



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 200 003.7**

(22) Anmeldetag: **04.01.2021**

(43) Offenlegungstag: **07.07.2022**

(51) Int Cl.: **G01R 31/27 (2006.01)**

G01R 31/12 (2020.01)

(71) Anmelder:

Robert Bosch Gesellschaft mit beschränkter Haftung, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:

Schatz, Frank, 70806 Kornwestheim, DE; Schary, Timo, 72631 Aichtal, DE; Monteiro Diniz Reis, Daniel, 73734 Esslingen, DE; Mews, Mathias, 72766 Reutlingen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

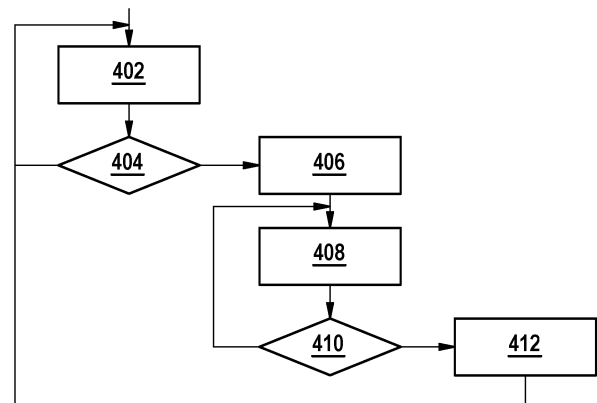
| | | |
|----|------------------|----|
| DE | 10 2019 210 032 | A1 |
| DE | 11 2012 004 202 | T5 |
| US | 2008 / 0 180 875 | A1 |
| US | 2020 / 0 065 449 | A1 |

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Verwendung eines Halbleiterbauelements**

(57) Zusammenfassung: Vorrichtung und Verfahren zur Verwendung eines Halbleiterbauelements in dem eine dielektrische Schicht zwischen einer ersten Elektrode und einer zweiten Elektrode des Halbleiterbauelements angeordnet ist, wobei in der dielektrischen Schicht Defekte einer ersten Defektart vorliegen, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Betreiben (402) des Halbleiterbauelements mit einer ersten Spannung mit einer ersten Polarität zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode, Bestimmen (404), ob eine Bedingung für ein Umschalten vom Betreiben des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung zum Betreiben des Halbleiterbauelements mit einer zweiten Spannung, die eine der ersten Polarität entgegengesetzte zweite Polarität aufweist, erfüllt ist oder nicht, Fortsetzen (402) des Betriebes des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung, wenn die Bedingung nicht erfüllt ist, und anderenfalls Beenden (406) des Betriebes des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung, und Betreiben (408) des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Verwendung eines Halbleiterbauelements.

[0002] Ein derartiges Halbleiterbauelement kann eine dielektrische Schicht mit Defekten enthalten. Die Defekte können im bestimmungsgemäßen Betrieb des Halbleiterbauelements in der dielektrischen Schicht zwischen Elektroden des Halbleiterbauelements wandern. Die Defekte können sich an einer der Elektroden anlagern. Dadurch kann ein dielektrischer Durchbruch an dieser Elektrode auftreten, der die Lebensdauer des Halbleiterbauelements verkürzt.

[0003] Nach einem dielektrischen Durchbruch ist eine Funktion des Halbleiterbauelements unter bestimmten Bedingungen wieder herstellbar. Dies wird beispielsweise in J. Wang, C. Salm, E. Houwman, M. Nguyen and J. Schmitz, „Humidity and polarity influence on MIM PZT capacitor degradation and breakdown,“ 2016 IEEE International Integrated Reliability Workshop (IIRW), South Lake Tahoe, CA, 2016, pp. 65-68, doi: 10.1109/IIRW.2016.7904903 beschrieben.

Offenbarung der Erfindung

[0004] Das Verfahren und die Vorrichtung nach den unabhängigen Ansprüchen ermöglichen eine Nutzung dieser Eigenschaft für eine Verlängerung der Lebenszeit des Halbleiterbauelements.

[0005] Das Verfahren zur Verwendung eines Halbleiterbauelements in dem eine dielektrische Schicht zwischen einer ersten Elektrode und einer zweiten Elektrode des Halbleiterbauelements angeordnet ist, wobei in der dielektrischen Schicht Defekte einer ersten Defektart vorliegen, umfasst die Schritte Betreiben des Halbleiterbauelements mit einer ersten Spannung mit einer ersten Polarität zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode, Bestimmen, ob eine Bedingung für ein Umschalten vom Betreiben des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung zum Betreiben des Halbleiterbauelements mit einer zweiten Spannung, die eine der ersten Polarität entgegengesetzte zweite Polarität aufweist, erfüllt ist oder nicht, Fortsetzen des Betriebes des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung, wenn die Bedingung nicht erfüllt ist, und anderenfalls Beenden des Betriebes des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung, und Betreiben des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode. Dadurch wird beim bestimmungsgemäßen Betreiben des Halbleiterbauelements mit

der ersten Spannung ein Reversionsprozess zuverlässig gestartet bevor ein die Lebenszeit des Halbleiterbauelements verkürzender dielektrischer Durchbruch auftritt.

[0006] Das Verfahren umfasst vorzugsweise die Schritte Bestimmen, ob eine Bedingung für ein Umschalten vom Betreiben des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung zum Betreiben des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung erfüllt ist oder nicht, Fortsetzen des Betriebes des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung, wenn die Bedingung nicht erfüllt ist, und anderenfalls Beenden des Betriebes des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung, und Betreiben des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode. Dies ermöglicht einen Dauerbetrieb des Halbleiterbauelements mit der bestimmungsgemäßen ersten Spannung und mit zwischengeschalteten Reversionsprozess.

[0007] Vorzugsweise wird eine Dauer des Betriebes des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung bestimmt, wobei die Bedingung für das Umschalten vom Betreiben des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung zum Betreiben des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung erfüllt ist, wenn die Dauer einen Grenzwert überschreitet, der durch einen Zeitraum definiert ist, in dem die zweite Spannung eine Bewegung von Defekten der ersten Defektart in eine vorgegebene Position in der dielektrischen Schicht in Richtung zur zweiten Elektrode hin bewirkt.

[0008] Vorzugsweise wird ein Leckstrom beim Betreiben des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung bestimmt, wobei die Bedingung für das Umschalten vom Betreiben des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung zum Betreiben des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung erfüllt ist, wenn der Leckstrom eine Schwelle überschreitet oder unterschreitet.

[0009] Vorzugsweise wird eine Dauer des Betriebes des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung bestimmt, wobei die Bedingung für das Umschalten vom Betreiben des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung zum Betreiben des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung erfüllt ist, wenn die Dauer einen Grenzwert überschreitet.

[0010] Vorzugsweise wird ein Leckstrom, der im Betrieb des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung fließt, bestimmt, wobei die Bedingung für das Umschalten vom Betreiben des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung zum Betreiben des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung

erfüllt ist, wenn der Leckstrom eine Schwelle überschreitet.

[0011] Das Halbleiterbauelement wird vorzugsweise beim Betreiben des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung geheizt.

[0012] Das Halbleiterbauelement wird beim Betreiben des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung vorzugsweise auf eine Temperatur geheizt, die höher ist, als eine Temperatur des Halbleiterbauelements beim Betreiben des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung.

[0013] Das Halbleiterbauelement wird vorzugsweise beim Betreiben des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung auf eine Temperatur in einem Bereich von 100°C bis 250°C geheizt, vorzugsweise auf eine Temperatur von 150°C oder 200°C. Eine höhere Spannung oder Temperatur bewirkt eine kürzere Zeit des Reversionsprozesses. Die Verkürzung der Dauer hängt nicht linear mit der Erhöhung der Temperatur oder der Erhöhung der zweiten Spannung zusammen. Eine zu hohe zweite Spannung oder Temperatur kann eine Zerstörung der zweiten Elektrode z.B. durch Anlagerung dort, bewirken. Die Anlagerung reduziert die Schottky Barriere und es kann ein dielektrischer Durchbruch erfolgen. Bei einer demgegenüber niedrigeren Spannung ist bei gleicher Temperatur der Schwellwert der Defektdichte, die zum Durchbruch führt, höher. Das bedeutet, die Temperatur kann mit abnehmender zweiter Spannung höher gewählt werden ohne dass es zu einem dielektrischen Durchbruch kommt. Die Temperatur ist ein guter Parameter, um die Geschwindigkeit der Bewegung der Defekte einzustellen.

[0014] Vorzugsweise treibt das Halbleiterbauelement im Betrieb mit der ersten Spannung einen Aktuator insbesondere ein MEMS, einen Mikrospiegel, einen Druckkopf oder einen Lautsprecher an, wobei der Aktuator im Betrieb mit der zweiten Spannung insbesondere in einem Ruhezustand eines Geräts nicht vom Halbleiterbauelement angetrieben wird.

[0015] Das Halbleiterbauelement kann mit einer gegenüber der ersten Spannung höheren zweiten Spannung betrieben werden.

[0016] Die Vorrichtung, umfasst das Halbleiterbauelement, das eine dielektrischen Schicht zwischen einer ersten Elektrode und einer zweiten Elektrode des Halbleiterbauelements aufweist, wobei in der dielektrischen Schicht Defekte einer ersten Defektart vorliegen, und eine Regel- und/oder Steuereinrichtung, die ausgebildet ist, Schritte im Verfahren auszuführen.

[0017] Die dielektrische Schicht kann Defekte wenigstens einer weiteren Defektart umfassen, die beim Anlegen der ersten Spannung in Richtung auf die zweite Elektrode zu bewegbar sind.

[0018] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus der folgenden Beschreibung und der Zeichnung.

[0019] In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer ersten Ausführung eines Halbleiterbauelements,

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführung eines Halbleiterbauelements,

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Ansteuern des Halbleiterbauelements,

Fig. 4 Schritte in einem Verfahren zur Verwendung eines Halbleiterbauelements,

Fig. 5 eine erste Dichte ρ einer Verteilung von Defekten im Halbleiterbauelement,

Fig. 6a bis Fig. 6d Stromverläufe,

Fig. 7 eine zweite Dichte ρ der Verteilung von Defekten im Halbleiterbauelement,

Fig. 8 eine dritte Dichte ρ der Verteilung von Defekten im Halbleiterbauelement.

[0020] **Fig. 1** stellt eine schematische Darstellung eines Halbleiterbauelements 100 gemäß einer ersten Ausführung dar. Das Halbleiterbauelement 100 umfasst eine erste Elektrode 102, eine zweite Elektrode 104 und eine dielektrische Schicht 106.

[0021] Die dielektrische Schicht 106 ist zwischen der ersten Elektrode 102 und der zweiten Elektrode 104 angeordnet. Im Beispiel sind die ersten Elektrode 102 und die zweite Elektrode 104 auf einander entgegengesetzten Seiten der dielektrischen Schicht 106 angeordnet.

[0022] In der dielektrischen Schicht liegen Defekte D1 einer ersten Defektart vor. Diese Defekte D1 sind im Beispiel in einer ersten Ausgangsposition angeordnet. Die erste Ausgangsposition ist im Beispiel durch einen Herstellungsprozess der dielektrischen Schicht 106 definiert. Die Defekte D1 sind insbesondere näher zur zweiten Elektrode 104 als zur ersten Elektrode 102 angeordnet.

[0023] **Fig. 2** stellt eine schematische Darstellung des Halbleiterbauelements 100 gemäß einer zweiten Ausführung dar. Das Halbleiterbauelement 100 gemäß der zweiten Ausführung ist wie das Halbleiterbauelement 100 gemäß der ersten Ausführung ausgeführt. Im Unterschied zur ersten Ausführung

liegen in der zweiten Ausführung in der dielektrischen Schicht zusätzlich Defekte einer zweiten Defektart vor. Diese Defekte D2 sind im Beispiel in einer zweiten Ausgangsposition angeordnet. Die zweite Ausgangsposition ist im Beispiel durch einen Herstellungsprozess der dielektrischen Schicht 106 definiert.

[0024] Die Defekte D2 sind im Beispiel an einer anderen Position als die Defekte D1 angeordnet. Die Defekte D2 sind insbesondere näher zur ersten Elektrode 102 als zur zweiten Elektrode 104 angeordnet.

[0025] Bei den Defekten D1 der ersten Defektart und den Defekten D2 der zweiten Defektart handelt es sich um geladene Defekte, die sich bei einem angelegten Potential zwischen der ersten Elektrode 102 und der zweiten Elektrode 104 entsprechend ihrer Ladung zu einer jeweiligen Grenzschicht zwischen dielektrischer Schicht 106 und entweder erster Elektrode 102 oder zweiter Elektrode 104 bewegen. Die Grenzschicht wird im Folgenden als „Interface“ bezeichnet. Dieser Transport der geladenen Defekte wird dabei durch Defekteigenschaften und einem „Hopping Mechanismus“ bestimmt.

[0026] Hopping-Mechanismus bedeutet in diesem Zusammenhang, dass eine Verlagerung, d.h. ein Hopping, der Defekte in einem durch die jeweilige angelegte Spannung U in der dielektrischen Schicht 106 der Dicke d wirkenden elektrischen Feld E stattfindet. Die Defekte einer Defektart i bewegen sich entlang lokalisierter Defektzustände mit einem mittleren effektiven Abstand a_i . Dies führt zu einer Geschwindigkeit v_i der Bewegung der Defekte der Defektart i. Die Geschwindigkeit v_i wird über den bekannten Ansatz von Variable Range Hopping beschrieben:

$$v_i = C_{0,i}(a_i) e^{-\frac{E_{A,0,i}}{k_B T}} \sinh\left(\frac{N_{q,i} a_i E}{k_B T}\right) \text{ mit } E = \frac{U}{d}$$

$$C_{0,i}(a_i) = v_0 a_i e^{-\frac{2a_i}{a}}$$

[0027] Hierbei repräsentiert $C_{0,i}(a_i)$ eine Funktion, die einen Einfluss einer örtlichen Defektverteilung auf eine in der dielektrischen Schicht 106 charakteristische Geschwindigkeit v_i der Defekte i darstellt. Diese Defektverteilung stellt eine Eigenschaft des dielektrischen Schicht 106 dar. Diese Eigenschaft bestimmt die Bewegung der Defekte der Defektart i in der dielektrischen Schicht 106 mit. Die Parameter Abklinglänge a, mittlerer effektiver Abstand a_i , Aktivierungsenergie $E_{A,0,i}$, elektrische Ladung $N_{q,i}$ der Defekte der Defektart i sind physikalische Eigenschaften. Mit k_B ist die Boltzmannkonstante bezeichnet. Mit T ist die Temperatur der Umgebung des

betrachteten Defekts insbesondere die Temperatur in der dielektrischen Schicht 106 bezeichnet.

[0028] Bis zu einem dielektrischen Versagen kann ein zeitlicher Verlauf einer Leckstromdichte J_{TED} , über die Gleichung der Thermionic-Emission-Diffusion Theorie nach Crowell and Sze bestimmt werden:

$$J_{TED} = \frac{q N_C v_R}{1 + \frac{v_R}{v_D}} e^{\frac{\Phi_B^{eff}}{k_B T}} \left[\frac{qU}{e^{k_B T} - 1} \right]$$

[0029] Hierbei repräsentiert q die Einheitsladung, N_C die effektive Zustandsdichte im Leitungsband, v_R die effektive Rekombinationsgeschwindigkeit, v_D die effektive Diffusionsgeschwindigkeit, Φ_B^{eff} die effektive Schottky-Barriere, k_B die Boltzmannkonstante, T die Temperatur der Umgebung und U Spannung über die dielektrische Schicht 106.

[0030] Defekte i mit positiver Ladung wandern zur Elektrode mit negativem Potential und lagern sich in deren Nähe in der dielektrischen Schicht an. Defekte i mit negativer Ladung bewegen sich zur Elektrode mit positivem Potential, und lagern sich am Interface an. Dadurch ändert sich die effektive Schottky-Barriere Φ_B^{eff} .

[0031] Eine Barrierenhöhenänderung $\Delta\Phi_i$, welche durch Defekte i erzeugt werden, ist gekennzeichnet durch ihre Maximalhöhe $\delta\Phi_i$ und eine charakteristische Zeitkonstante τ_i . Die charakteristische Zeitkonstante τ_i definiert eine Zeitdauer, in der sich die Barrierenhöhenänderung $\Delta\Phi_i$ über der Zeit t am stärksten verändert:

$$\Delta\Phi_i(t) = \delta\Phi_i \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_i}} \right)$$

[0032] Die Maximalhöhe $\delta\Phi_i$ ist eine Funktion einer Anzahl Z_i von Defekten i und hängt von einer Art des

Interface ab. Mit dem Term $\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_i}} \right)$ wird eine statistische

Verteilung der Defekte i im Material insbesondere um die jeweilige Ausgangsposition beschrieben. Die Ausgangsposition stellt im Beispiel einen Schwerpunkt der Verteilung dar.

[0033] Die Zeitkonstante τ_i kann für die Bewegung unter dem Einfluss einer ersten Spannung U1 anders sein, als für die Bewegung unter dem Einfluss einer zweiten Spannung U2. Die Zeitkonstant τ_i kann durch eine Beweglichkeit der Defekte i unter einem Einfluss des elektrischen Feldes E in der dielektrischen Schicht 106 und den bis zum Erreichen des jeweili-

gen Interface zurückzulegenden Weg in der dielektrischen Schicht 106 definiert werden. Bei der Verlagerung im Inneren der dielektrischen Schicht 106 muss Defektart i einen Abstand d_i des Schwerpunktes seiner Verteilung zum Interface zurücklegen. Zusammen mit der Geschwindigkeit v_i resultiert die charakteristische Zeitkonstante τ_i für den Anlagerungsprozess der Defekte i in

$$\tau_i = \frac{d_i}{v_i}$$

[0034] Aus einer Messung des Leckstroms über Zeit und Auswertung des zeitabhängigen Verlaufs mittels der Gleichungen der Thermionic-Emission-Diffusion Theorie nach Crowell und Sze und dem zeitabhängigen Verhalten der Barrierenhöhenänderung ist die Zeitkonstante τ_i bestimmbar. Mittels mehrerer Messungen von τ_i unter verschiedenen Temperaturen T und Spannungen U , kann die Aktivierungsenergie $E_{A,0,i}$ und die elektrische Ladung $N_{q,i}$ der Defekte der Defektart i bestimmt werden

[0035] Während des Betriebs des Halbleiterbauelements 100 gemäß der ersten Ausführung unter Anlegen der ersten elektrischen Spannung U_1 mit einer ersten Polarität entsteht eine elektrische Belastung. Unter der elektrischen Belastung können geladene Defekte D_1 der ersten Defektart das Interface erreichen. Geladene Defekte D_1 der ersten Defektart, die das Interface erreichen, lagern sich am Interface an. Die Anlagerung von geladenen Defekten am Interface an der ersten Elektrode 102 während der elektrischen Belastung mit der ersten elektrischen Spannung U_1 ist ein reversibler Prozess, in dem Sinne, dass durch Anlegen der zweiten elektrischen Spannung U_2 mit einer der Polarität der ersten elektrischen Spannung U_1 entgegengesetzten Polarität diese geladenen Defekte D_1 der ersten Defektart sich entgegengesetzt bewegen und sich somit wieder von dem Interface entfernen.

[0036] Für den Betrieb des Halbleiterbauelements 100 gemäß der zweiten Ausführung gilt für die Defekte D_1 der ersten Defektart dasselbe. Die geladenen Defekte D_2 der zweiten Defektart können zudem durch die erste elektrische Spannung U_1 in dieselbe Richtung wie die Defekte D_1 der ersten Defektart oder in demgegenüber entgegengesetzter Richtung bewegbar sein. Eine Anlagerung der Defekte D_2 der zweiten Defektart an dem Interface, das diese beim Anlegen der ersten elektrischen Spannung anstreben, ist im Beispiel ebenfalls durch Anlegen der zweiten elektrischen Spannung U_2 reversibel.

[0037] Die erste Ausführung und die zweite Ausführung des Halbleiterbauelements 100 sind Beispiele. Das Halbleiterbauelement 100 kann mehr als zwei Elektroden aufweisen. Das Halbleiterbauelement

100 kann mehr als eine zwischen jeweils zwei Elektroden liegende dielektrische Schicht aufweisen.

[0038] Bei derartigen Halbleiterbauelementen ist ein dielektrischer Durchbruch möglich, wenn diese unter Anlegen einer elektrischen Spannung betrieben werden. Wenn ein dielektrischer Durchbruch auftritt, wird das Interface teilweise oder vollständig zerstört. Wenn ein dielektrischer Durchbruch auftritt, wird eine Lebensdauer des Halbleiterbauelements 100 verkürzt. Der dielektrische Durchbruch tritt beispielsweise auf, wenn eine Anzahl von geladenen Defekten, die sich am Interface anlagern, einen spannungsabhängigen Schwellwert überschreitet.

[0039] Durch eine Optimierung von Prozessbedingungen und/oder einer Prozessführung bei einer Herstellung der dielektrischen Schicht 106 können physikalische Eigenschaften und herstellungsspezifische Einflüsse auf diese physikalischen Eigenschaften beeinflusst werden. Dadurch kann die Lebensdauer verlängert werden.

[0040] Durch die Prozessbedingungen und/oder die Prozessführung wird beispielsweise ein Wachstum, Wachstumsbedingungen, oder eine Materialkomposition beeinflusst. Durch die Prozessbedingungen und/oder die Prozessführung entsteht beispielsweise eine gewollte oder ungewollte Dotierung und/oder Verunreinigung während des Wachstumsprozesses oder in Folgeprozessen.

[0041] Die Lebensdauer des Halbleiterbauelements 100 wird, wie im Folgenden beschrieben, durch eine Veränderung der elektrischen Betriebsbedingungen während des Betriebes verlängert.

[0042] Erreicht wird dies durch eine Ausnutzung von reversiblen Degradationsvorgängen in der dielektrischen Schicht 106 und einer Umkehr der elektrischen Belastungsrichtung während der aktiven Lebensdauer des Halbleiterbauelements 100.

[0043] Dieses Verhalten der geladenen Defekte wird im Beispiel durch einen bestimmungsgemäßen Betrieb des Halbleiterbauelements 100 und durch eine gezielte Belastung außerhalb des bestimmungsgemäßen Betriebs entgegen der im bestimmungsgemäßen Betrieb gewählten Polarität ausgenutzt.

[0044] Damit wird beispielsweise

a) Die Anlagerung von Defekten oder von Defekten einer bestimmten Defektart gänzlich verhindert.

b) Die Anlagerung von Defekten oder von Defekten einer bestimmten Defektart nur bis zu einem bestimmbaren Grad, im Beispiel einer

Anzahl von Defekten am Interface, die kleiner als der Schwellwert ist, zugelassen.

c) Die Anlagerung von Defekten oder von Defekten einer bestimmten Defektart am Interface gänzlich oder zu einem bestimmtem Grad rückgängig gemacht.

[0045] Eine Anlagerung von Defekten am Interface ist immer mit einem Einfluss auf das Interface verbunden und bestimmt so ein Leckstromlevel.

[0046] Ein Ziel des im Folgenden beschriebenen Verfahrens kann sein, einen dielektrischen Durchbruch zu verhindern, in dem eine Anlagerung größer einer kritischen Defektdichte verhindert wird.

[0047] Ein Ziel des im Folgenden beschriebenen Verfahrens kann sein, ein maximales Leckstromlevel zu gewährleisten, in dem eine Anlagerung größer einer dem maximalen Leckstromlevel entsprechenden Defektdichte verhindert wird.

[0048] Eine Effektivität des im Folgenden beschriebenen Verfahrens kann durch eine Wahl der zweiten Spannung U2 für eine gezielte Belastung des Halbleiterbauelements 100 oder durch eine Wahl einer Temperatur unter der die gezielte Belastung angewandt wird, beeinflusst und optimiert werden.

[0049] Eine höhere oder niedrige Temperatur kann beispielsweise über ein Heiz- oder Kühlelement eingestellt werden. Eine Optimierung besteht zum Beispiel dann, wenn durch die Temperatur oder die gewählte zweite Spannung U2 die Bewegungsgeschwindigkeit der beteiligten Defekte so ist, dass die Umkehr der Anlagerung deutlich schneller erfolgt als die insbesondere nachteilige Anlagerung unter Betriebsbedingungen für den bestimmungsgemäßen Betrieb des Halbleiterbauelements 100.

[0050] Das Verfahren ist durch ein gezieltes Management des Betriebs des Halbleiterbauelements 100 optimierbar. Beispielsweise kann ein Zeitpunkt für das Anlegen der zweiten Spannung U2 systematisch gewählt werden. Der Zeitpunkt wird beispielsweise für ein Gerät, das das Halbleiterbauelement 100 und einen Akkumulator zum Anlegen der ersten Spannung U1 im bestimmungsgemäßen Betrieb umfasst, derart bestimmt, dass der Zeitpunkt während eines Ladezyklus des Akkumulators liegt. Dadurch wird ein ungewollter Energieverbrauch aus dem Akkumulator verhindert. Der Zeitpunkt kann auch in vom Nutzer des Geräts definierbaren Intervallen liegen. Der Zeitpunkt definiert beispielsweise einen Start eines Zeitraums in dem die zweite Spannung U2 angelegt wird. Dadurch können Zeiträume verhindert werden, in denen das Gerät ungewollt nicht für den bestimmungsgemäßen Betrieb zur Verfügung steht. Der Zeitpunkt kann anhand einer Betriebsdauer des Geräts und/oder eines Belas-

tungsprofils des Halbleiterbauelements oder des Akkumulators oder des Geräts insbesondere intervallhaft festgelegt werden.

[0051] Der Zeitpunkt kann dann sein, wenn die Dauer des Betriebs mit der ersten Spannung die Zeitkonstante t_1 erreicht. Der Zeitpunkt kann vor Erreichen der Zeitkonstante t_1 liegen. Der Zeitpunkt kann abhängig von der Zeitkonstante t_1 bestimmt werden. Beispielsweise wird der Zeitpunkt z bestimmt als

$$z = t_1 - s$$

wobei s ein Sicherheitsabschlag ist, beispielsweise in einer Größenordnung von 10^3 Sekunden.

[0052] Der Zeitpunkt kann durch eine Überwachung des Leckstroms an das tatsächliche Verhalten des Halbleiterbauelements 100 angepasst werden.

[0053] Beispielsweise wird abhängig von einem deterministischen Verlauf einer Leckstromdegradation und abhängig von Kenntnissen über den Leckstrommechanismus und das Belastungsprofil der Zeitpunkt, ein Intervall und/oder ein Stromlevel bestimmt, ab dem der Betrieb mit der zweiten Spannung U2 stattfinden soll.

[0054] Eine weitere Umsetzung könnte durch Betrieb mit der ersten Spannung U1 und der zweiten Spannung U2 unter insbesondere zeitgesteuertem oder ereignisgesteuertem Wechsel der Betriebspolarität gewährleistet werden.

[0055] Für eine bevorzugte Umsetzung des Verfahrens wird der Zeitpunkt oder die Zeitdauer derart bestimmt, dass durch den Betrieb mit der zweiten Spannung U2 kein dielektrischer Durchbruch oder kein hohes Leckstromlevel aufgrund von Anlagerung am entgegengesetzten Interface hervorgerufen wird.

[0056] In **Fig. 3** ist eine Vorrichtung 300 zum Ansteuern des Halbleiterbauelements 100 dargestellt. Das Halbleiterbauelement 100 ist im Beispiel ausgebildet, einen Aktuator anzutreiben. Der Aktuator ist insbesondere ein MEMS, ein Mikrospiegel, ein Druckkopf oder ein Lautsprecher. Der Aktuator wird im Betrieb mit der zweiten Spannung U2 insbesondere in einem Ruhezustand des Geräts nicht vom Halbleiterbauelement 100 angetrieben wird

[0057] Die Vorrichtung 300 umfasst eine Regel- und/oder Steuereinrichtung 302, die ausgebildet ist, Schritte in einem im Folgenden beschriebenen Verfahren zum Ansteuern des Halbleiterbauelements 100 auszuführen. Die Vorrichtung 300 ist über einen ersten Leiter 304 mit der ersten Elektrode 102 des Halbleiterbauelements 100 zumindest zeitweise verbindbar. Die Vorrichtung 300 ist über einen zwei-

ten Leiter 306 mit der zweiten Elektrode 104 des Halbleiterbauelements 300 zumindest zeitweise verbindbar.

[0058] Die Regel- und/oder Steuereinrichtung 302 ist im Beispiel ausgebildet, die erste Spannung U1 mit der ersten Polarität auszugeben. Die erste Spannung U1 liegt im Beispiel zwischen der ersten Elektrode 102 und der zweiten Elektrode 104 an, wenn diese mit dem jeweiligen Leiter mit der Vorrichtung 300 verbunden sind und die Regel- und/oder Steuereinrichtung 302 die erste Spannung U1 ausgibt.

[0059] Die Regel- und/oder Steuereinrichtung 302 ist im Beispiel ausgebildet, die zweite Spannung U2 mit der zweiten Polarität auszugeben. Die zweite Polarität ist im Beispiel der ersten Polarität entgegengesetzt. Die zweite Spannung U2 liegt im Beispiel zwischen der ersten Elektrode 102 und der zweiten Elektrode 104 an, wenn diese mit dem jeweiligen Leiter mit der Vorrichtung 300 verbunden sind und die Regel- und/oder Steuereinrichtung 302 die zweite Spannung U2 ausgibt.

[0060] Die Steuereinrichtung kann ausgebildet sein, ein unipolares Wechselstromsignal für die erste Spannung U1 auszugeben. Ein Gleichspannungsanteil der ersten Spannung U1 liegt beispielsweise in einem Bereich von 5 Volt bis 80 Volt und beträgt vorzugsweise 5 Volt, 10 Volt oder 20 Volt oder 80 Volt. Der Wechselspannungsanteil der ersten Spannung U1 kann betragsmäßig beispielsweise kleiner oder gleich dem Gleichspannungsanteil sein. Vorzugsweise beträgt der Wechselspannungsanteil bei 5 Volt +/- 3 Volt oder bei 10 Volt +/- 5 Volt oder bei 20 Volt +/- 15 Volt oder bei 80 Volt +/- 60 Volt.

[0061] Die Steuereinrichtung kann ausgebildet sein, einen im Wesentlichen konstanten Wert für die zweite Spannung U2 auszugeben. Die zweite Spannung U2 ist im Beispiel größer, beispielsweise 15 Volt größer, als die erste Spannung U1 im bestimmungsgemäßen Betrieb. Dieser Wert liegt beispielsweise in einem Bereich von 1 Volt bis 150 Volt und beträgt vorzugsweise 2 Volt oder -5 Volt oder 10 Volt oder 20 Volt oder 40 Volt oder 80 Volt oder 100 Volt.

[0062] Für einen Dauerbetrieb kann die Steuereinrichtung ausgebildet sein, stattdessen ein unipolares Wechselstromsignal für die zweite Spannung U2 auszugeben. Das unipolare Wechselstromsignal für die zweite Spannung U2 ist beispielsweise das unipolare Wechselstromsignal für die erste Spannung U1 mit entgegengesetzter Polarität.

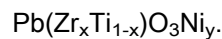
[0063] Bevorzugt ist die dielektrische Schicht 106 als polykristallines oxidisches high-k Dielektrika ausgebildet.

[0064] Die dielektrische Schicht 106 ist insbesondere als PZT-Schicht ausgebildet. PZT bezeichnet hierbei $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$.

[0065] Die dielektrische Schicht 106 ist insbesondere als KNN-Schicht ausgebildet. KNN bezeichnet hierbei $(\text{K}_x\text{Na}_{1-x})\text{NbO}_3$.

[0066] Die dielektrische Schicht 106 kann insbesondere als HfO_2 -, HfZrO_2 -, ZrO_2 -, BaTiO_3 -, SrTiO_3 - oder $(\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x})\text{TiO}_3$ -Schicht ausgebildet sein.

[0067] Bevorzugt ist die dielektrische Schicht 106 dotiert. Beispielsweise ist die dielektrische Schicht 106 eine PZT-Schicht, die mit Nickel-Dotiert ist:



[0068] Sowohl die PZT-Schicht als auch die KNN-Schicht kann andere Dotierungen als Nickel aufweisen, beispielsweise Nb, La, Mn, Mg.

[0069] Vorzugsweise ist die dielektrische Schicht 106 als gesputterte PZT-Schicht ausgebildet. Hierbei wird das sogenannte Target-Material in einem Plasma auf einem Substrat abgeschieden. Als Target-Material wird beispielsweise PZT verwendet. Bevorzugt weist die gesputterte PZT-Schicht in diesem Zusammenhang eine Abscheidetemperatur von kleiner als 500°C auf.

[0070] Bevorzugt ist die Dicke der dielektrischen Schicht 106 im Bereich 500 nm bis 4 µm. Das ist ein für Aktorik sinnvoller Bereich. Vorzugsweise ist die Schichtdicke 1 µm, oder 4 µm. Größere Schichtdicken sind ebenfalls möglich. Das beschriebene Vorgehen ist für alle Schichtdicken ausführbar.

[0071] Geringere Schichtdicken sind ebenfalls möglich. Bevorzugt ist die Dicke der dielektrischen Schicht im Bereich kleiner 500nm beispielsweise für Anwendungen abseits der Aktorik. Ein Beispiel dafür ist eine Anwendung von high-k Dielektrika, z.B. als Speicher. Der Speicher kann ein resistive Random Access Memory, ReRAM, oder ein ferroelectric Random Access Memory, FeRAM, sein. Für diese anderen Anwendungen sind je nach Anwendung Dicken von 15 nm - 200 nm sinnvoll.

[0072] Zusätzlich sind sehr dünne high-k Dielektrika mit Schichten z.B. als Gate-Oxide in sehr vielen Anwendungen einsetzbar. Als dielektrische Schicht 106 kann z.B. HfO_2 oder SiO_2 mit einer Schichtdicke kleiner oder gleich 50nm vorgesehen sein.

[0073] Die Regeleinrichtung kann ausgebildet sein, einen Sollwert für die erste Spannung U1 einzuregeln. Dieser Sollwert liegt beispielsweise in einem Bereich von 1 Volt bis 20 Volt.

[0074] Die Regeleinrichtung kann ausgebildet sein, einen Sollwert für die zweite Spannung U2 einzuregeln. Dieser Sollwert liegt beispielsweise in einem Bereich von -1 Volt bis -20 Volt.

[0075] In diesem Fall kann eine Spannungsmesseinrichtung vorgesehen sein, die ausgebildet ist, die Spannung zwischen der ersten Elektrode 102 und der zweiten Elektrode 104 zu erfassen. Die Regeleinrichtung ist in diesem Fall ausgebildet, eine Regelabweichung zu reduzieren, die abhängig von einer Differenz dieser erfassten Spannung zum Sollwert bestimmt wird.

[0076] Die Vorrichtung 300 umfasst im Beispiel optional eine Heizeinrichtung 308. Die Heizeinrichtung 308 ist im Beispiel ausgebildet, die dielektrische Schicht 106 zu heizen. Die Heizeinrichtung 308 kann als eine Heizspirale ausgeführt sein. Die Heizeinrichtung 308 ist im Beispiel an der dielektrischen Schicht 106 angeordnet. Die Heizeinrichtung 308 ist im Beispiel elektrisch und/oder elektromagnetisch isoliert von der dielektrischen Schicht 106 angeordnet. Eine entsprechende Anordnung an einer dielektrischen Schicht 106 abgewandten Seite einer der Elektroden ist auch möglich.

[0077] Die Heizeinrichtung 308 kann auch außen an einem Gehäuse um das Halbleiterelement 100 angeordnet sein. Im Gehäuse kann die dielektrische Schicht 106 und die erste Elektrode 102 und die zweite Elektrode 104 angeordnet sein.

[0078] Im Beispiel ist die Heizeinrichtung 308 über einen ersten Kontakt 310 und einen zweiten Kontakt 312 elektrisch heizbar.

[0079] Die Regel- und/oder Steuereinrichtung 302 ist beispielsweise über einen dritten Leiter 314 mit dem ersten Kontakt 310 und über einen vierten Leiter 316 mit dem zweiten Kontakt 312 zumindest zeitweise verbindbar, um einen Strom I1 durch die Heizeinrichtung 308 zu bewirken.

[0080] Die Regel- und/oder Steuereinrichtung 302 ist im Beispiel ausgebildet, den Strom I1 auszugeben.

[0081] Die Vorrichtung 300 umfasst in diesem Beispiel optional eine Spannungsquelle oder Stromquelle 318. Die Spannungs- oder Stromquelle 318 kann auch außerhalb der Vorrichtung angeordnet sein. In der Regel- und/oder Steuereinrichtung 302 ist im Beispiel eine Recheneinrichtung 320, insbesondere ein Mikroprozessor vorgesehen, der ausgebildet ist, das Halbleiterbauelement 100 anzusteuern.

[0082] Die Steuereinrichtung kann ausgebildet sein, einen im Wesentlichen konstanten Wert für den

Strom I1 auszugeben. Dieser Wert liegt beispielsweise in einem Bereich, durch den die Heizeinrichtung 308 die dielektrische Schicht auf eine Temperatur zwischen 100° Celsius und 200° Celsius heizt.

[0083] Die Regeleinrichtung kann ausgebildet sein, einen Sollwert für den Strom I1 einzuregeln. Dieser Sollwert liegt beispielsweise in einem Bereich, durch den die Heizeinrichtung 308 die dielektrische Schicht auf eine Temperatur zwischen 100° Celsius und 200° Celsius heizt. In diesem Fall kann eine Temperaturmesseinrichtung vorgesehen sein, die ausgebildet ist, die Temperatur der dielektrischen Schicht 106 zu erfassen. Die Regeleinrichtung ist in diesem Fall ausgebildet, eine Regelabweichung zu reduzieren, die abhängig von einer Differenz dieser erfassten Temperatur zum Sollwert bestimmt wird. Die Temperatur kann auch an anderer Stelle, z.B. am Gehäuse, der Heizeinrichtung 210 oder der in einer Umgebung der dielektrischen Schicht 106 erfasst werden.

[0084] Optional umfasst die Vorrichtung 300 eine Strommeseinrichtung, die ausgebildet ist, einen Strom zu erfassen, der durch die erste Elektrode 102 oder die zweite Elektrode 104 fließt. Es kann vorgesehen sein, dass die Strommeseinrichtung den Strom erfasst, der durch den ersten Leiter 304 fließt.

[0085] Es kann vorgesehen sein, dass die Strommeseinrichtung den Strom erfasst, der durch den zweiten Leiter 306 fließt.

[0086] Die Regel- und/oder Steuereinrichtung 302 ist ausgebildet, entweder die erste Spannung U1 oder die zweite Spannung U2 auszugeben.

[0087] Die Regel- und/oder Steuereinrichtung 302 kann optional ausgebildet sein, abhängig vom erfassten Strom entweder die erste Spannung U1 oder die zweite Spannung U2 auszugeben.

[0088] Ein Verfahren zur Verwendung des Halbleiterelements 100 wird im Folgenden anhand der **Fig. 4** beschrieben. Im Beispiel wird das Halbleiterelement 100 durch die Vorrichtung 300 angesteuert.

[0089] In einem Schritt 402 wird das Halbleiterbauelement 100 mit der ersten Spannung U1 mit der ersten Polarität zwischen der ersten Elektrode 102 und der zweiten Elektrode 104 betrieben.

[0090] In **Fig. 5** ist eine Dichte p einer Verteilung 500 der Defekte D1 der ersten Defektart über einen Verlauf x der dielektrischen Schicht 106 in der Ausgangsposition 502, d.h. dem Schwerpunkt der Verteilung 500 beim Beginn des Anlegens der ersten Spannung U1 im bestimmungsgemäßen Betrieb des Halbleiterbauelements 100, schematisch dargestellt. Die Dichte p der Defekte D1 der ersten Defektart ist in der Ausgangsposition 502 am größten und

fällt mit zunehmenden Abstand von der Ausgangsposition 502 stark ab. An einer Lage 508 der ersten Elektrode 102 und einer Lage 506 der zweiten Elektrode 104 geht die Dichte p im Beispiel gegen Null. Die Defekte D1 der ersten Defektart bewegen sich, während die erste Spannung U1 angelegt ist, in Richtung 504 von der Lage 506 der zweiten Elektrode 104 weg zu der Lage 508 der ersten Elektrode 102 hin. Bis zum Erreichen der Lage 508 der ersten Elektrode 102 müssen die meisten Defekte D1 der ersten Defektart eine Distanz 510 zwischen der Ausgangsposition 502 und der Lage 508 der ersten Elektrode 102 zurücklegen. Eine Zeitdauer bis die meisten Defekte D1 der ersten Defektart die Distanz 510 zurückgelegt haben, ist abhängig von einer Geschwindigkeit, mit der sich die Defekte D1 der ersten Defektart in der dielektrischen Schicht 106 bewegen, bestimmbar.

[0091] In einem Schritt 404 wird bestimmt, ob eine Bedingung für ein Umschalten vom Betrieb mit der ersten Spannung U1 zum Betrieb mit der zweiten Spannung U2 erfüllt ist. In einem Aspekt ist die Bedingung erfüllt, wenn eine Dauer des Betriebs des Halbleiterbauelements 100 mit der ersten Spannung U1 einen ersten Grenzwert überschreitet. In einem Aspekt ist die Bedingung erfüllt, wenn ein Leckstrom, der im Betrieb des Halbleiterbauelements 100 mit der ersten Spannung U1 durch die erste Elektrode 102, die zweite Elektrode 104 oder den ersten Leiter 302 oder den zweiten Leiter 304 fließt, eine Schwelle überschreitet.

[0092] Fig. 6a stellt einen Stromverlauf 600a über der Zeit t dar. Der Stromverlauf 600a ist bei einer Temperatur von 200° Celsius und der ersten Spannung U1 von -5 Volt zwischen der ersten Elektrode 102 und der zweiten Elektrode 104 zu erwarten, wenn der dielektrische Durchbruch vermieden wird.

[0093] Fig. 6b stellt einen Stromverlauf 600b über der Zeit t dar. Der Stromverlauf 600b ist bei einer Temperatur von 200° Celsius und der ersten Spannung U1 von -5 Volt zwischen der ersten Elektrode 102 und der zweiten Elektrode 104 zu erwarten, wenn der dielektrische Durchbruch nicht vermieden wird.

[0094] Der erste Grenzwert ist durch einen ersten Zeitraum definiert, in dem die erste Spannung U1 eine Bewegung von Defekten der ersten Defektart aus einer ersten Position in der dielektrischen Schicht 106 bis zu einer zweiten Position in der dielektrischen Schicht 106 in Richtung zur ersten Elektrode 102 hin bewirkt.

[0095] Der erste Grenzwert wird in einem Aspekt kürzer als die Zeitdauer bis die meisten Defekte D1 der ersten Defektart die Distanz 510 zurückgelegt haben gewählt, um eine Anzahl von Defekte D1 der

ersten Defektart zu reduzieren, die sich am Interface an der ersten Elektrode 102 anlagern.

[0096] Beispielsweise wird für den ersten Grenzwert eine Zeit von $1 \cdot 10^4$ Sekunden gewählt.

[0097] Wenn die Bedingung erfüllt ist, wird ein Schritt 406 ausgeführt. Anderenfalls wird der Schritt 402 ausgeführt.

[0098] Im Schritt 406 wird das Betreiben des Halbleiterbauelements 100 mit der ersten Spannung U1 beendet.

[0099] Anschließend wird ein Schritt 408 ausgeführt.

[0100] Im Schritt 408 wird das Halbleiterbauelement 100 mit der zweiten Spannung U2 zwischen der ersten Elektrode 102 und der zweiten Elektrode 104 betrieben.

[0101] Dadurch wird ein Reversionsprozess eingeleitet.

[0102] In Fig. 7 ist die Dichte p der Verteilung 500 der Defekte D1 der ersten Defektart über den Verlauf x der dielektrischen Schicht 106 beim Beginn des Anlegens der zweiten Spannung U2 schematisch dargestellt. Die Dichte p der Defekte D1 der ersten Defektart ist in einer Position 702, d.h. dem Schwerpunkt der Verteilung 500, am größten und fällt mit zunehmenden Abstand von der Position 702 stark ab. An der Lage 508 der ersten Elektrode 102 nimmt die Dichte p im Beispiel stark zu. Dort sind die im Betrieb des Halbleiterbauelements 100 mit der ersten Spannung U1 akkumulierten Defekte D1 der ersten Defektart angelagert. An der Lage 506 der zweiten Elektrode 104 geht die Dichte p im Beispiel gegen Null. Die Defekte D1 der ersten Defektart bewegen sich, während die zweite Spannung U2 angelegt ist, in Richtung 704 von der Lage 508 der ersten Elektrode 102 weg zu der Lage 506 der zweiten Elektrode 104 hin. Bis zum Erreichen der Lage 506 der zweiten Elektrode 104 müssen die meisten Defekte D1 der ersten Defektart eine Distanz 706 zwischen der Position 702 und der Lage 506 der zweiten Elektrode 104 zurücklegen. Eine Zeitdauer bis die meisten Defekte D1 der ersten Defektart diese Distanz 706 zurückgelegt haben, ist abhängig von einer Geschwindigkeit, mit der sich die Defekte D1 der ersten Defektart in der dielektrischen Schicht 106 bewegen, bestimmbar. Diese Geschwindigkeit ist abhängig von einer Temperatur und der zweiten Spannung U2 einstellbar. Im Beispiel wird die Temperatur unverändert beibehalten.

[0103] Anschließend wird ein Schritt 410 ausgeführt.

[0104] Im Schritt 410 wird bestimmt, ob eine Bedingung für das Umschalten vom Betreiben des Halbleiterbauelements 100 mit der zweiten Spannung zum Betreiben des Halbleiterbauelements 100 mit der ersten Spannung erfüllt ist oder nicht.

[0105] Die Bedingung für das Umschalten vom Betreiben des Halbleiterbauelements 100 mit der zweiten Spannung U_1 zum Betreiben des Halbleiterbauelements 100 mit der ersten Spannung ist erfüllt, wenn der Leckstrom eine Schwelle fallabhängig unterschreitet oder überschreitet. In vielen Anwendungsfällen unterschreitet der Leckstrom die Schwelle, wenn umzuschalten ist. Es ist jedoch auch eine genau entgegengesetzte Varianten möglich.

[0106] Fig. 6c stellt einen Stromverlauf 600c im Reversionsprozess über der Zeit t dar. Der Stromverlauf 600c ist bei einer Temperatur von 200° Celsius und der zweiten Spannung U_2 von +20 Volt zwischen der ersten Elektrode 102 und der zweiten Elektrode 104 zu erwarten, wenn der dielektrische Durchbruch vermieden wird.

[0107] Fig. 6d stellt einen Stromverlauf 600d über der Zeit t dar. Der Stromverlauf 600d ist bei einer Temperatur von 200° Celsius und der zweiten Spannung U_2 von +20 Volt zwischen der ersten Elektrode 102 und der zweiten Elektrode 104 zu erwarten, wenn der dielektrische Durchbruch nicht vermieden wird. Beispielsweise wird eine Dauer des Betriebes des Halbleiterbauelements 100 mit der zweiten Spannung U_2 bestimmt. Die Bedingung ist beispielsweise erfüllt, wenn die Dauer einen zweiten Grenzwert überschreitet. Der zweite Grenzwert wird im Beispiel abhängig von der zweiten Spannung U_2 derart bestimmt, dass die meisten Defekte D_1 der ersten Defektart die Distanz 706 nicht überwinden. Die Temperatur am Halbleiterbauelement 100 oder der dielektrischen Schicht 106 kann ebenfalls berücksichtigt werden, um den zweiten Grenzwert zu bestimmen. Im Beispiel ist der zweite Grenzwert 10^3 Sekunden gewählt.

[0108] Der zweite Grenzwert ist im Beispiel durch einen zweiten Zeitraum definiert, in dem die zweite Spannung U_2 eine Bewegung der meisten Defekte D_1 der ersten Defektart aus der Position 702 in die Ausgangsposition 502 bewirkt. Durch diesen vollständigen Reversionsprozess wird eine ursprüngliche Dichte ρ der Verteilung 500 der Defekte D_1 der ersten Defektart wiederhergestellt.

[0109] Der zweite Grenzwert kann auch durch einen zweiten Zeitraum definiert sein, in dem die zweite Spannung U_2 eine Bewegung der meisten Defekte D_1 der ersten Defektart aus der Position 702 in eine andere Position 802 in der dielektrischen Schicht in Richtung zur zweiten Elektrode 106 hin bewirkt. Der

Schwerpunkt der Verteilung 500 liegt in diesem Fall bei der anderen Position 802.

[0110] Die andere Position 802 ist im Beispiel näher an der Position 702 als die Ausgangsposition 502. Der Reversionsprozess wird dadurch nicht bis zur ursprünglichen Ausgangsposition 502 durchgeführt. Dadurch verkürzt sich die Dauer des Reversionsprozesses.

[0111] In Fig. 8 ist die Dichte ρ der Verteilung 500 der Defekte D_1 der ersten Defektart über den Verlauf x der dielektrischen Schicht 106 für diesen Fall schematisch dargestellt. Die Dichte ρ der Defekte D_1 der ersten Defektart ist in der Position 802 am größten und fällt mit zunehmenden Abstand von der Position 802 stark ab. An der Lage 508 der ersten Elektrode 102 nimmt die Dichte ρ im Beispiel zu. Dort sind die im Betrieb des Halbleiterbauelements 100 mit der ersten Spannung U_1 akkumulierten Defekte D_1 der ersten Defektart angelagert, die noch nicht durch den Betrieb mit der zweiten Spannung U_2 aus dem Interface entfernt wurden. Die Anzahl der Defekte D_1 der ersten Defektart, die noch im Interface angelagert sind, ist gegenüber der Anzahl, die beim Beginn des Betriebs mit der zweiten Spannung U_2 angelagert waren, reduziert. An der Lage 506 der zweiten Elektrode 104 geht die Dichte ρ im Beispiel gegen Null. Die Defekte D_1 der ersten Defektart bewegen sich, während die zweite Spannung U_2 angelegt ist, in Richtung 806 von der Lage 508 der ersten Elektrode 102 weg zu der Lage 506 der zweiten Elektrode 104 hin bis die meisten Defekte D_1 der ersten Defektart einen Abstand 804 von der Lage 508 der ersten Elektrode 102 erreicht haben.

[0112] In einem anderen Aspekt wird ein Leckstrom, der im Betrieb des Halbleiterbauelements 100 mit der ersten Spannung fließt, bestimmt. Die Bedingung ist in diesem Aspekt erfüllt, wenn der Leckstrom eine Schwelle unterschreitet.

[0113] Wenn die Bedingung erfüllt ist, wird ein Schritt 412 ausgeführt. Anderenfalls wird der Schritt 408 ausgeführt.

[0114] Im Schritt 412 wird das Betreiben des Halbleiterbauelements 100 mit der zweiten Spannung U_2 beendet.

[0115] Anschließend wird der Schritt 402 ausgeführt.

[0116] Das Halbleiterbauelement 100 kann so möglichst lange betrieben werden.

[0117] Das Halbleiterbauelement 100 kann beim Betreiben des Halbleiterbauelements 100 mit der zweiten Spannung U_2 geheizt werden. Das Heizen kann dauerhaft, während des Betriebs mit der zwei-

ten Spannung U2 erfolgen. Das Heizen kann mit Unterbrechungen während des Betriebs mit der zweiten Spannung U2 erfolgen. Das Heizen kann für einen kleineren Zeitraum als der Betrieb mit der zweiten Spannung erfolgen.

[0118] Das Halbleiterbauelement 100 kann beim Betreiben des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung U2 auf eine Temperatur insbesondere 200 °C geheizt werden.

[0119] Das Halbleiterbauelement 100 kann beim Betreiben des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung U2 auf eine Temperatur geheizt werden, die höher ist, als eine Temperatur des Halbleiterbauelements 100 beim Betreiben des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung U1.

[0120] Das Halbleiterbauelement 100 kann mit einer gegenüber der ersten Spannung U1 höheren zweiten Spannung U2 betrieben werden.

[0121] Sofern die dielektrische Schicht 106 Defekte D2 der zweiten Defektart umfasst, kann das Verfahren vorsehen, dass deren Bewegung in der dielektrischen Schicht 106 oder deren Positionen bei der Bestimmung der Grenzwerte für die Dauern oder bei der Bestimmung der Schwellen für die Leckströme berücksichtigt werden.

[0122] In einem Aspekt wird der Grenzwert für die Dauer derart bestimmt, dass die Defekte D2 der zweiten Defektart in eine vorgegebene Position in der dielektrischen Schicht 106 bewegt werden. In einem Aspekt wird der Grenzwert für die Dauer derart bestimmt, dass die Defekte D2 der zweiten Defektart sich nicht am Interface anlagern. Der Grenzwert kann so gewählt werden, dass sich die meisten Defekte D2 der zweiten Defektart nicht im Interface anlagern wobei nicht ausgeschlossen, ist, dass sich manche, d.h. demgegenüber weniger, Defekte D2 der zweiten Defektart im Interface anlagern. In einem Aspekt wird der Grenzwert für die Dauer derart bestimmt, dass die Defekte D2 der zweiten Defektart sich im Interface anlagern. Der Grenzwert kann so gewählt werden, dass sich die meisten Defekte D2 der zweiten Defektart im Interface anlagern wobei nicht ausgeschlossen, ist, dass sich manche, d.h. demgegenüber weniger, Defekte D2 der zweiten Defektart nicht im Interface anlagern.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verwendung eines Halbleiterbauelements (100) in dem eine dielektrische Schicht (106) zwischen einer ersten Elektrode (102) und einer zweiten Elektrode (104) des Halbleiterbauelements (100) angeordnet ist, wobei in der dielektrischen Schicht (106) Defekte (D1) einer ersten Defektart vorliegen, **gekennzeichnet durch** die

Schritte Betreiben (402) des Halbleiterbauelements (100) mit einer ersten Spannung mit einer ersten Polarität zwischen der ersten Elektrode (102) und der zweiten Elektrode (104), Bestimmen (404), ob eine Bedingung für ein Umschalten vom Betreiben des Halbleiterbauelements (100) mit der ersten Spannung zum Betreiben des Halbleiterbauelements (100) mit einer zweiten Spannung, die eine der ersten Polarität entgegengesetzte zweite Polarität aufweist, erfüllt ist oder nicht, Fortsetzen (402) des Betriebens des Halbleiterbauelements (100) mit der ersten Spannung, wenn die Bedingung nicht erfüllt ist, und anderenfalls Beenden (406) des Betriebens des Halbleiterbauelements (100) mit der ersten Spannung, und Betreiben (408) des Halbleiterbauelements mit der zweiten Spannung zwischen der ersten Elektrode (102) und der zweiten Elektrode (104).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** Bestimmen (410), ob eine Bedingung für ein Umschalten vom Betreiben des Halbleiterbauelements (100) mit der zweiten Spannung zum Betreiben des Halbleiterbauelements (100) mit der ersten Spannung erfüllt ist oder nicht, Fortsetzen (408) des Betriebens des Halbleiterbauelements (100) mit der zweiten Spannung, wenn die Bedingung nicht erfüllt ist, und anderenfalls Beenden (412) des Betriebens des Halbleiterbauelements (100) mit der zweiten Spannung, und Betreiben (402) des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung zwischen der ersten Elektrode (102) und der zweiten Elektrode (104).

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Dauer des Betriebens des Halbleiterbauelements (100) mit der zweiten Spannung bestimmt wird (410), wobei die Bedingung für das Umschalten vom Betreiben des Halbleiterbauelements (100) mit der zweiten Spannung zum Betreiben des Halbleiterbauelements (100) mit der ersten Spannung erfüllt ist, wenn die Dauer einen Grenzwert überschreitet, der durch einen Zeitraum definiert ist, in dem die zweite Spannung eine Bewegung von Defekten (D1) der ersten Defektart in eine vorgegebene Position in der dielektrischen Schicht (106) in Richtung zur zweiten Elektrode hin bewirkt.

4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Leckstrom beim Betreiben des Halbleiterbauelements (100) mit der zweiten Spannung bestimmt wird (410), wobei die Bedingung für das Umschalten vom Betreiben des Halbleiterbauelements (100) mit der zweiten Spannung zum Betreiben des Halbleiterbauelements (100) mit der ersten Spannung erfüllt ist, wenn der Leckstrom eine Schwelle überschreitet oder unterschreitet.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Dauer des Betriebes des Halbleiterbauelements (100) mit der ersten Spannung bestimmt wird (404), wobei die Bedingung für das Umschalten vom Betreiben des Halbleiterbauelements (100) mit der ersten Spannung zum Betreiben des Halbleiterbauelements (100) mit der zweiten Spannung erfüllt ist, wenn die Dauer einen Grenzwert überschreitet.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Leckstrom, der im Betrieb des Halbleiterbauelements (100) mit der ersten Spannung fließt, bestimmt wird (404), wobei die Bedingung für das Umschalten vom Betreiben des Halbleiterbauelements (100) mit der ersten Spannung zum Betreiben des Halbleiterbauelements (100) mit der zweiten Spannung erfüllt ist, wenn der Leckstrom eine Schwelle überschreitet.

7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Halbleiterbauelement (100) beim Betreiben des Halbleiterbauelements (100) mit der zweiten Spannung geheizt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Halbleiterbauelement (100) beim Betreiben des Halbleiterbauelements (100) mit der zweiten Spannung auf eine Temperatur geheizt wird, die höher ist, als eine Temperatur des Halbleiterbauelements beim Betreiben des Halbleiterbauelements mit der ersten Spannung.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Halbleiterbauelement (100) beim Betreiben des Halbleiterbauelements (100) mit der zweiten Spannung auf eine Temperatur in einem Bereich von 100°C bis 250°C geheizt wird, vorzugsweise auf eine Temperatur von 150°C oder 200°C.

10. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Halbleiterbauelement (100) im Betrieb mit der ersten Spannung einen Aktuator insbesondere ein MEMS, einen Mikrospiegel, einen Druckkopf oder einen Lautsprecher antreibt, wobei der Aktuator im Betrieb mit der zweiten Spannung insbesondere in einem Ruhezustand eines Geräts nicht vom Halbleiterbauelement (100) angetrieben wird.

11. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Halbleiterbauelement (100) mit einer gegenüber der ersten Spannung höheren zweiten Spannung betrieben wird.

12. Vorrichtung (300), **gekennzeichnet durch** ein Halbleiterbauelement (100), das eine dielektri-

schen Schicht (106) zwischen einer ersten Elektrode (102) und einer zweiten Elektrode (104) des Halbleiterbauelements (100) aufweist, wobei in der dielektrischen Schicht (106) Defekte (D1) einer ersten Defektart vorliegen, und eine Regel- und/oder Steuereinrichtung (302), die ausgebildet ist, Schritte im Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 auszuführen.

13. Vorrichtung (300) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die dielektrische Schicht (106) Defekte (D2) wenigstens einer weiteren Defektart umfasst, die beim Anlegen der ersten Spannung in Richtung auf die zweite Elektrode (104) zu bewegbar sind.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

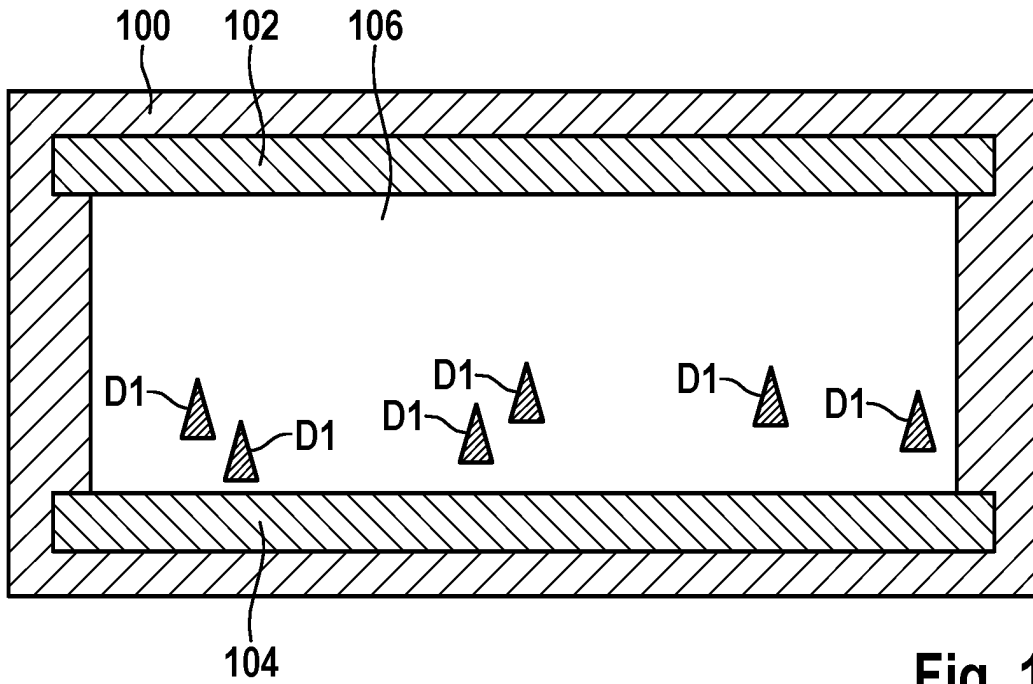


Fig. 1

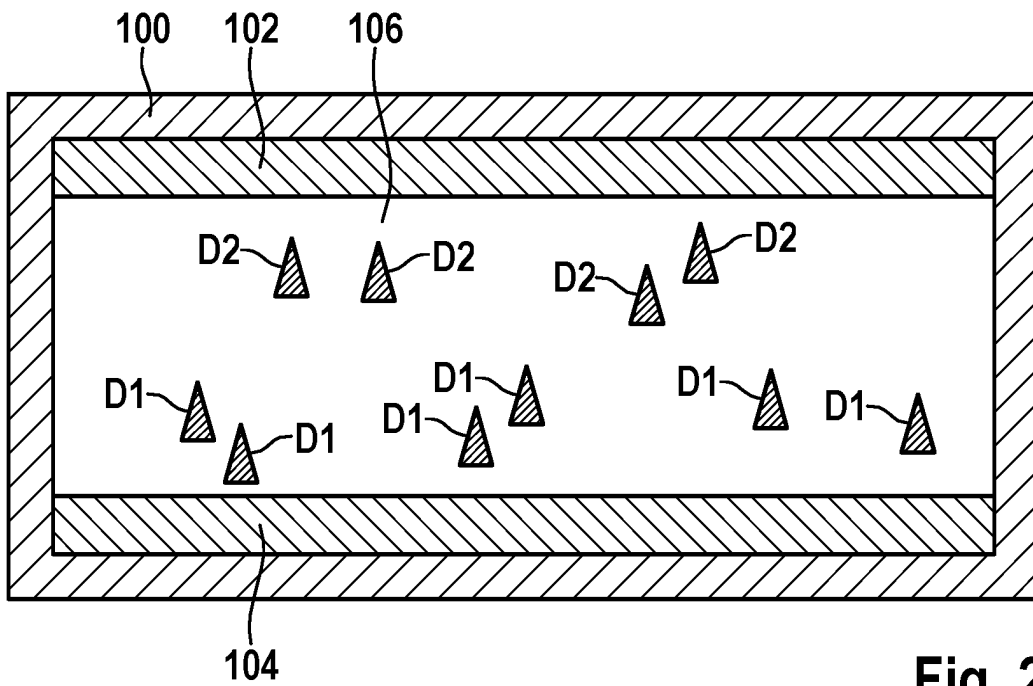


Fig. 2

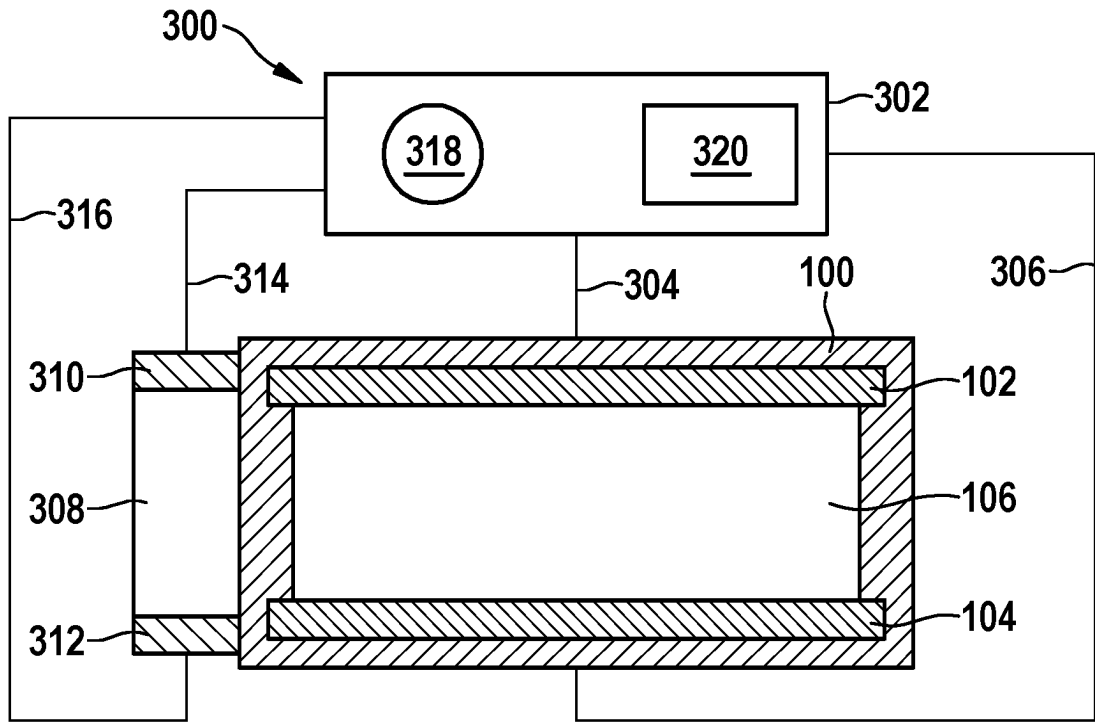


Fig. 3

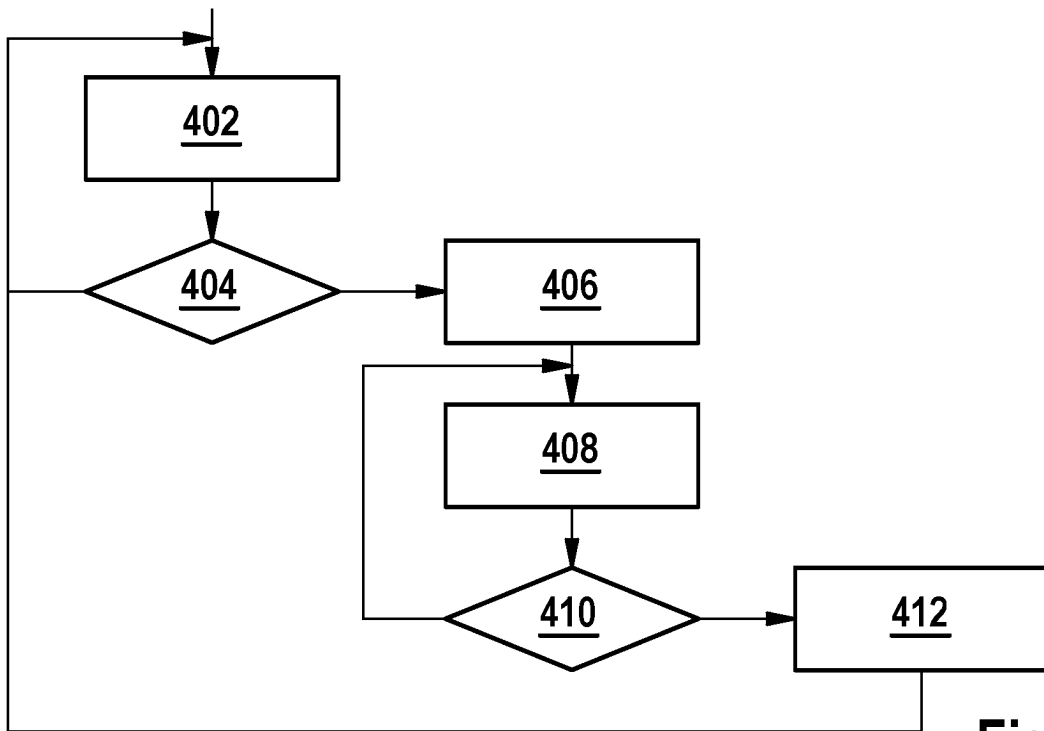


Fig. 4

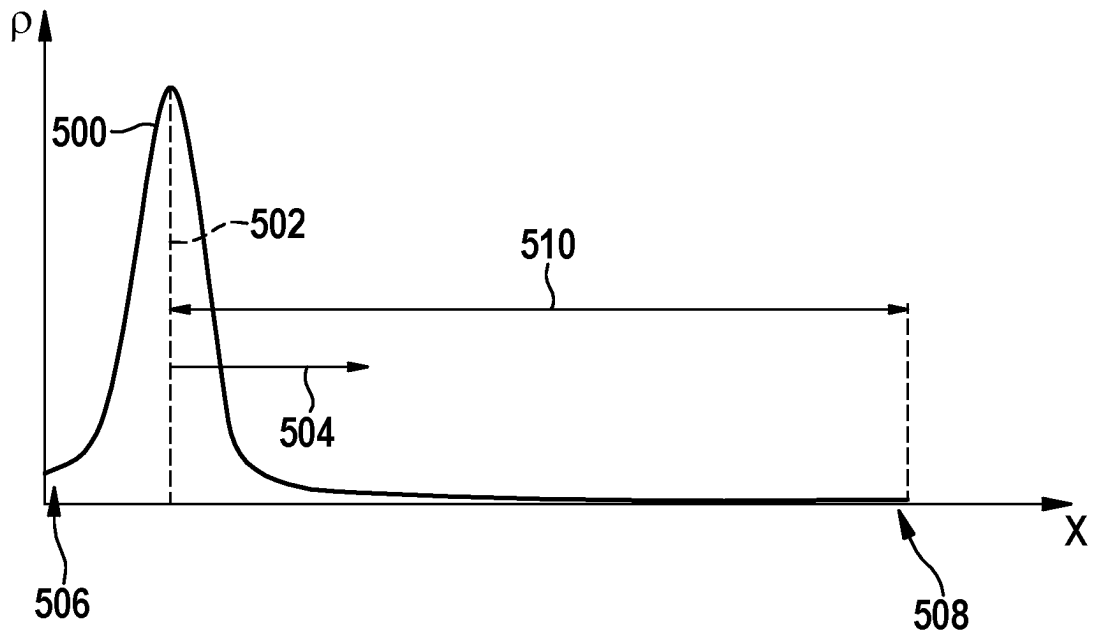


Fig. 5

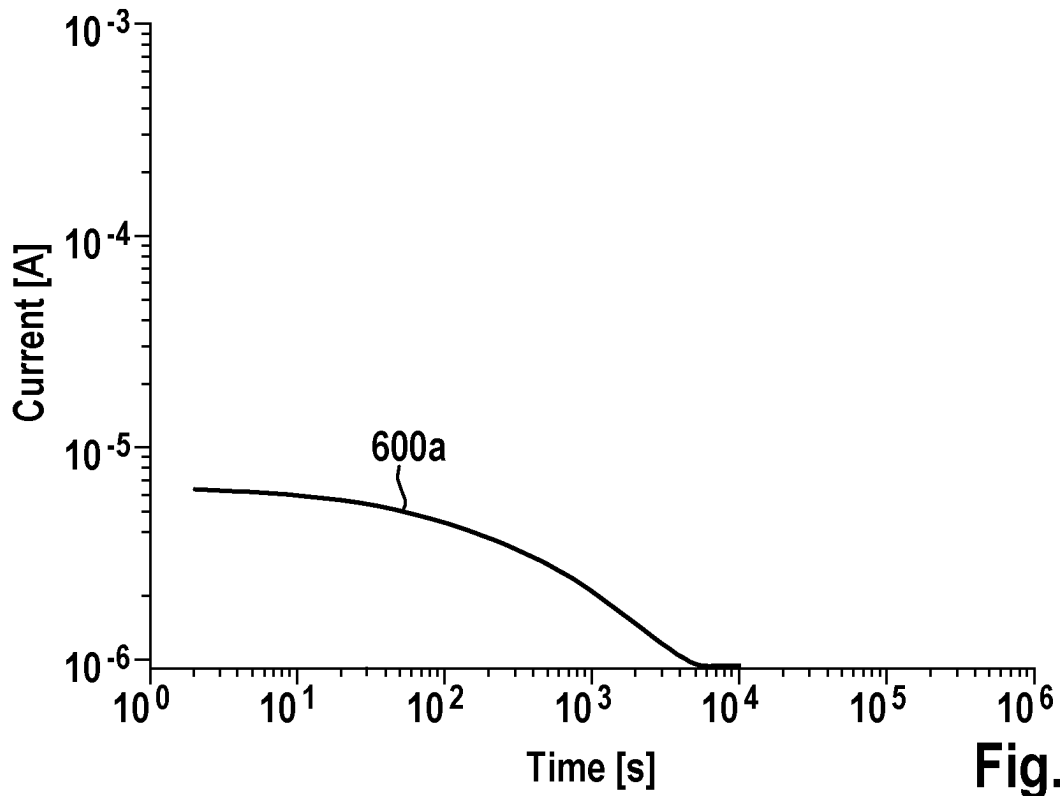
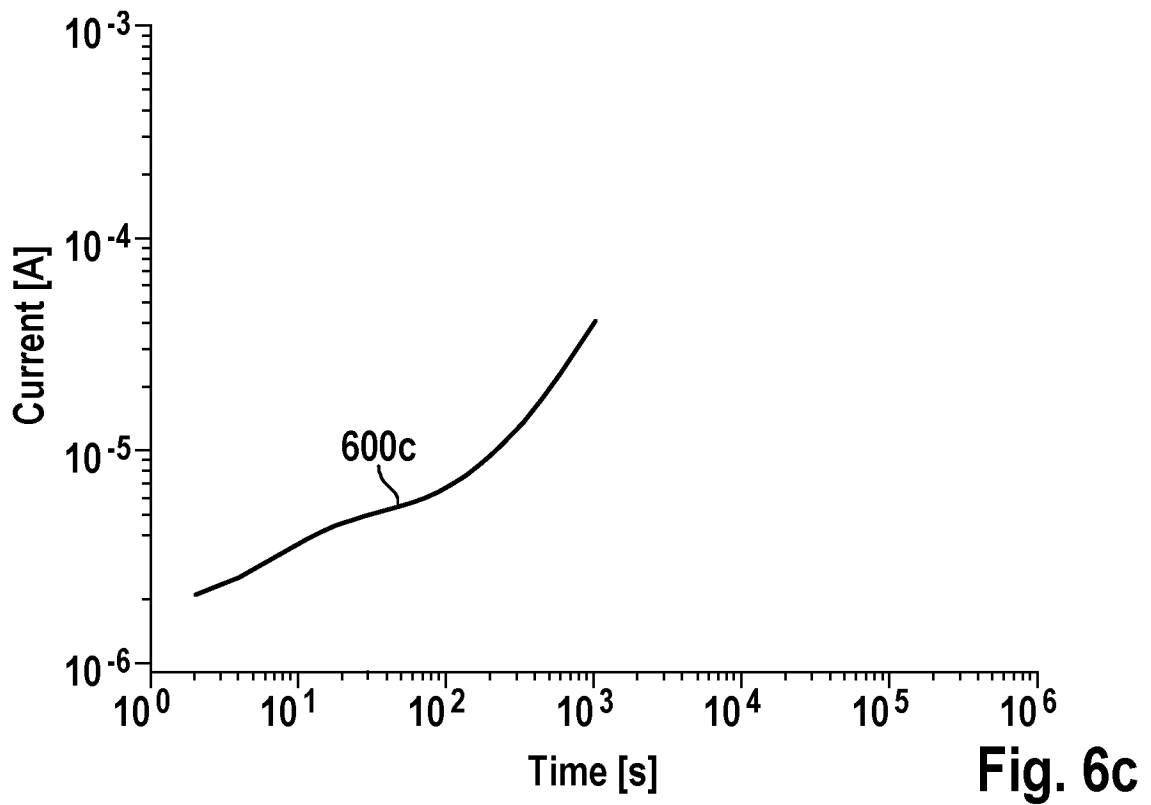
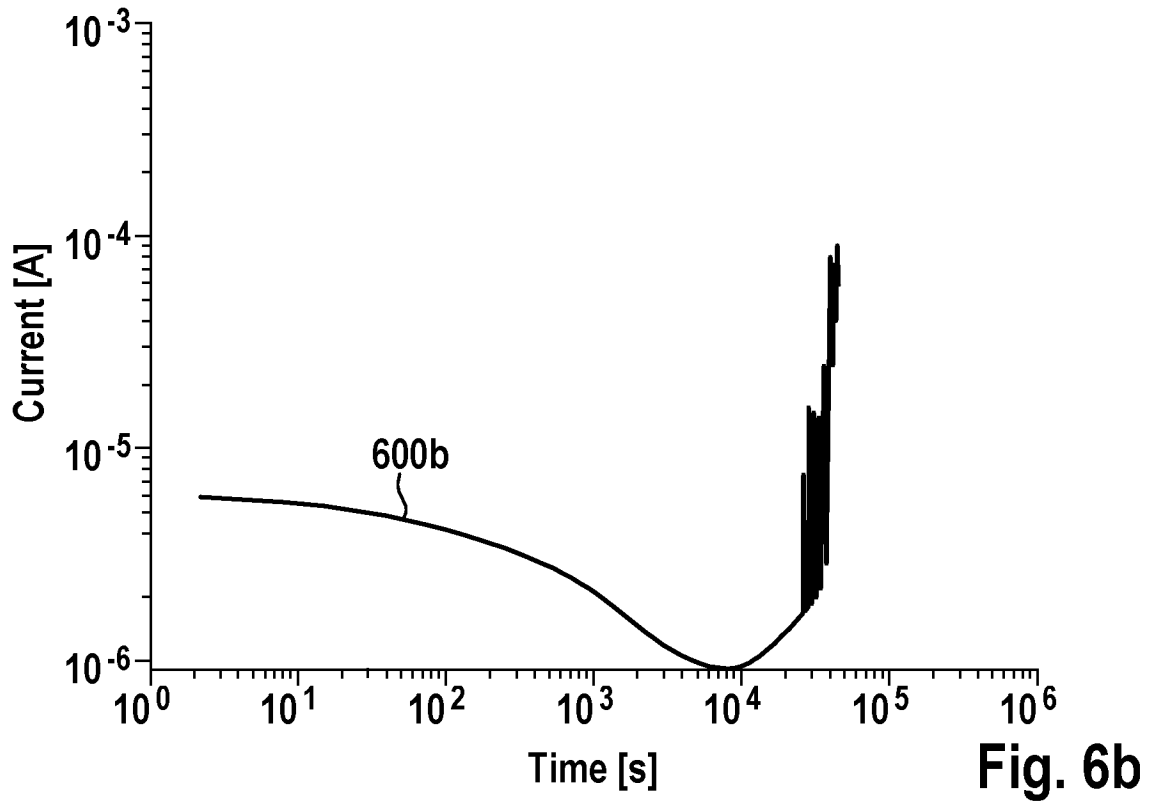


Fig. 6a



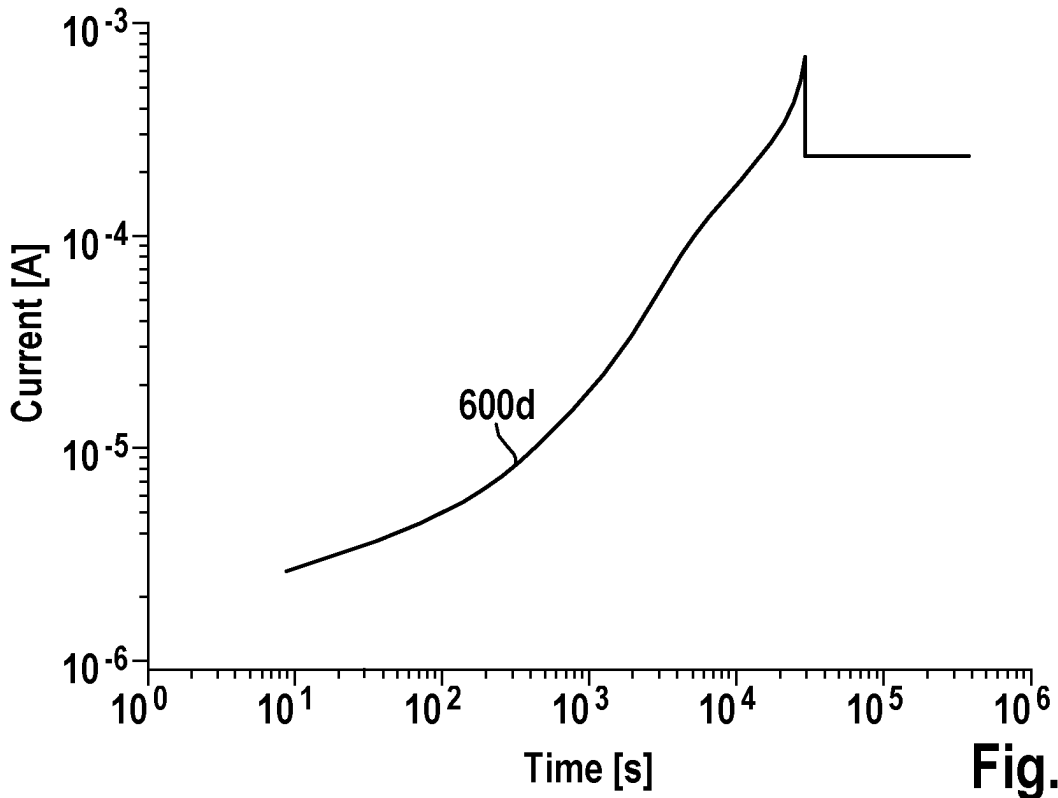


Fig. 6d

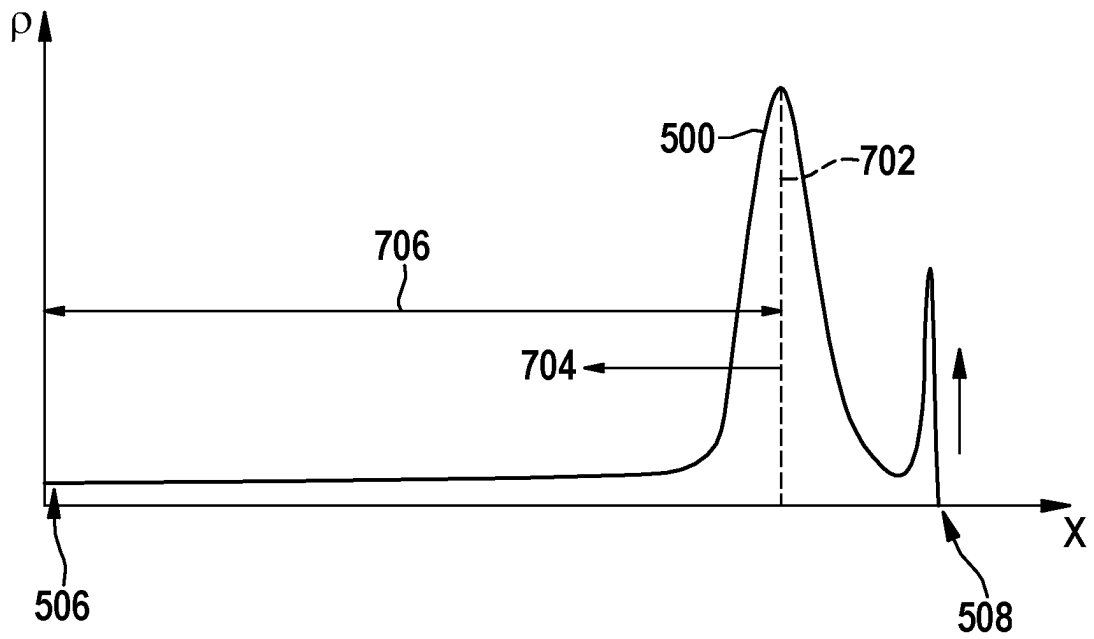


Fig. 7

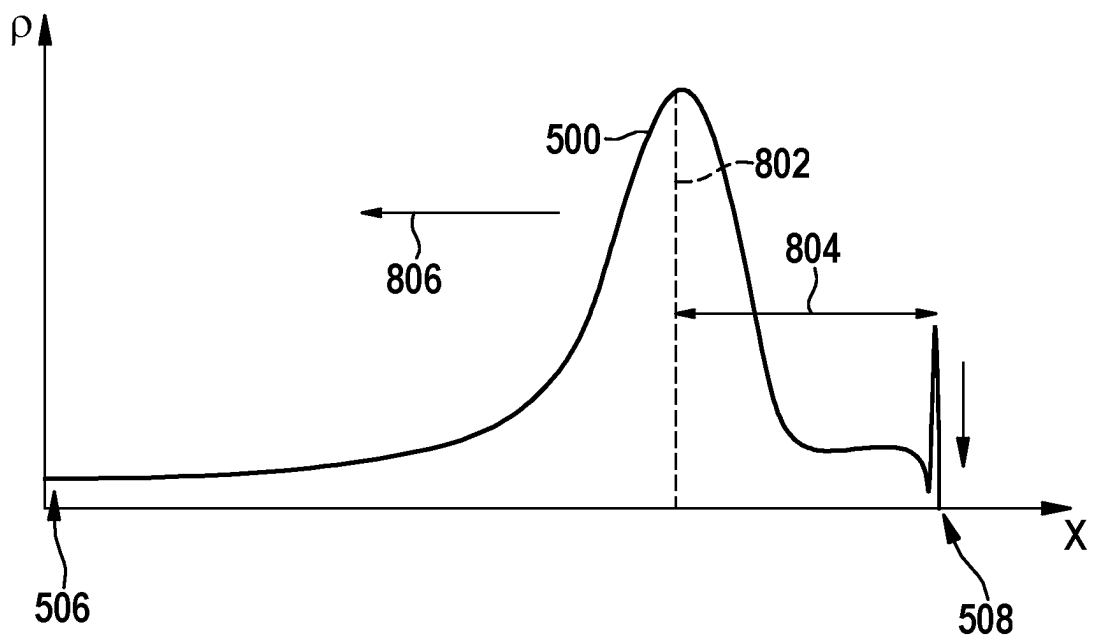


Fig. 8