgenerationen können auch von Spannungswandlern des hierin beschriebenen Typs Gebrauch machen. Dass eine höhere Kapazität verfügbar ist, die um eine Packung oder um ein Mikroprozessor-Plättchen herum eingesetzt werden kann, kann dazu beitragen, das vorhandene Problem einer inakzeptabel

hohen Induktivität zwischen Transistoren zu lösen, welche um eine Schaltung herum Spannung übertragen.

[0045] Obwohl in der vorstehenden Beschreibung bestimmte Schritte und Materialien spezifiziert worden sind, welche in den Ausführungsformen verwendet werden können, erkennt der Fachmann, dass viele Modifikationen und Substitutionen vorgenommen werden können. Dementsprechend sollen all solche Modifikationen, Veränderungen, Substitutionen und Hinzufügungen als unter die Idee und den Umfang der Ausführungsformen fallend betrachtet werden, wie sie durch die anhängenden Patentansprüche definiert sind. Die hierin bereitgestellten Figuren veranschaulichen nur Teile von beispielhaften mikroelektronischen Strukturen, welche die Praxis der Ausführungsformen betreffen. Daher sind die Ausführungsformen nicht auf die hierin beschriebenen Strukturen beschränkt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Ladungsspeicherungsstruktur, das Verfahren umfassend:
Bilden von Poren in einem Siliciumsubstrat geringer Reinheit, um eine poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit zu bilden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend, wobei die Poren eine Tiefe von bis zu etwa 300 Mikrometern umfassen.

3. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend das Bilden eines elektrisch leitfähigen Materials in den Poren, wobei das elektrisch leitfähige Material die Poren auskleidet.

4. Verfahren nach Anspruch 3, ferner umfassend, wobei das elektrisch leitfähige Material durch ein Verfahren der Atomschichtabscheidung gebildet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das elektrisch leitfähige Material unter Anwendung eines aus einem Verfahren von Rolle zu Rolle und einem diskontinuierlichen Verfahren gebildet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4, wobei bei dem Verfahren der Atomschichtabscheidung die poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit durchströmt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 3, ferner umfassend das Bilden eines dielektrischen Materials auf dem elektrisch leitfähigen Material.

8. Verfahren nach Anspruch 3, ferner umfassend, wobei das elektrisch leitfähige Material mindestens eines aus Wolfram, Aluminium, Kupfer, Nickel, Eisen, Kobalt, Kohlenstoff, Palladium, Ruthenium, Zinn, Aluminiumtitannitrid, Titannitrid, Wolfram-

nitrid, Tantalnitrid, Wolframtitanitrid, Titansiliciumnitrid, Wolframsiliciumnitrid, Titanbornitrid und Molybdänitrid umfasst.

9. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend das Bilden eines dielektrischen Materials in den Poren.

10. Verfahren nach Anspruch 9, ferner umfassend das Bilden eines elektrisch leitfähigen Materials auf dem dielektrischen Material.

11. Verfahren nach Anspruch 9, ferner umfassend, wobei das dielektrische Material ein dielektrisches High-k-Material umfasst.

12. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend, wobei die Ladungsspeicherungsstruktur einen Abschnitt einer elektrochemischen Kondensatorstruktur umfasst.

13. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend das Bilden eines elektrochemischen Kondensators, welcher eine erste poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit und eine zweite poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit umfasst, die durch einen elektrischen Isolator getrennt sind.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei der elektrische Isolator zu einer Ionenleitfähigkeit fähig ist.

15. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend das Verwenden eines Elektrolyten zum Bilden einer elektrischen Doppelschicht in einer Pore, und wobei die Pore einen Kanal der elektrischen Doppelschicht umfasst.

16. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend, wobei das Substrat geringer Reinheit eines aus Silicium metallurgischer Güte und Polysilicium umfasst.

17. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend, wobei die poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit eines aus einem Dotierstoff des p-Typs und einem Dotierstoff des n-Typs umfasst.

18. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Pore eine abgeschrägte Struktur aufweist.

19. Verfahren nach Anspruch 13, ferner umfassend das Bilden mindestens eines aus einem hitzebeständigen Metalloxid, einem hitzebeständigen Metallnitrid und einem hitzebeständigen Metallcarbid auf einem aus der ersten porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit und der zweiten porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit.

20. Verfahren nach Anspruch 19, wobei der elektrochemische Kondensator einen Pseudokondensator umfasst.

21. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Poren durch eines aus elektrochemischem Ätzen, Anodisierung und Fleckenätzen gebildet werden.

22. Verfahren nach Anspruch 21, wobei das elektrochemische Ätzen ein diskontinuierliches elektrochemisches Ätzverfahren umfasst.

23. Verfahren, umfassend:

Bilden eines elektrochemischen Kondensators, welcher einen ersten Abschnitt und einen zweiten Abschnitt aufweist, wobei mindestens einer aus dem ersten Abschnitt und dem zweiten Abschnitt eine poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit umfasst; Anordnen eines dielektrischen Trennelements zwischen dem ersten Abschnitt und dem zweiten Abschnitt, wobei das Trennlement eine Übertragung von Ionenladungen ermöglicht; und Anordnen eines Elektrolyten in physischem Kontakt mit dem elektrochemischen Kondensator.

24. Verfahren nach Anspruch 23, ferner umfassend, wobei das poröse Siliciummaterial geringer Reinheit eine Reinheit von fünf Neunen oder weniger umfasst.

25. Verfahren nach Anspruch 23, ferner umfassend, wobei die poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit eines aus einem monokristallinen Siliciummaterial, einem polykristallinen Siliciummaterial, Silicium metallurgischer Güte, aufgesprühtem Silicium und Siliciumteilchen umfasst.

26. Verfahren nach Anspruch 24, ferner umfassend, wobei die poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit Poren umfasst, die durch eines aus elektrochemischem Ätzen, Anodisierung und Fleckenätzen gebildet werden.

27. Verfahren nach Anspruch 26, ferner umfassend das Bilden eines elektrisch leitfähigen Materials in den Poren, wobei das elektrisch leitfähige Material die Poren auskleidet.

28. Verfahren nach Anspruch 26, ferner umfassend das Bilden eines dielektrischen Materials in den Poren.

29. Verfahren nach Anspruch 23, ferner umfassend, wobei der Elektrolyt eine elektrische Doppelschicht in einer Pore bildet und wobei die Pore einen Kanal der elektrischen Doppelschicht umfasst.

30. Verfahren, umfassend:

Bilden von Siliciumteilchen geringer Reinheit; und Bilden von Poren in den Siliciumteilchen geringer Reinheit, um poröse Siliciumteilchen geringer Reinheit zu bilden.

31. Verfahren nach Anspruch 30, wobei die porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit aus einem Siliciumsubstrat geringer Reinheit gebildet werden, welches eine Reinheit von weniger als etwa fünf Neunen umfasst.

32. Verfahren nach Anspruch 30, ferner umfassend, wobei die Poren unter Anwendung eines aus einem elektrochemischen Ätzverfahren und einem Anodisierungsverfahren gebildet werden.

33. Verfahren nach Anspruch 30, ferner umfassend das Beschichten der porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit mit mindestens einem aus einem elektrisch leitfähigen Material und einem dielektrischen Material.

34. Verfahren nach Anspruch 33, wobei das poröse Siliciumsubstrat geringer Reinheit durch eines aus einer diskontinuierlichen Atomschichtabscheidung und einer Atomschichtabscheidung von Rolle zu Rolle beschichtet wird.

35. Verfahren nach Anspruch 30, ferner umfassend das Vermischen der porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit mit einem Bindemittelmaterial.

36. Verfahren nach Anspruch 35, wobei das Bindemittelmaterial mindestens eines aus Kohlenstoff-Nanoröhrchen und leitfähigen Polymeren umfasst.

37. Verfahren nach Anspruch 35, wobei das Bindemittelmaterial ein leitfähiges und mechanisch robustes Bindemittel umfasst.

38. Verfahren nach Anspruch 35, wobei das Bindemittelmaterial die Teilchen verbindet, um ein Netzwerk von Teilchen zu bilden, welche eine steuerbare Teilchengröße und Porosität aufweisen.

39. Verfahren nach Anspruch 30, ferner umfassend das Gießen der porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit auf ein Substrat, um eine Elektrodenstruktur zu bilden.

40. Verfahren nach Anspruch 39, wobei die porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit auf Folien gegossen werden können, um Elektroden einer elektrochemischen Kondensatorvorrichtung herzustellen.

41. Verfahren nach Anspruch 39, wobei die porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit durch ein Rakelauftragsverfahren auf Folien gegossen werden.

42. Verfahren, umfassend:

Bilden von Poren in einem Siliciumsubstrat geringer Reinheit, um eine poröse Siliciumstruktur geringer Reinheit zu bilden; und Bilden von porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit aus der porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit.

43. Verfahren nach Anspruch 42, ferner umfassend, wobei das poröse Siliciumsubstrat geringer Reinheit durch Atomschichtabscheidung mit einem aus einem leitfähigen Material und einem dielektrischen Material beschichtet wird.

44. Verfahren nach Anspruch 42, wobei das poröse Siliciumsubstrat geringer Reinheit durch Atomschichtabscheidung durch eines aus diskontinuierlicher Atomschichtabscheidung und Atomschichtabscheidung von Rolle zu Rolle beschichtet wird.

45. Verfahren nach Anspruch 42, ferner umfassend, wobei die Poren unter Anwendung eines elektrochemischen Ätzverfahrens gebildet werden.

46. Verfahren nach Anspruch 42, ferner umfassend das Vermischen der porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit mit einem Bindemittelmaterial.

47. Verfahren nach Anspruch 46, wobei das Bindemittelmaterial mindestens eines aus Kohlenstoff-Nanoröhrchen und leitfähigen Polymeren umfasst.

48. Verfahren nach Anspruch 46, wobei das Bindemittelmaterial ein leitfähiges und mechanisch robustes Bindemittel umfasst.

49. Verfahren nach Anspruch 46, wobei das Bindemittelmaterial die Teilchen verbindet, welche eine steuerbare Teilchengröße und Porosität aufweisen.

50. Struktur, umfassend:
einen Kondensator, welcher einen ersten Abschnitt und einen zweiten Abschnitt aufweist, die durch ein dielektrisches Material getrennt sind, wobei mindestens einer aus dem ersten Abschnitt und dem zweiten Abschnitt ein poröses Siliciummaterial geringer Reinheit umfasst.

51. Struktur nach Anspruch 50, ferner umfassend: ein elektrisch isoliertes Trennelement zwischen dem ersten Abschnitt und dem zweiten Abschnitt, wobei das Trennelement Ionenladungen übertragen kann; und
einen Elektrolyten in physischem Kontakt mit der elektrisch leitfähigen Struktur.

52. Struktur nach Anspruch 50, wobei das poröse Siliciummaterial geringer Reinheit Verunreinigungen enthält, welche mindestens eines aus Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Eisen, Aluminium, Kupfer, Titan, Mangan, Chrom, Nickel, Calcium, Zirconium, Natrium und Zink umfassen und wobei die Verunreinigungen ein Niveau umfassen, welches etwa 100 Mal höher als das der Verunreinigungen ist, die man in hochreinem porösem Siliciummaterial findet.

53. Struktur nach Anspruch 50, wobei mindestens einer aus dem ersten und zweiten Abschnitt Poren

aufweist und wobei die Poren eine Tiefe von bis zu etwa 300 Mikrometern aufweisen.

54. Struktur nach Anspruch 53, wobei die Poren mit einem elektrisch leitfähigen Material ausgekleidet sind.

55. Verfahren nach Anspruch 54, wobei das elektrisch leitfähige Material mindestens eines aus Wolfram, Aluminium, Kupfer, Nickel, Eisen, Kobalt, Kohlenstoff, Palladium, Ruthenium, Zinn, Aluminiumtitanit, Titannitrid, Wolframnitrid, Tantalnitrid, Wolframtitannitrid, Titansiliciumnitrid, Wolframsiliciumnitrid, Titanbornitrid und Molybdännitrid umfasst.

56. Struktur nach Anspruch 53, wobei die Poren mit einem dielektrischen Material ausgekleidet sind.

57. Struktur nach Anspruch 56, wobei das dielektrische Material ein dielektrisches High-k-Material umfasst.

58. Struktur nach Anspruch 50, wobei der Kondensator einen Abschnitt einer elektrochemischen Kondensatorstruktur umfasst.

59. Struktur nach Anspruch 50, wobei in mindestens einer Pore eine elektrische Doppelschicht angeordnet ist und wobei die mindestens eine Pore einen Kanal der elektrischen Doppelschicht umfasst.

60. Struktur nach Anspruch 50, wobei das poröse Siliciummaterial geringer Reinheit eines aus einem Dotierstoff des p-Typs und einem Dotierstoff des n-Typs umfasst.

61. Struktur nach Anspruch 53, wobei die Pore eine abgeschrägte Struktur aufweist.

62. Struktur nach Anspruch 50, wobei einer aus dem ersten und zweiten Abschnitt mindestens eines aus einem hitzebeständigen Metalloxid, einem hitzebeständigen Metallnitrid und einem hitzebeständigen Metallcarbid auf einem aus der ersten porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit und der zweiten porösen Siliciumstruktur geringer Reinheit umfasst.

63. Struktur nach Anspruch 62, wobei der Kondensator einen Pseudokondensator umfasst.

64. Struktur nach Anspruch 50, wobei das Siliciummaterial geringer Reinheit eines aus einem monokristallinen Siliciummaterial, einem polykristallinen Siliciummaterial, Silicium metallurgischer Güte, aufgesprühtem Silicium und Siliciumteilchen umfasst.

65. Struktur, umfassend:
mehrere diskrete Elektroden;
einen Elektrolyten in physischem Kontakt mit mindestens einigen der mehreren diskreten Elektroden; und

poröse Siliciumteilchen geringer Reinheit, die auf den Elektroden angeordnet sind.

66. Struktur nach Anspruch 65, wobei die porösen Siliciumteilchen geringer Reinheit Poren aufweisen, wobei die Poren eine Tiefe von bis zu etwa 300 nm aufweisen.

67. Struktur nach Anspruch 66, wobei die Poren mit mindestens einem aus einem elektrisch leitfähigen Material und einem dielektrischen Material ausgekleidet sind.

68. Verfahren nach Anspruch 67, wobei das elektrisch leitfähige Material mindestens eines aus Wolfram, Aluminium, Kupfer, Nickel, Eisen, Kobalt, Kohlenstoff, Palladium, Ruthenium, Zinn, Aluminiumtitanitrid, Titannitrid, Wolframnitrid, Tantalnitrid, Wolframtitanitrid, Titansiliciumnitrid, Wolframsiliciumnitrid, Titanbornitrid und Molybdänitrid umfasst.

69. Struktur nach Anspruch 66, wobei in mindestens einer Pore eine elektrische Doppelschicht angeordnet ist und wobei die mindestens eine Pore einen Kanal der elektrischen Doppelschicht umfasst.

70. Struktur nach Anspruch 65, wobei die Struktur einen Abschnitt einer elektrochemischen Kondensatorstruktur umfasst.

71. Struktur nach Anspruch 70, wobei die Kapazität des Kondensators mehr als 1 Millifarad beträgt.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

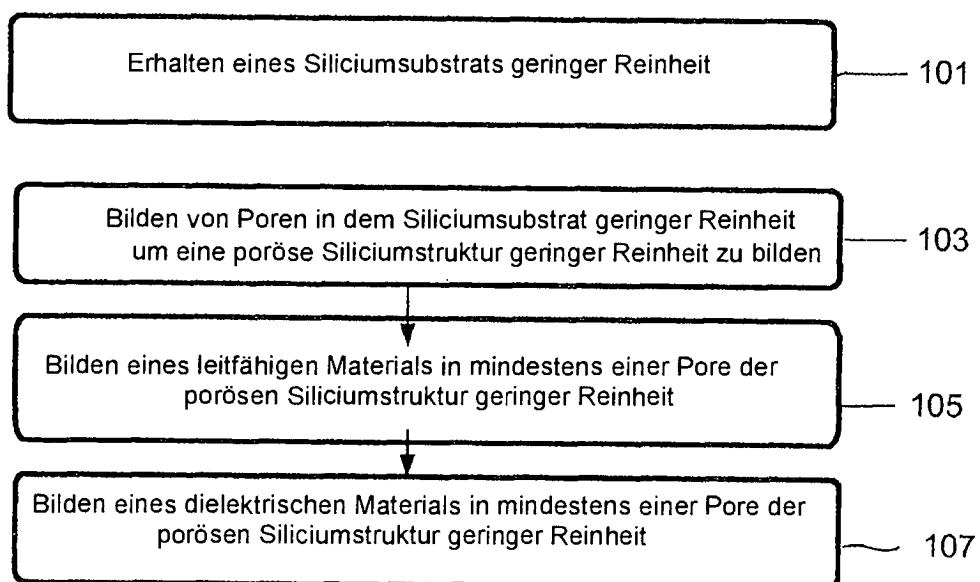


FIG. 1a

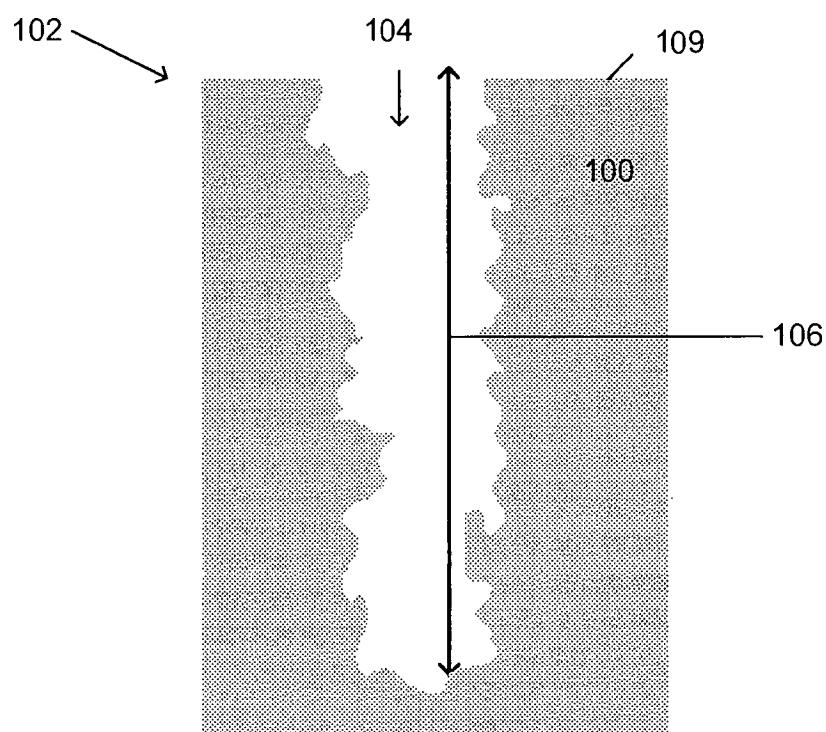


FIG. 1b

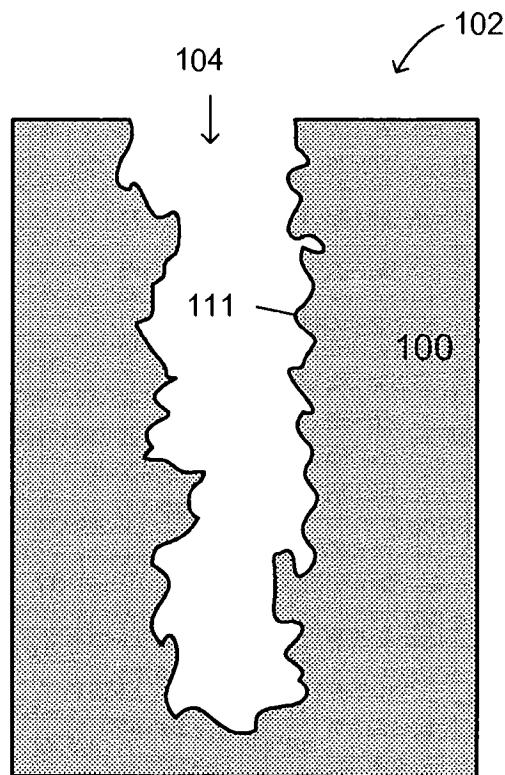


FIG. 1c

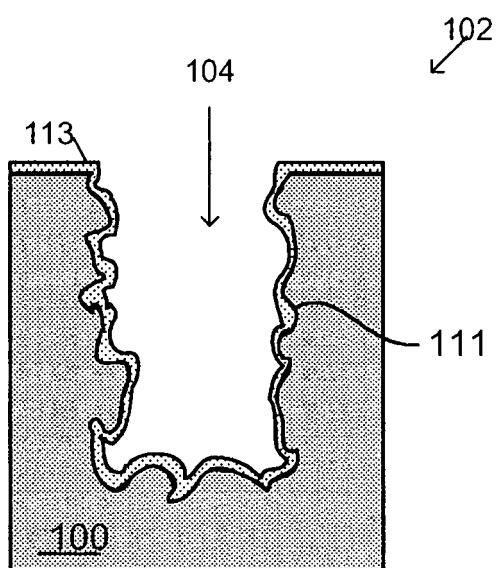


FIG. 1d

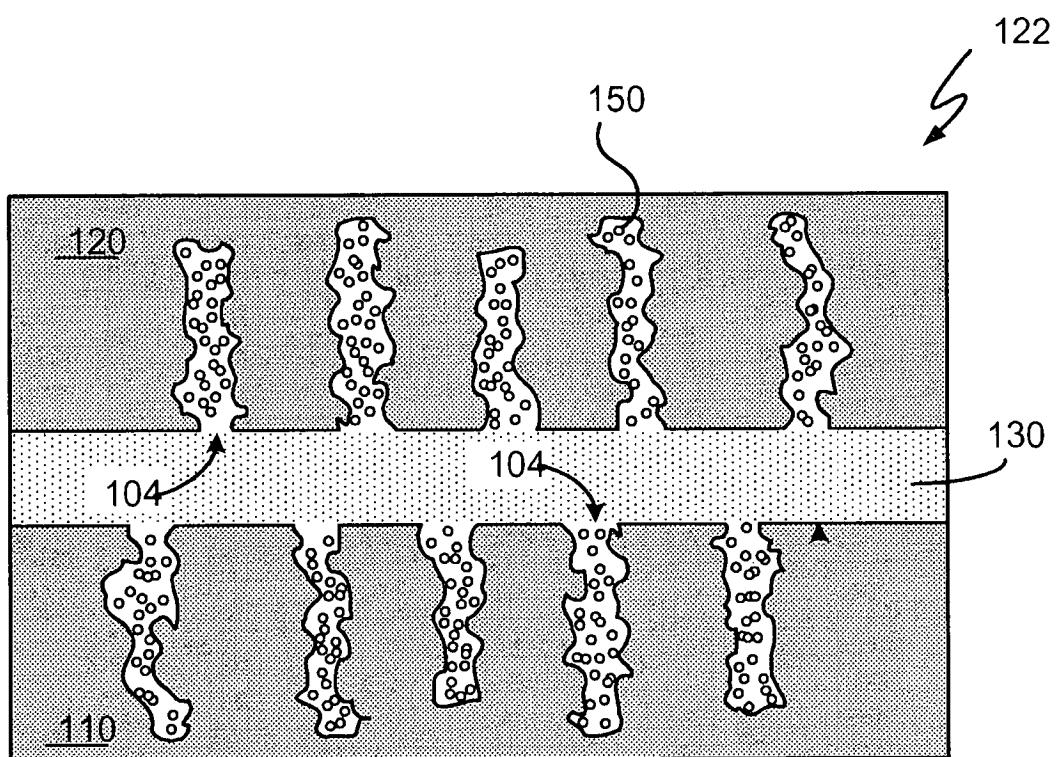


FIG. 1e

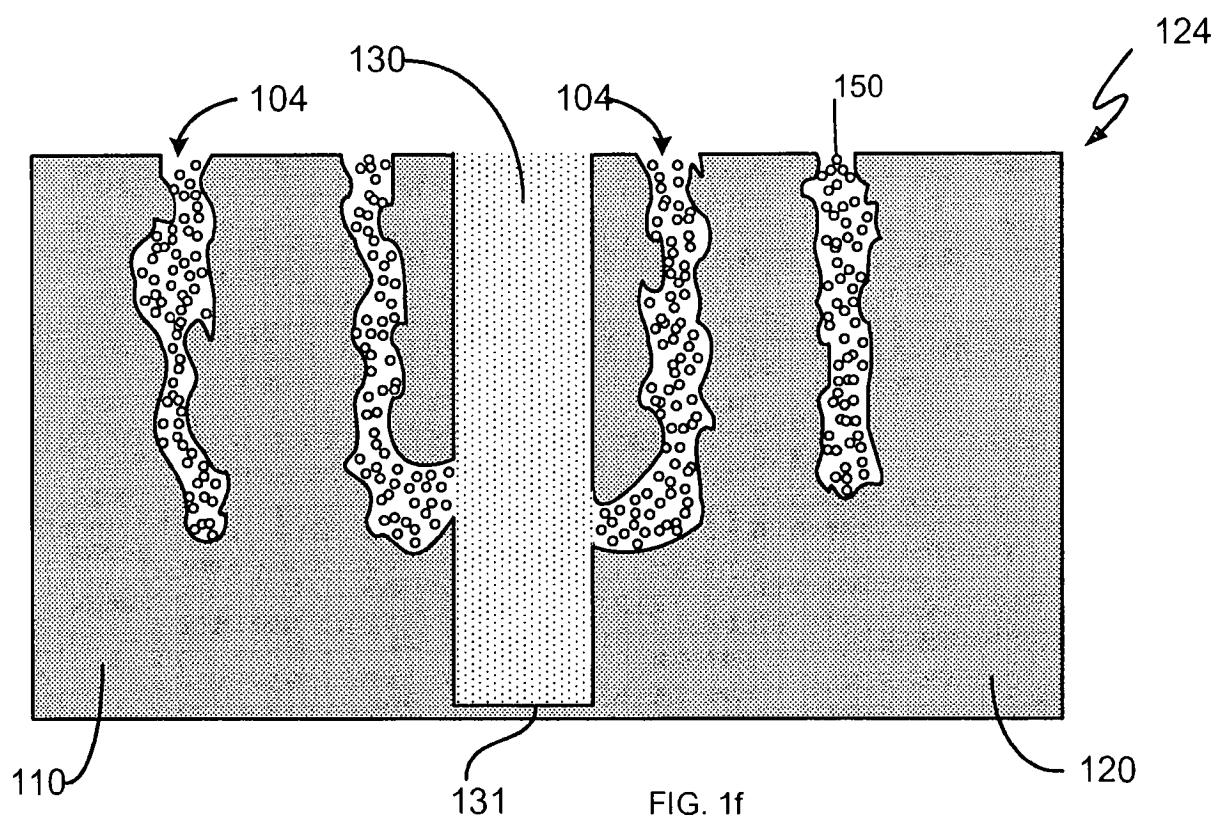


FIG. 1f

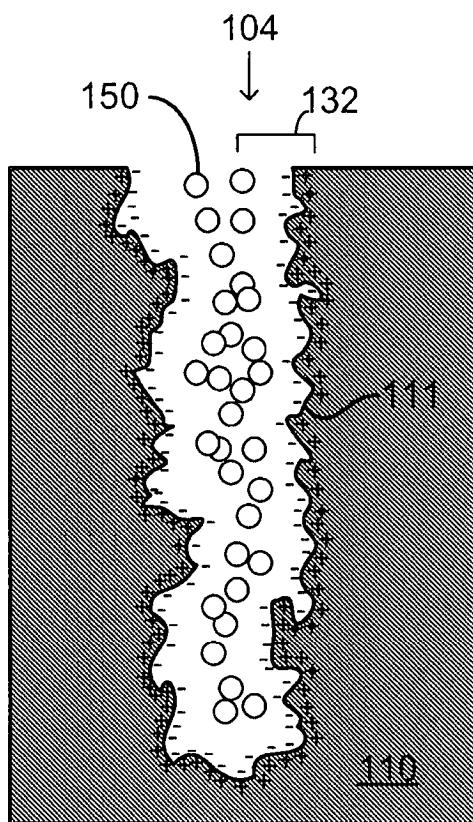


FIG. 1g

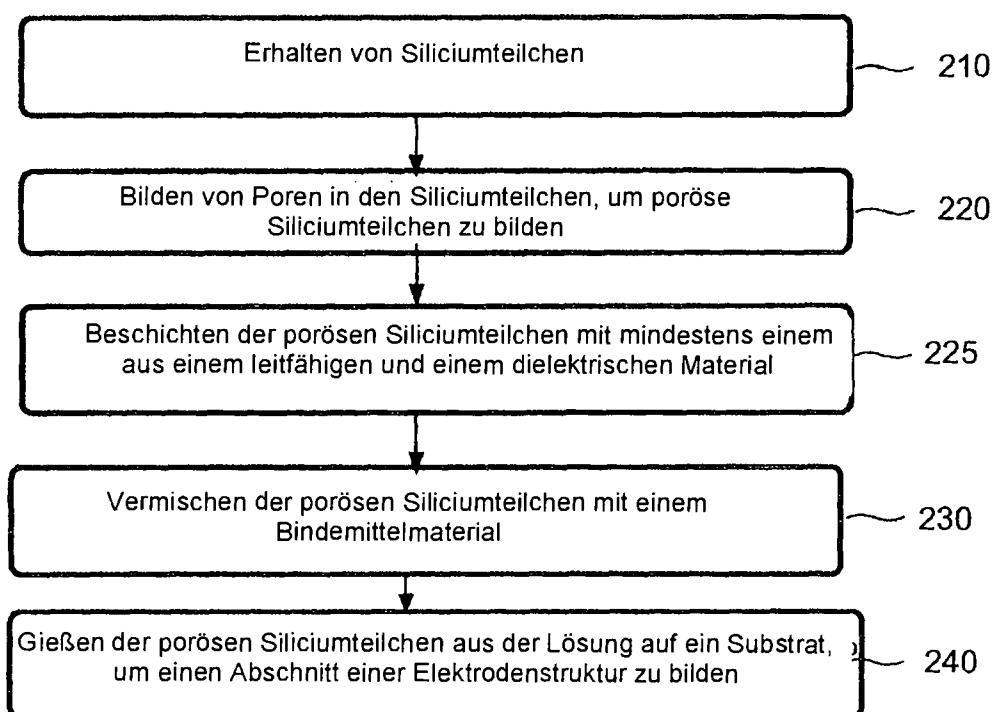


FIG. 2a

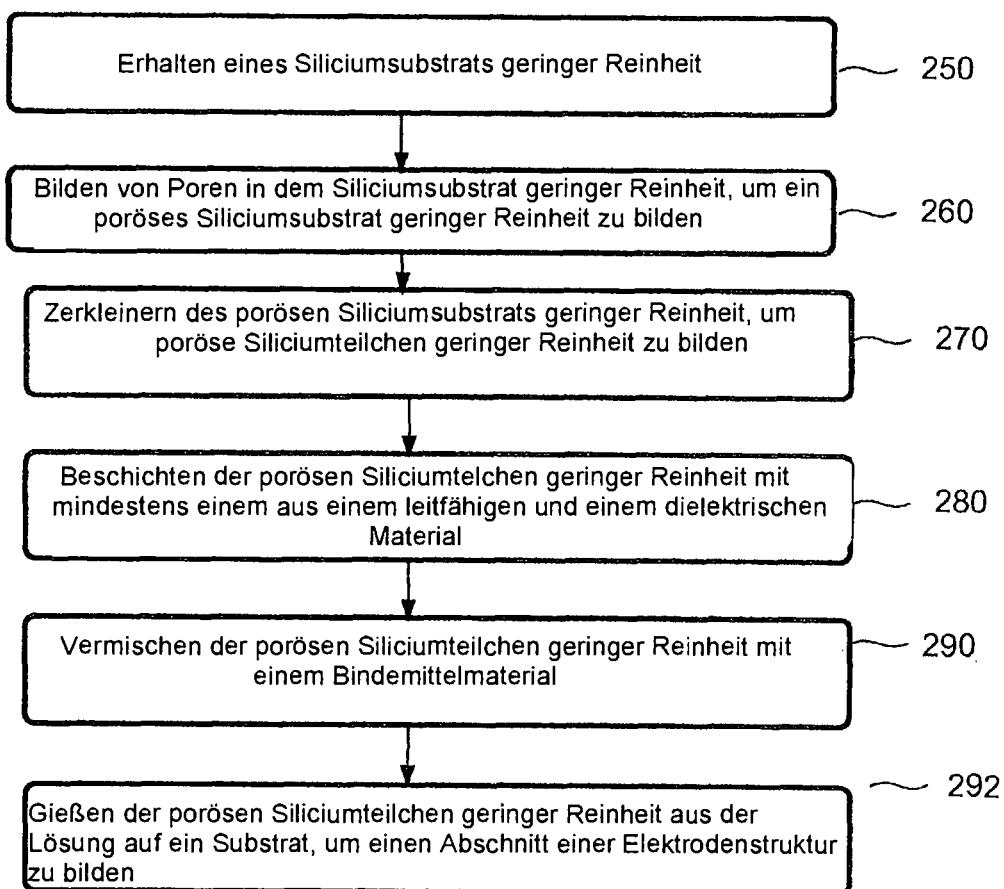


FIG. 2b

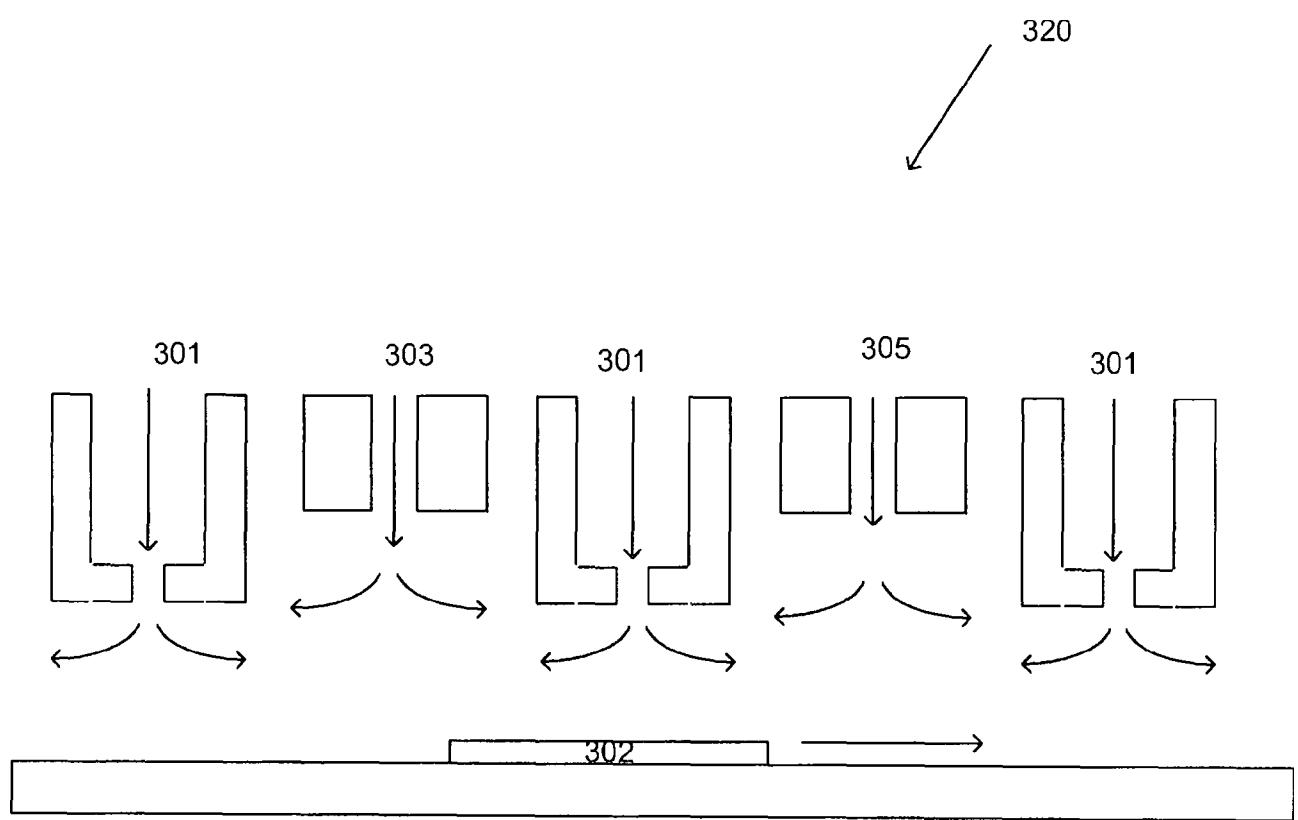


FIG. 3a

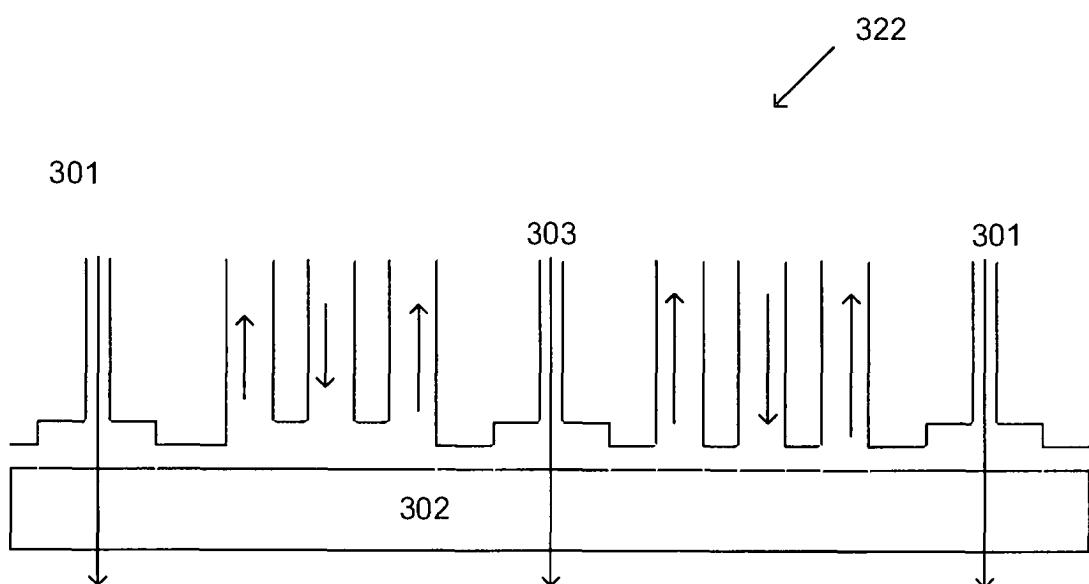


FIG. 3b

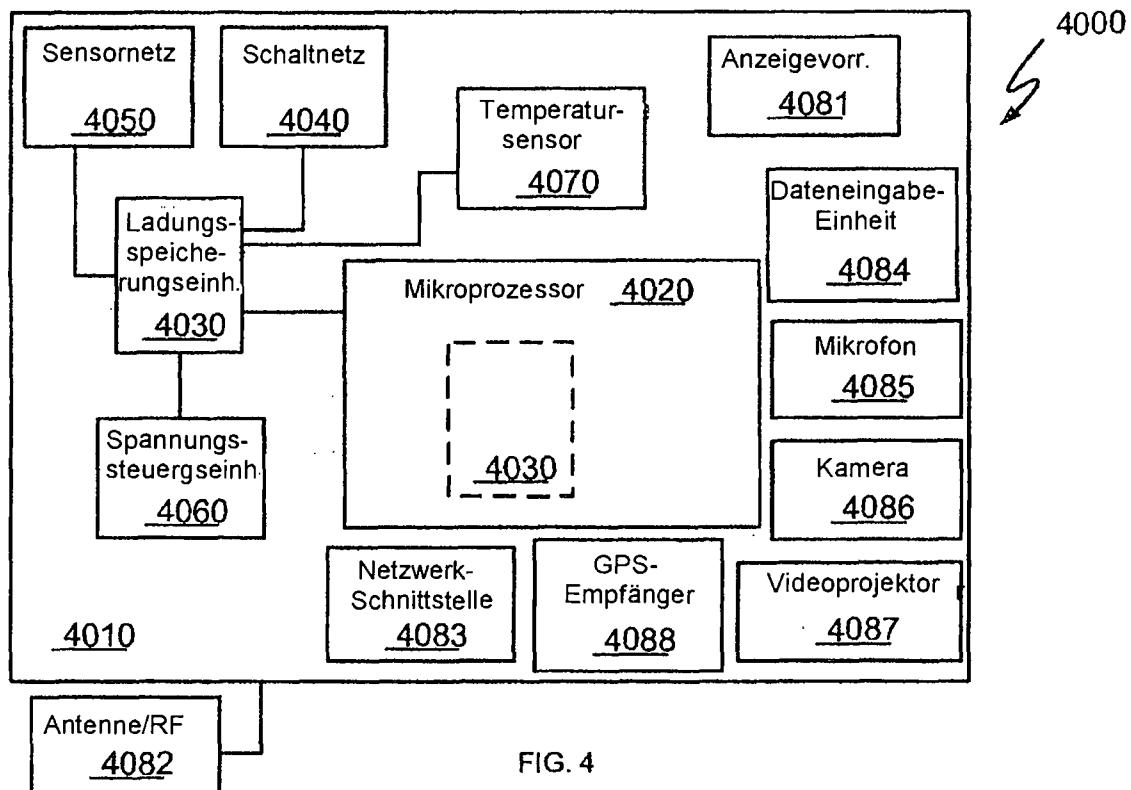


FIG. 4

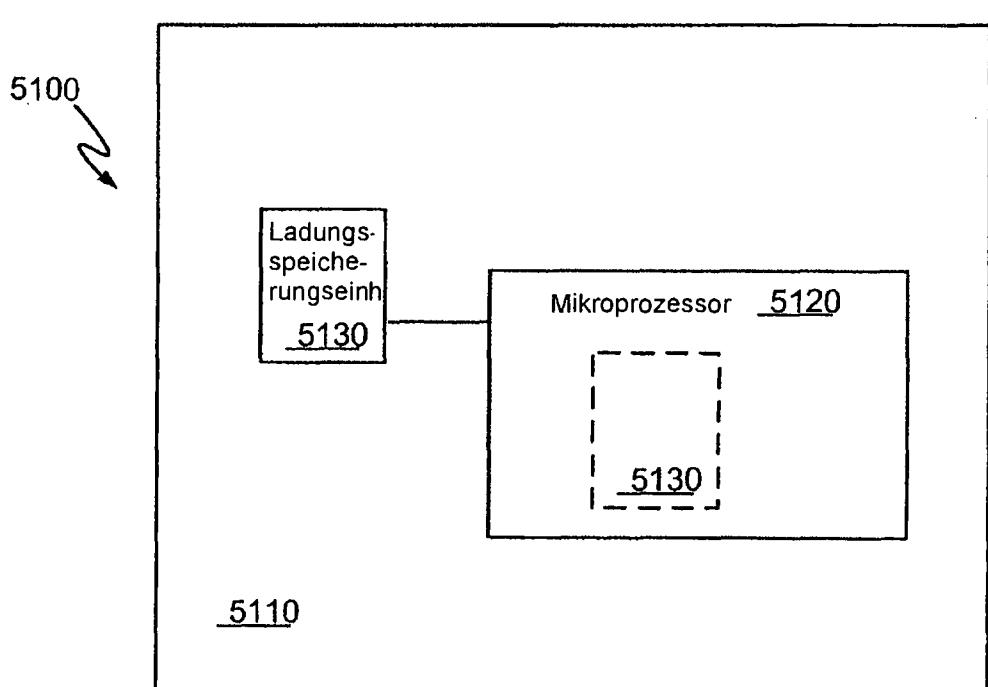


FIG. 5