



(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2011 088 728.8

(51) Int Cl.: G01R 31/26 (2006.01)

(22) Anmelddetag: 15.12.2011

H01L 21/66 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: 27.09.2012

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 09.02.2017

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität: <b>2011-067260</b>	25.03.2011	JP	(72) Erfinder: <b>Iura, Shinichi, Tokyo, JP</b>
(73) Patentinhaber: <b>Mitsubishi Electric Corporation, Tokio/Tokyo, JP</b>			(56) Ermittelter Stand der Technik: <b>DE 690 29 530 T2</b>
(74) Vertreter: <b>Prüfer &amp; Partner mbB Patentanwälte Rechtsanwalt, 81479 München, DE</b>			

(54) Bezeichnung: **Lebensdauerschätzverfahren für eine Halbleitervorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Lebensdauerschätzverfahren für eine Halbleitervorrichtung, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

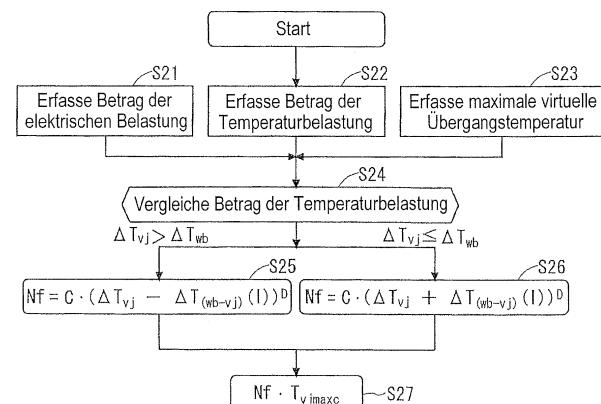
(a) Vorbereiten einer ersten Lebensdauerkurve unter Verwendung eines ersten Betrags ( $\Delta T_{wb}$ ) der Temperaturbelastung, der ein Temperaturbelastungsbetrag bei einem Verbindungsstellenabschnitt ist, wobei ein in einer Halbleitervorrichtung enthaltener Halbleiterchip und ein Metalldraht (12) miteinander kontaktiert sind, und einer Zykluszahl (Nf), die einer Lebensdauer der Halbleitervorrichtung entspricht, als Parameter; und

(b) Schätzen der Lebensdauer der Halbleitervorrichtung unter Verwendung der ersten Lebensdauerkurve, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt (a) die folgenden Schritte umfasst:

(a-1) Vorbereiten einer zweiten Lebensdauerkurve unter Verwendung einer virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz ( $\Delta T_{vj}$ ), die einen zweiten Temperaturbelastungsbetrag repräsentiert, der ein Temperaturbelastungsbetrag innerhalb des Halbleiterchips der Halbleitervorrichtung ist, und der Zykluszahl (Nf), die der Lebensdauer der Halbleitervorrichtung entspricht, als Parameter;

(a-2) Erhalten einer Differenz ( $\Delta T_{(wb-vj)}$ ) zwischen einer Temperatur ( $T_{vj}$ ) innerhalb des Halbleiterchips und einer Temperatur bei dem Verbindungsstellenabschnitt unter Verwendung eines Betrags der elektrischen Belastung als Parameter; und

(a-3) Umsetzen der zweiten Lebensdauerkurve in die erste Lebensdauerkurve unter Verwendung der Differenz ( $\Delta T_{(wb-vj)}$ ).



### Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft das Gebiet der Halbleitervorrichtungen und insbesondere ein Lebensdauerschätzverfahren zum Schätzen einer Lebensdauer einer Halbleitervorrichtung.

**[0002]** DE 690 29 530 T2 offenbart ein Verfahren zur Bestimmung der Lebensdauer einer Verbindung, welche in starken Maße von thermischer Ermüdung abhängt, wie z. B. eine Lötverbindung einer elektrischen Schaltungsvorrichtung.

**[0003]** Wenn eine Halbleitervorrichtung einer zyklischen Temperaturbelastung ausgesetzt ist, wird durch die Differenz des linearen Ausdehnungskoeffizienten von Metalldrähten, die zwischen einem Halbleiterchip und einer Außenelektrode kontaktiert sind, eine Metallermüdung verursacht, wodurch sich die elektrischen und die thermischen Eigenschaften verschlechtern und die Metalldrähte allmählich von dem Halbleiterchip lösen. Schließlich versagt die Halbleitervorrichtung und ist ihre Lebensdauer beendet. Eine Technik zum Schätzen der Lebensdauer (Leistungszykluslebensdauer) ist z. B. in JP-2007-028741 offenbart.

**[0004]** Allerdings verursacht das herkömmliche Schätzverfahren gelegentlich einen großen Fehler zwischen einer geschätzten und einer tatsächlichen Lebensdauer. Eine bei der Schätzung einer Lebensdauer verwendete Leistungszyklus-Lebensdauerkurve (im Folgenden als "Lebensdauerkurve" abgekürzt) hängt von der Struktur des Metalldrahts ab, wobei allgemein kaum zu sagen ist, dass die Lebensdauerkurve für jede Struktur durch Halbleitervorrichtungshersteller veröffentlicht wird. Wenn ein Käufer der Halbleitervorrichtung deren Lebensdauer zu schätzen versucht, tritt somit wegen des Unterschieds der Struktur des Metalldrahts, des in der Halbleitervorrichtung fließenden Stroms oder dergleichen ein Fehler bei der Lebensdauerschätzung auf.

**[0005]** Um eine Lebensdauerkurve für jede Struktur des Metalldrahts zu erhalten, muss der Halbleitervorrichtungshersteller ferner für jede Struktur einen Lebensdauertest durchführen, der üblicherweise mehrere Monate bis mehrere Jahre dauert, wobei ein Problem besteht, dass die Schätzung der Lebensdauer lange Zeit in Anspruch nimmt.

**[0006]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Technik zum Schätzen einer Lebensdauer einer Halbleitervorrichtung mit hoher Genauigkeit in möglichst kurzer Zeit zu schaffen.

**[0007]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst für ein Lebensdauerschätzverfahren für eine Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1. Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

**[0008]** In dem Verfahren gemäß dem Anspruch 1 wird die Lebensdauer der Halbleitervorrichtung unter Verwendung der ersten Lebensdauerkurve mit dem ersten Temperaturbelastungsbetrag und der Zykluszahl, die der Lebensdauer der Halbleitervorrichtung entspricht, als Parameter geschätzt. Somit kann die Lebensdauer der Halbleitervorrichtung mit hoher Genauigkeit geschätzt werden. Wenn die erste Lebensdauerkurve für eine Struktur eines Metalldrahts einmal erhalten worden ist, dauert es nicht mehr lange, die erste Lebensdauerkurve für einen Metalldraht mit einer andern Struktur zu erhalten. Somit kann die Lebensdauer in kürzestmöglicher Zeit geschätzt werden.

**[0009]** Weitere Merkmale und Zweckmäßigkeit der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsformen der Erfindung anhand der Figuren. Von den Figuren zeigen:

**[0010]** **Fig. 1** einen Ablaufplan einer Operation eines Lebensdauerschätzverfahrens in Übereinstimmung mit einer ersten bevorzugten Ausführungsform;

**[0011]** **Fig. 2** einen Graphen zur Erläuterung einer Operation in Schritt S1;

**[0012]** **Fig. 3A, B** Ansichten zur Erläuterung einer Operation in Schritt S2;

**[0013]** **Fig. 4** einen Graphen einer herkömmlichen Lebensdauerkurve, d. h. einer Alternativ-Lebensdauerkurve;

**[0014]** **Fig. 5** einen Ablaufplan einer Operation des Lebensdauerschätzverfahrens in Übereinstimmung mit der ersten bevorzugten Ausführungsform;

**[0015]** **Fig. 6** eine Ansicht zur Erläuterung einer Operation in Schritt S11;

**[0016]** **Fig.** 7 einen Graphen zur Erläuterung der Operation in Schritt S11;

**[0017]** **Fig.** 8 einen weiteren Graphen zur Erläuterung der Operation in Schritt S11;

**[0018]** **Fig.** 9 einen Graphen zur Erläuterung einer Operation in Schritt S12;

**[0019]** **Fig.** 10 einen Graphen einer Beziehung zwischen einem Stromwert I und einer Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$ ;

**[0020]** **Fig.** 11 einen Graphen zur Erläuterung einer Operation in Schritt S15;

**[0021]** **Fig.** 12 einen Graphen zur Erläuterung der Operation in Schritt S15;

**[0022]** **Fig.** 13 einen Graphen einer Referenzlebensdauerkurve; und

**[0023]** **Fig.** 14 einen Ablaufplan einer Operation des Lebensdauerschätzverfahrens in Übereinstimmung mit der ersten bevorzugten Ausführungsform.

#### Erste bevorzugte Ausführungsform

**[0024]** Wenn eine Halbleitervorrichtung, die einen Halbleiterchip und einen Metalldraht umfasst, die bei einem Verbindungsstellenabschnitt miteinander kontaktiert sind, in einem Zyklus einer Temperaturbelastung ausgesetzt ist, wird bei dem Verbindungsstellenabschnitt des Halbleiterchips und des Metalldrahts eine Metallermüdung verursacht und versagt die Halbleitervorrichtung folglich.

**[0025]** Ein Lebensdauerschätzverfahren der ersten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung soll eine Lebensdauer der Halbleitervorrichtung schätzen, die zu diesem Versagen führt. Vor der Diskussion des Lebensdauerschätzverfahrens der ersten bevorzugten Ausführungsform wird ein für das Verfahren der ersten bevorzugten Ausführungsform relevantes Lebensdauerschätzverfahren (im Folgenden als "relevantes Lebensdauerschätzverfahren") diskutiert.

**[0026]** Wie oben diskutiert wurde, ist es angesichts des Versagens einer Halbleitervorrichtung wegen der Metallermüdung bei einem Verbindungsstellenabschnitt bevorzugt, eine Lebensdauer (Zykluszahl Nf) einer Halbleitervorrichtung auf der Grundlage einer Referenzlebensdauerkurve (ersten Lebensdauerkurve) unter Verwendung eines ersten Temperaturbelastungsbetrags (im Folgenden als ein "Verbindungsstellen-Temperaturbelastungsbetrag  $\Delta T_{wb}$ " bezeichnet), der ein Temperaturbelastungsbetrag bei einem Verbindungsstellenabschnitt eines Halbleiterchips und eines Metalldrahts ist, einer Maximaltemperatur bei dem Verbindungsstellenabschnitt und einer Lebensdauer der Halbleitervorrichtung unter diesen Bedingungen (einer Zykluszahl Nf des Temperaturbelastungsbetrags, dem die Halbleitervorrichtung ausgesetzt ist, bis sie versagt) als Parameter zu schätzen.

**[0027]** Da der Verbindungsstellenabschnitt üblicherweise mit einem Gehäuse oder dergleichen bedeckt ist, ist es allerdings nicht möglich, den Verbindungsstellen-Temperaturbelastungsbetrag  $\Delta T_{wb}$  von außerhalb der Halbleitervorrichtung aus direkt zu messen.

**[0028]** In dem relevanten Lebensdauerschätzverfahren wird eine virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  erfasst, die einen zweiten Temperaturbelastungsbetrag repräsentiert, der ein Temperaturbelastungsbetrag innerhalb des Halbleiterchips ist, der auf der Grundlage der elektrischen Eigenschaften geschätzt werden kann, selbst wenn die Halbleitervorrichtung im Gehäuse untergebracht ist. Somit wird eine Lebensdauer der Halbleitervorrichtung in dem relevanten Lebensdauerschätzverfahren unter der Annahme geschätzt, dass die virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  mit dem Verbindungsstellen-Temperaturbelastungsbetrag  $\Delta T_{wb}$  fast zusammenfällt. Genauer wird die Lebensdauer (die Zykluszahl Nf) der Halbleitervorrichtung auf der Grundlage einer Alternativ-Lebensdauerkurve (zweiten Lebensdauerkurve) unter Verwendung der virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$ , einer maximalen virtuellen Verbindungsstellentemperatur  $T_{vjmax}$  die ein Maximalwert einer Temperatur innerhalb des Halbleiterchips ist, und einer Lebensdauer (Zykluszahl Nf) der Halbleitervorrichtung unter diesen Bedingungen als Parameter geschätzt.

**[0029]** Allerdings tritt in tatsächlichen Fällen zwischen dem Verbindungsstellen-Temperaturbelastungsbetrag  $\Delta T_{wb}$  und der virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  gelegentlich ein großer Fehler auf, wobei in diesem Fall ein großer Fehler zwischen der geschätzten Lebensdauer und einer tatsächlichen Lebensdauer

die Folge ist. Somit betrachtet der Erfinder die Ursache des großen Fehlers zwischen dem Verbindungsstellen-Temperaturbelastungsbetrag  $\Delta T_{wb}$  und der virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  wie folgt.

**[0030]** Die virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$ , die einer der Parameter der Alternativ-Lebensdauerkurve in dem relevanten Lebensdauerschätzverfahren ist, wird praktisch auf der Grundlage von vier Werten, d. h. eines in dem Halbleiterchip fließenden Stroms, einer in dem Halbleiterchip erzeugten Spannung (genauer eines Verlusts, der dem Produkt aus dem Strom und aus der Spannung entspricht), eines Wärmewiderstands und einer Umgebungstemperatur, erhalten. Allerdings sind die Spannung und der Wärmewiderstand in tatsächlichen Fällen aus den Eigenschaften der Halbleitervorrichtung eindeutig bestimmt und trägt die Umgebungstemperatur zwar zur Steuerung der maximalen Verbindungsstellentemperatur, aber kaum zur Änderung des Temperaturbelastungsbetrags bei. Somit wird die virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  mit dem einzigen verbliebenen der vier Werte, d. h. mit dem Strom I, als ein Parameter gesteuert.

**[0031]** Im Ergebnis variiert der in dem Halbleiterchip fließende Strom für jeden Lebensdauertest. Da Wärme in einem Metalldraht mit einem Widerstand ebenfalls in Übereinstimmung mit dem Strom erzeugt wird, geht der Erfinder allerdings davon aus, dass die Differenz des Belastungsbetrags (Betrag der elektrischen Belastung) wegen der Stroms I und dergleichen den Fehler zwischen dem Verbindungsstellen-Temperaturbelastungsbetrag  $\Delta T_{wb}$  und der virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  beeinflusst. Daraufhin verbessert der Erfinder auf der Grundlage dieser Idee das Lebensdauerschätzverfahren, um dadurch unter Verwendung des Verbindungsstellen-Temperaturbelastungsbetrags  $\Delta T_{wb}$  erfolgreich die Lebensdauer der Halbleitervorrichtung zu schätzen. Es folgt eine ausführliche Diskussion des Lebensdauerschätzverfahrens in Übereinstimmung mit der ersten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

**[0032]** **Fig. 1** ist ein Ablaufplan eines ersten Prozesses unter einem ersten und einem zweiten Prozess zum Erfassen einer Referenzlebensdauerkurve in dem Lebensdauerschätzverfahren. Der erste Prozess wird ebenfalls in dem relevanten Lebensdauerschätzverfahren ausgeführt, wobei in dem ersten Prozess die oben diskutierte Alternativ-Lebensdauerkurve erfasst wird. In dieser bevorzugten Ausführungsform kann der erste Prozess nur einmal ausgeführt werden. Im Folgenden erfolgt eine ausführliche Diskussion des ersten Prozesses.

**[0033]** Als Vorbedingung des ersten Prozesses wird eine Probe vorbereitet, die dieselbe Struktur wie eine Halbleitervorrichtung (ein Produkt) aufweist, in der ein Halbleiterchip und ein Metalldraht bei einem Verbindungsstellenabschnitt miteinander kontaktiert sind. Während der Halbleiterchip und der Metalldraht in der Probe in derselben Weise wie in dem Produkt kontaktiert sind, kann die Form des Metalldrahts von der des Metalldrahts in dem Produkt verschieden sein und kann über der Probe eine Abdeckung oder ein Harzgehäuse vorgesehen sein. Der Metalldraht weist eine Form z. B. eines Drahts, eines Bands, eines Leiterrahmens oder dergleichen auf und ist aus einem Metall wie etwa Gold, Kupfer, Aluminium oder dergleichen oder aus einer leitenden Legierung hergestellt.

**[0034]** Zunächst wird in Schritt S1 durch das z. B. in IEC-60747-9 gezeigte Verfahren eine Beziehung zwischen einer elektrischen Eigenschaft, die von der Temperatur abhängt, und einer Temperatur  $T_{vj}$  innerhalb des Halbleiterchips hinsichtlich des Innern des in der Halbleitervorrichtung (Probe) enthaltenen Halbleiterchips geprüft.

**[0035]** Genauer wird zunächst eine Beziehung zwischen einer Temperatur, die der Halbleiterchip ausgesetzt ist, und einer Spannung V (einer temperaturabhängigen elektrischen Eigenschaft), die erzeugt wird, wenn ein Mikrostrom  $I_s$  (z. B. I), der kaum eine Eigenerwärmung verursacht, in der Halbleitervorrichtung (z. B. zwischen dem Kollektor und dem Emitter eines Transistors oder eines IGBT) fließt, geprüft, um dadurch eine wie in **Fig. 2** gezeigte Korrespondenzrelation zu erfassen. Unter Kenntnis der in dem Halbleiterchip erzeugten Spannung V, wenn der Mikrostrom  $I_s$  in der Halbleitervorrichtung fließt, kann aus der Korrespondenzrelation auf der Grundlage der Korrespondenzrelation eine Temperatur  $T_{vj}$  innerhalb des Halbleiterchips geschätzt werden. Wenn das Objekt der Schätzung (die Halbleitervorrichtung in der obigen Diskussion) eine Diode ist, wird die Spannung V dadurch geprüft, dass der Mikrostrom  $I_s$  zwischen der Anode und der Katode fließen gelassen wird.

**[0036]** Nachfolgend wird in Schritt S2 die virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$ , die die Differenz zwischen den Temperaturen  $T_{vj}$  innerhalb des Halbleiterchips ist, erhalten und die Halbleitervorrichtung dieser aussetzt.

**[0037]** **Fig. 3A** und **Fig. 3B** sind Ansichten zur Erläuterung eines Verfahrens zum Erhalten der virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$ . **Fig. 3A** zeigt einen Rechteckschwingungsstrom, der in der Halbleitervorrichtung fließt, und **Fig. 3B** zeigt eine Temperatur  $T_{vj}$  innerhalb des Halbleiterchips. Wenn in der Halblei-

tervorrichtung ein Strom fließt, wird allgemein ein Teil der elektrischen Leistung in Wärmeenergie umgewandelt, die die Temperatur der Halbleitervorrichtung erhöht, was zu der Metallermüdung in der Halbleitervorrichtung führt.

**[0038]** In diesem Fall fließen in der Halbleitervorrichtung abwechselnd der oben diskutierte Mikrostrom  $I_s$  und ein hoher Strom  $I_2$  (z. B. 100). Daraufhin werden eine Spannung  $V_1$ , die in dem Halbleiterchip erzeugt wird, unmittelbar nachdem der hohe Strom  $I_2$  zu dem Mikrostrom  $I_s$  geändert wird, und eine Spannung  $V_2$ , die in dem Halbleiterchip erzeugt wird, unmittelbar bevor der Mikrostrom  $I_s$  zu dem hohen Strom  $I_2$  geändert wird (mit anderen Worten, während der Mikrostrom  $I_s$  fließt), gemessen. Nachfolgend werden aus der in Schritt S1 erfassten Korrespondenzbeziehung jeweilige Temperaturen  $T_{vj1}$  und  $T_{vj2}$  ( $T_{vj1} > T_{vj2}$ ) innerhalb des Halbleiterchips, wenn die Spannungen  $V_1$  und  $V_2$  erzeugt werden, erfasst. Daraufhin wird die Differenz zwischen den Temperaturen  $T_{vj1}$  und  $T_{vj2}$  als die virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  erfasst. Der Strom  $I_2$  wird so gesteuert, dass die höhere Temperatur  $T_{vj1}$  (im Folgenden als eine "maximale virtuelle Verbindungsstellentemperatur  $T_{vjmax}$ " bezeichnet) innerhalb des Halbleiterchips zu einem gewünschten Wert werden kann. Der Strom  $I_2$  entspricht dem Betrag  $I$  der elektrischen Belastung.

**[0039]** In Schritt S3 wird dadurch, dass die oben diskutierten Ströme  $I_2$  und  $I_s$  abwechselnd in der Halbleitervorrichtung fließen gelassen werden, die in Schritt S2 enthaltene virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  in einem Zyklus an die Probe angelegt, und eine Zykluszahl  $N_f$  erfasst, bis die Probe versagt. Da die Zykluszahl  $N_f$  ein Wert ist, der sich in Übereinstimmung mit dem Wert der virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  ändert, kann er als  $N_f = f(\Delta T_{vj})$  ausgedrückt werden.

**[0040]** In Schritt S4 wird bestimmt, ob die Lebensdauertests zum Erfassen der Zykluszahl  $N_f$  für  $N$  ( $N \geq 3$ ) verschiedene virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenzen  $\Delta T_{vj}$  ausgeführt werden, mit anderen Worten, ob der Lebensdauertest  $N$ -Mal ( $N \geq 3$ ) oder häufiger ausgeführt wird. Der Grund dafür, dass der Lebensdauertest mehrmals ausgeführt wird, ist, dass ein Gradient der Lebensdauerkurve erhalten werden muss, der zum Schätzen der Lebensdauer unter den Bedingungen verschiedener virtueller Verbindungsstellen-Temperaturdifferenzen  $\Delta T_{vj}$  verwendet werden soll. Obgleich der Gradient der Lebensdauerkurve selbst für  $N = 2$  erhalten werden kann, ist es erwünscht, dass der Lebensdauertest dreimal oder häufiger ausgeführt werden sollte, um den Gradienten der Lebensdauerkurve mit höherer Genauigkeit zu erhalten. Falls der Lebensdauertest dreimal oder häufiger ausgeführt worden ist, geht der Prozess zu Schritt S5 über, wenn das nicht der Fall ist, kehrt er zu Schritt S1 zurück.

**[0041]** In Schritt S5 wird eine wie in **Fig. 4** gezeigte Alternativ-Lebensdauerkurve erfasst, die die virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  und die maximale virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vjmax}$ , die in Schritt S2 erhalten wurden, der in Schritt S3 erhaltene Zykluszahl  $N_f$  zuordnet. In dieser bevorzugten Ausführungsform sind die virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  und die maximale virtuelle Verbindungsstellentemperatur  $T_{vjmax}$  als die Grundlagen der Alternativ-Lebensdauerkurve dem oben diskutierten Strom  $I_2$  zugeordnet, der fließt, wenn die virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  und die maximale virtuelle Verbindungsstellentemperatur  $T_{vjmax}$  erhalten werden.

**[0042]** **Fig. 5** ist ein Ablaufplan, der den zweiten Prozess zum Erhalten der Referenzlebensdauerkurve zeigt. In dem zweiten Prozess wird eine Temperatur  $T_{wb}$  bei dem Verbindungsstellenabschnitt des Halbleiterchips und des Metalldrahts gemessen und wird eine Lebensdauerbeschleunigungskomponente ( $\Delta T_{(wb-vj)}$ ) wegen des Betrags  $I$  der elektrischen Belastung erhalten und wird daraufhin die Alternativ-Lebensdauerkurve unter Verwendung der Lebensdauerbeschleunigungskomponente  $\Delta T_{(wb-vj)}$  in die Referenzlebensdauerkurve umgesetzt. Im Folgenden erfolgt eine ausführliche Diskussion des zweiten Prozesses.

**[0043]** In Schritt S11 wird die Temperatur  $T_{wb}$  bei dem Verbindungsstellenabschnitt des Halbleiterchips und des Metalldrahts tatsächlich gemessen.

**[0044]** **Fig. 6** ist eine Ansicht, die eine Probe zeigt, deren Temperatur  $T_{wb}$  bei dem Verbindungsstellenabschnitt gemessen werden soll. In der Probe aus **Fig. 6** sind auf dem Halbleiterchip mehrere geteilte Anschlussflächen **11** vorgesehen und sind auf den Anschlussflächen **11** jeweils mehrere Metalldrähte **12** kontaktiert, die jeweils eine Form eines Drahts haben. In **Fig. 6** ist als Beispiel des Kontaktierens der Metalldraht **12** durch Punkt-kontaktieren mit einem Mittelabschnitt der vertikal langen Anschlussfläche **11** in Längsrichtung verbunden, wobei eine Grade Y aus **Fig. 6** durch die Verbindungen geht.

**[0045]** In dieser bevorzugten Ausführungsform ist in einer Lebensdauertestschaltung eine offene Probe enthalten, über der weder eine Abdeckung noch ein Harzgehäuse vorgesehen ist, wobei die Temperatur  $T_{wb}$  bei

dem Verbindungsstellenabschnitt der Probe unter Verwendung einer kontaktlosen Messvorrichtung wie etwa einer Infrarotkamera oder dergleichen gemessen wird. Als die Probe, deren Temperatur  $T_{wb}$  gemessen werden soll, wird eine Probe verwendet, in der die Metalldrähte **12** kontaktiert sind, die dieselbe Struktur wie die Metalldrähte **12** in der in dem ersten Prozess verwendeten Probe besitzen.

**[0046]** In **Fig. 7** repräsentiert die vertikale Achse eine durch die kontaktlose Messvorrichtung gemessene Temperatur, während der Betrag  $I$  der elektrischen Belastung angewendet wird, und repräsentiert die horizontale Achse eine Lage auf der Geraden Y aus **Fig. 6**. Wie in **Fig. 7** gezeigt ist, sind die Temperaturen bei den Verbindungsstellenabschnitten der Anschlussflächen **11** auf dem Halbleiterchip und der Metalldrähte **12** höher als die Temperaturen an Lagen zwischen den angrenzenden Verbindungsstellenabschnitten, wobei die höchste Temperatur  $T_{wb(max)}$  der Temperaturen bei den Verbindungsstellenabschnitten als die in Schritt **11** zu erfassende Temperatur  $T_{wb}$  erfasst wird.

**[0047]** In dieser bevorzugten Ausführungsform wird die tatsächliche Messung der Temperatur  $T_{wb}$  bei dem oben diskutierten Verbindungsstellenabschnitt für jeden Strukturparameter (z. B. für die Drahlänge oder für den Verbindungsstellenabschnitt auf dem Halbleiterchip) des Metalldrahts **12** mehrmals ausgeführt, während der Betrag  $I$  der elektrischen Belastung geändert wird.

**[0048]** In **Fig. 8** repräsentiert die vertikale Achse die Temperatur  $T_{wb}$  bei dem Verbindungsstellenabschnitt und repräsentiert die horizontale Achse den Betrag  $I$  der elektrischen Belastung. In **Fig. 8** sind als beispielhafte Strukturparameter drei Muster von Drahlängen (19 mm, 28 mm und 37 mm) des Metalldrahts **12** gezeigt. Während die Drahlänge des Metalldrahts **12** zunimmt, nimmt der Widerstand des Metalldrahts **12** ebenfalls zu und erzeugt dadurch mehr Wärme, wobei die Temperatur  $T_{wb}$  bei dem Verbindungsstellenabschnitt steigt. In Schritt S11 wird aus der in **Fig. 8** gezeigten Beziehung zwischen der Temperatur  $T_{wb}$  bei dem Verbindungsstellenabschnitt und dem Betrag  $I$  der elektrischen Belastung eine Funktion  $T_{wbL,m}(I)$  erhalten, die für jede Drahlänge  $T_{wb} = T_{wbL,m}(I)$  erfüllt (wobei "m" einen für jede Drahlänge gegebenen Wert repräsentiert). In dieser bevorzugten Ausführungsform werden aus der Beziehung zwischen der Temperatur  $T_{wb}$  bei dem Verbindungsstellenabschnitt und dem Betrag  $I$  der elektrischen Belastung aus den mehreren Datenpunkten, die durch das Experiment erhalten wurden, mittels der Polynomapproximation unter Verwendung des Verfahrens der kleinsten Quadrate Koeffizienten  $A_{L,m}$  und  $B_{L,m}$  der in Gleichung (1) gezeigten Funktion  $T_{wbL,m}(I)$  erhalten. Wie in **Fig. 8** gezeigt ist, wird  $T_{wbL,m}(I)$  im Fall dreier Muster von Drahlängen (19 mm, 28 mm und 37 mm) für jeden der Fälle mit  $m = 1, 3$  und  $3$  erhalten.

$$T_{wbL,m}(I) = A_{L,m} \cdot I^2 + B_{L,m} \cdot I \quad (1)$$

**[0049]** Außerdem wird in einem Fall, in dem die Lage der Verbindungsstelle des Metalldrahts **12** und des Halbleiterchips, z. B. eine Lage der Verbindungsstelle (eine Lage des Verbindungsstellenabschnitts) in der vertikalen Richtung in Bezug auf die Gerade Y aus **Fig. 6** als der Strukturparameter verwendet wird, dieselbe Beziehung wie in **Fig. 8** gezeigt erhalten. Daraufhin wird in Schritt S11 ebenfalls in dem Fall, in dem die Lage der Verbindungsstelle als der Strukturparameter verwendet wird, aus der Beziehung zwischen der Temperatur  $T_{wb}$  bei dem Verbindungsstellenabschnitt und dem Betrag  $I$  der elektrischen Belastung eine Funktion  $T_{wbP,n}(I)$  erhalten, die für jede Lage der Verbindungsstelle  $T_{wb} = T_{wbP,n}(I)$  erfüllt (wobei "n" einen für jede Lage der Verbindungsstelle gegebenen Wert repräsentiert). In dieser bevorzugten Ausführungsform werden aus der Beziehung zwischen der Temperatur  $T_{wb}$  bei dem Verbindungsstellenabschnitt und dem Betrag  $I$  der elektrischen Belastung Koeffizienten  $A_{P,n}$  und  $B_{P,n}$  der in Gleichung (2) gezeigten Funktion  $T_{wbP,n}(I)$  erhalten.

$$T_{wbP,n}(I) = A_{P,n} \cdot I^2 + B_{P,n} \cdot I \quad (2)$$

**[0050]** Obgleich die obige Diskussion dadurch erfolgte, dass die Drahlänge des Metalldrahts **12** und der Verbindungsstellenabschnitt des Metalldrahts **12** als beispielhafte Strukturparameter verwendet wurden, kann im Fall der Verwendung anderer als der obigen Parameter als die Strukturparameter auf dieselbe Weise ebenfalls eine Funktion  $T_{wb}(I)$  erhalten werden.

**[0051]** In Schritt S12 wird eine Beziehung zwischen dem Betrag  $I$  der elektrischen Belastung und der Temperatur  $T_{vj}$  innerhalb des Halbleiterchips erhalten. Die Temperatur  $T_{vj}$  innerhalb des Halbleiterchips kann die Temperatur sein, die in Schritt S11 tatsächlich gemessen wird, oder die Temperatur, die in der in Schritt S1 diskutierten Weise erfasst wird. Mit dieser Operation wird wie in **Fig. 9** gezeigt  $T_{vj}(I)$  als die Beziehung zwischen dem Betrag  $I$  der elektrischen Belastung und der Temperatur  $T_{vj}$  innerhalb des Halbleiterchips erhalten.

**[0052]** Die Temperatur  $T_{vj}(I)$  innerhalb des Halbleiterchips, die in Schritt S12 erfasst wird, ist ein Wert, der nicht von der Struktur des Metalldrahts **12** abhängt. In der in **Fig. 6** gezeigten Struktur des Metalldrahts **12** ist normalerweise eine wie in **Fig. 7** gezeigte Beziehung  $T_{wb} > T_{vj}$  erfüllt.

**[0053]** In Schritt S13 werden die in Schritt S11 für mehrere Typen von Strukturparametern des Metalldrahts **12** erhaltenen Temperaturen  $T_{wb}$  bei dem Verbindungsstellenabschnitt (in diesem Fall die Funktionen  $T_{wbL,m}(I)$  und  $T_{wbP,m}(I)$ ) jeweils für jeden Strukturparameter addiert, um dadurch eine Temperatur  $\Sigma T_{wb}$  zu erhalten, die als eine Temperatur bei dem Verbindungsstellenabschnitt verwendet werden soll, um die später in dem Schritt S14 diskutierte Differenz zu erhalten. Falls z. B. die Strukturparameter nur die Drahlänge und die Lage der Verbindungsstelle sind, wird eine wie in Gleichung (3) gezeigte Temperatur  $\Sigma T_{wb}(I)$  erhalten.

$$\Sigma T_{wb}(I) = T_{wbL,m}(I) + T_{wbP,m}(I) \quad (3)$$

**[0054]** Als die Temperatur  $T_{wb}$  bei dem Verbindungsstellenabschnitt, die addiert werden soll, um  $\Sigma T_{wb}(I)$  zu erhalten, wird die Temperatur  $T_{wb}$  bei dem Verbindungsstellenabschnitt für den Strukturparameter des Metalldrahts, dessen Lebensdauer erhalten werden soll, verwendet. Falls z. B. eine Lebensdauer einer Halbleitervorrichtung geschätzt werden soll, die Metallrähte enthält, die jeweils eine Drahlänge von 19 mm besitzen, ist die in **Fig. 8** gezeigte Funktion  $T_{wbL,m}(I)$  für die Drahlänge von 19 mm zu addieren, um  $\Sigma T_{wb}(I)$  zu erhalten.

**[0055]** Falls ferner eine Lebensdauer einer Halbleitervorrichtung geschätzt werden soll, die Metallrähte enthält, die jeweils eine andere Drahlänge als die in **Fig. 8** gezeigten von 19 mm, 28 mm oder 37 mm aufweisen, wird unter Verwendung der Funktion  $T_{wbL,m}(I)$  ( $m = 1, 2, 3$ ) eine Interpolation ausgeführt, um dadurch eine Funktion  $T_{wbL}(I)$  für eine gewünschte Drahlänge zu erfassen, wobei die Funktion  $T_{wbL}(I)$  zu addieren ist, um  $\Sigma T_{wb}(I)$  zu erhalten.

**[0056]** In Schritt S14 wird mit dem Betrag  $I$  der elektrischen Belastung als ein Parameter eine Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$  zwischen der in Schritt S12 erhaltenen Temperatur  $T_{vj}(I)$  innerhalb des Halbleiterchips und der in Schritt S13 erhaltenen Temperatur  $\Sigma T_{wb}(I)$  als eine Lebensdauerbeschleunigungskomponente wegen des Betrags  $I$  der elektrischen Belastung erhalten. In diesem Fall ist die Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$  eine Funktion des Betrags  $I$  der elektrischen Belastung. Diese Funktion (Beziehung) ist in **Fig. 10** gezeigt.

**[0057]** In Schritt S15 wird die in Schritt S5 erhaltene Alternativ-Lebensdauerkurve unter Verwendung der in Schritt S14 erhaltenen Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$  in die Referenzlebensdauerkurve umgesetzt. Genauer wird der Strom  $II$  (der dem Betrag  $I$  der elektrischen Belastung entspricht), der in Schritt S5 der in Schritt S2 erhaltenen virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  zugeordnet wurde, erfasst und wird aus der in **Fig. 10** gezeigten Beziehung die Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$ , die dem Strom  $II$  entspricht, erfasst. Daraufhin wird die erfasste Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$  zu der virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  addiert oder wird die erfasste Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$  von der virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  subtrahiert (mit anderen Worten, wird die virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  um die erfasste Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$  verschoben). Hierbei wird angenommen, dass die maximale virtuelle Verbindungsstellentemperatur  $T_{vjmax}$  in der Referenzlebensdauerkurve dieselbe ist.

**[0058]** **Fig. 11** ist ein Graph zur Erläuterung der Verschiebung der virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$ . Wie in **Fig. 11** gezeigt ist, wird diese Verschiebungsoperation in Richtung der horizontalen Achse ausgeführt. Wie oben diskutiert wurde, ist die Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}$  eine Differenz zwischen der Temperatur  $\Sigma T_{wb}$  bei dem Verbindungsstellenabschnitt und der Temperatur  $T_{vj}$  innerhalb des Halbleiterchips. Damit fällt der durch Verschieben der virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  um die Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$  erhaltene Betrag der Temperaturbelastung fast mit dem Betrag  $\Delta T_{wb}$  der tatsächlichen Verbindungsstellen-Temperaturbelastung zusammen.

**[0059]** Ferner wird in Schritt S15 der bevorzugten Ausführungsform, wenn die maximale virtuelle Verbindungsstellentemperatur in der in Schritt S5 zugeordneten Alternativ-Lebensdauerkurve von dem in Schritt S12 erhaltenen Maximalwert  $T_{vjmax}$  der Temperatur  $T_{vj}$  verschieden ist, aus Gleichung (4) ein maximaler Verbindungsstellentemperaturkoeffizient  $T_{vjmaxc}$  erhalten, wobei die Zykluszahl  $Nf$  in der Lebensdauerkurve, in der die oben diskutierte Verschiebung in Richtung der horizontalen Achse ausgeführt wird, mit dem maximalen Verbindungsstellentemperaturkoeffizient  $T_{vjmaxc}$  multipliziert wird. Bevorzugt könnte der Wert  $T_{vjmax}$  der Referenzlebensdauerkurve ein in einem Datenblatt (das die kürzeste Lebensdauer angibt) oder dergleichen bestimmter Maximalwert einer garantierten Betriebstemperatur sein. Ferner repräsentiert ein in Gleichung (4) gezeigter Wert  $T_{vjave}$  einen Durchschnittswert in einem Bereich von Temperaturen  $T_{vj}$  innerhalb des Halbleiterchips (zweckmäßig kann dies ein Durchschnitt zwischen der höchsten Temperatur und der niedrigsten Temperatur

innerhalb des Halbleiterchips sein), wobei  $\alpha$  und  $\beta$  Konstanten sind, die je nach Struktur des Metalldrahts **12** variieren. Die Konstanten  $\alpha$  und  $\beta$  werden z. B. aus einem in **Fig. 12** gezeigten experimentellen Ergebnis bestimmt. Die Messung zum Erhalten des in **Fig. 12** gezeigten maximalen Verbindungsstellentemperaturkoeffizienten  $T_{vjmax}$  wird nur bei bestehender Temperaturbelastung, ohne dass eine elektrische Belastung vorliegt, ausgeführt. Allerdings wird in dem Prozess zum Erfassen der Alternativ-Lebensdauerkurve unter Verwendung einer mit einem Gehäuse bedeckten Probe in Gleichung (4) der Durchschnittswert  $T_{vjave}$  in dem Bereich von Temperaturen  $T_{vj}$  innerhalb des Halbleiterchips verwendet, da es schwierig ist, die Temperatur  $T_{wb}$  bei dem Verbindungsstellenabschnitt zu messen, wobei dann, wenn die Temperatur  $T_{wb}$  bei dem Verbindungsstellenabschnitt gemessen werden kann, ein Durchschnittswert der Temperaturen  $T_{wb}$  bei den Verbindungsstellenabschnitten verwendet werden kann.

$$T_{vjmax} = \exp\left(\frac{\alpha}{\beta \cdot T_{vjave}[K]}\right) \quad (4)$$

**[0060]** Durch Multiplizieren der Zykluszahl  $N_f$  mit dem maximalen Verbindungsstellentemperaturkoeffizienten  $T_{vjmax}$  wird die in Richtung der horizontalen Achse verschobene Lebensdauerkurve wie in **Fig. 11** gezeigt in Richtung der vertikalen Achse verschoben. Mit anderen Worten, in dieser bevorzugten Ausführungsform wird die Alternativ-Lebensdauerkurve nicht nur unter Verwendung der Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}$ , sondern auch der maximalen virtuellen Verbindungsstellentemperatur  $T_{vjmax}$  in Schritt S15 in die Referenzlebensdauerkurve umgesetzt.

**[0061]** **Fig. 13** zeigt eine beispielhafte, durch Ausführen des oben diskutierten ersten und zweiten Prozesses (der Schritte S1 bis S5 und S11 bis S15) erfasste Referenzlebensdauerkurve. Da die Referenzlebensdauerkurve eine Lebensdauerkurve ohne irgendeine elektrische Belastung (ohne angelegten Strom) ist, wird die Referenzlebensdauerkurve durch die Struktur wie etwa die Drahtlänge oder dergleichen nicht beeinflusst. Mit der Referenzlebensdauerkurve kann die Lebensdauer der Halbleitervorrichtung durch Berechnen der Differenzen  $\Delta T_{(wb-vj)}$  für verschiedene zu verwendende Ströme erhalten werden.

**[0062]** **Fig. 14** ist ein Ablaufplan, der eine Operation zum Schätzen der Lebensdauer der Halbleitervorrichtung unter Verwendung der so erhaltenen Referenzlebensdauer zeigt. Als eine Vorbedingung sind die Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$  und die Referenzlebensdauerkurve bereits erhalten worden.

**[0063]** Zunächst wird (in Schritt S21) der Betrag der elektrischen Belastung (der Stromwert)  $I$  erfasst, wird (in Schritt S22) die virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz (der zweite Temperaturbelastungsbetrag)  $\Delta T_{vj}$  erfasst und wird (in Schritt S23) die maximale virtuelle Verbindungsstellentemperatur  $T_{vjmax}$  erfasst. Die virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  und die maximale virtuelle Verbindungsstellentemperatur  $T_{vjmax}$  können in der gleichen Weise wie in den Schritten S1 und S2 erhalten werden. Alternativ ist es ebenfalls möglich, diese Werte unter Verwendung einer Beziehung  $T_{vj} = T_c + P \cdot R_{th(j-c)}$  aus einem Wärmewiderstand  $R_{th(j-c)}$  zwischen dem Halbleiterchip und dem Gehäuse in der Halbleitervorrichtung, einem Verlust  $P$  und einer Gehäusetemperatur  $T_c$  zu erhalten.

**[0064]** Daraufhin wird auf der Grundlage des Betrags  $I$  der elektrischen Belastung, der virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  und der maximalen virtuellen Verbindungsstellentemperatur  $T_{vjmax}$ , die in den Schritten S21 bis S23 erfasst wurden, die Lebensdauer der Halbleitervorrichtung erhalten (Schritte S24 bis S27). In diesem Fall wird aus der Beziehung aus **Fig. 10** auf der Grundlage des in Schritt S21 erfassten Betrags  $I$  der elektrischen Belastung die Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$  (mit anderen Worten im Wesentlichen die Differenz zwischen der virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  und dem Verbindungsstellen-Temperaturbelastungsbetrag  $\Delta T_{wb}$ ) erhalten und auf der Grundlage der Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$  die virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  mit dem Verbindungsstellen-Temperaturbelastungsbetrag  $\Delta T_{wb}$  verglichen (Schritt S24). Daraufhin wird dann, wenn  $\Delta T_{vj} > \Delta T_{wb}$  ist (die Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I) < 0$  ist), unter Verwendung von Gleichung (5) die Lebensdauer (die Zykluszahl  $N_f$ ) erhalten (Schritt S25) und dann, wenn  $\Delta T_{vj} \leq \Delta T_{wb}$  ist (die Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I) \geq 0$  ist), unter Verwendung von Gleichung (6) die Lebensdauer (die Zykluszahl  $N_f$ ) erhalten (Schritt S26).

$$N_f = C \cdot (\Delta T_{vj} - \Delta T_{(wb-vj)})^D \quad (5)$$

$$N_f = C \cdot (\Delta T_{vj} + \Delta T_{(wb-vj)})^D \quad (6)$$

**[0065]** Ferner entsprechen die in Gleichung (5) gezeigte Differenz  $(\Delta T_{vj} - \Delta T_{(wb-vj)})(I)$  und die in Gleichung (6) gezeigte Summe  $(\Delta T_{vj} + \Delta T_{(wb-vj)})(I)$  dem Verbindungsstellen-Temperaturbelastungsbetrag (ersten Tempera-

turbelastungsbetrag)  $\Delta T_{wb}$ , der wie in **Fig. 11** gezeigt in Richtung der horizontalen Achse verschoben ist. Mit anderen Worten, die Terme entsprechen der Erfassung des Verbindungsstellen-Temperaturbelastungsbetrags  $\Delta T_{wb}$  auf der Grundlage der Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$ , die dem Betrag  $I$  der elektrischen Belastung entspricht, der in Schritt S21 erfasst wird, und auf der Grundlage der virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$ , die in Schritt S22 erfasst wird.

**[0066]** Darüber hinaus sind die in Gleichung (5) und Gleichung (6) gezeigten Größen "C" und "D" Parameter, die die in **Fig. 13** gezeigte Referenzlebensdauerkurve bestimmen. Mit anderen Worten, diese Gleichungen entsprechen der Schätzung der Lebensdauer der Halbleitervorrichtung auf der Grundlage des wie oben auf der Grundlage der Referenzlebensdauerkurve erfassten Verbindungsstellen-Temperaturbelastungsbetrags  $\Delta T_{wb}$ . Wenn ein Nutzer eine Lebensdauer einer Halbleitervorrichtung unter der Bedingung eines zu verwendenden Stromwerts  $I_{use}$  und einer Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vjuse}$  schätzen möchte, kann er die Lebensdauer allein dadurch schätzen, dass er aus **Fig. 10** eine dem Strom  $I_{use}$  entsprechende Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)use}$  abliest und durch Verschieben von der Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vjuse}$  um die Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)use}$  in Richtung der horizontalen Achse der in **Fig. 13** gezeigten Referenzlebensdauerkurve eine Zykluszahl  $Nf$  abliest, die einem erhaltenen Wert entspricht.

**[0067]** Nach Schritt S25 oder Schritt S26 wird Schritt S27 ausgeführt. Wenn in Schritt S27 die in Schritt S23 erfasste maximale virtuelle Verbindungsstellentemperatur  $T_{vjmax}$  von der durch die Referenzlebensdauerkurve bestimmten maximalen virtuellen Verbindungsstellentemperatur  $T_{vjmax}$  verschieden ist, wird der in Schritt S22 erfasste Durchschnittswert der virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  in Gleichung (4) in  $T_{vjave}$  eingesetzt und dadurch der maximale Verbindungsstellentemperaturkoeffizient  $T_{vjmaxc}$  erfasst. Daraufhin wird ein Wert, der durch Multiplizieren der in Schritt S25 oder S26 erfassten Zykluszahl  $Nf$  mit dem maximalen Verbindungsstellentemperaturkoeffizienten  $T_{vjmaxc}$  erfasst wird, als die Lebensdauer der Halbleitervorrichtung erfasst. Wenn die maximale virtuelle Verbindungsstellentemperatur  $T_{vjmax}$  gleich der durch die Referenzlebensdauerkurve bestimmten maximalen virtuellen Verbindungsstellentemperatur  $T_{vjmax}$  ist, braucht die in Schritt S26 erfasste Zykluszahl  $Nf$  nicht mit dem maximalen Verbindungsstellentemperaturkoeffizienten  $T_{vjmaxc}$  multipliziert zu werden. Für den Nutzer werden die in **Fig. 13** gezeigte Referenzlebensdauerkurve und die in **Fig. 10** gezeigte Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$ , die eine Funktion des Betrags  $I$  der elektrischen Belastung ist, bereitgestellt. Bei Bedarf werden für den Nutzer für jede Struktur die Gleichungen (3) und (4) (einschließlich der Koeffizienten in diesen Gleichungen) bereitgestellt. Außerdem wird für den Nutzer bei Bedarf eine Computersoftware bereitgestellt, die die Kurve und die Gleichungen enthält, die automatisch eine Lebensdauer berechnet, wenn Parameter wie etwa ein Stromwert und dergleichen in sie eingegeben werden.

**[0068]** Durch das oben diskutierte Lebensdauerschätzverfahren dieser bevorzugten Ausführungsform kann eine Lebensdauer einer Halbleitervorrichtung unter Verwendung einer Referenzlebensdauerkurve mit dem Verbindungsstellen-Temperaturbelastungsbetrag und mit der Zykluszahl, die der Lebensdauer der Halbleitervorrichtung entspricht, als Parameter geschätzt werden. Somit kann die Lebensdauer der Halbleitervorrichtung mit hoher Genauigkeit geschätzt werden. Falls die Referenzlebensdauerkurve (**Fig. 13**) für eine Struktur eines Metalldrahts **12** einmal erhalten wurde, braucht lediglich die in **Fig. 3** gezeigte oben diskutierte Lebensdauerbeschleunigungskomponente (mit anderen Worten die Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$ ) erhalten zu werden und braucht nicht die Alternativ-Lebensdauerkurve erhalten zu werden, die zu erhalten lange Zeit dauert, wenn die Referenzlebensdauerkurve für einen Metalldraht mit einer anderen Struktur erhalten werden soll. Somit kann die Lebensdauer in kurzer Zeit geschätzt werden.

**[0069]** In dieser bevorzugten Ausführungsform wird die Alternativ-Lebensdauerkurve unter Verwendung der Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$  in die Referenzlebensdauerkurve umgesetzt. Mit anderen Worten, die virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  kann in den Verbindungsstellen-Temperaturbelastungsbetrag  $\Delta T_{wb}$  umgesetzt werden. Da die virtuelle Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz  $\Delta T_{vj}$  selbst dann geschätzt werden kann, wenn die Halbleitervorrichtung im Gehäuse untergebracht ist, kann die Lebensdauer der im Gehäuse untergebrachten Halbleitervorrichtung mit hoher Genauigkeit geschätzt werden.

**[0070]** Ferner werden in dieser bevorzugten Ausführungsform die Temperaturen  $T_{wb}$  bei dem Verbindungsstellenabschnitt für mehrere Typen von Strukturparametern des Metalldrahts jeweils für jeden Strukturparameter addiert, um dadurch eine Temperatur zu erhalten, die dazu verwendet werden kann, die Differenz  $\Delta T_{(wb-vj)}(I)$  zu erhalten. Somit kann die Referenzlebensdauerkurve für einen gewünschten Metalldraht leicht erfasst werden.

**[0071]** In der obigen Diskussion ist der Betrag der elektrischen Belastung der Strom  $I$  und kann als der Strom  $I$  ein Gleichstrom verwendet werden, der leicht gesteuert werden kann und die Analyse von Testdaten erleichtert.

Alternativ kann als der Strom I ein Wechselstrom verwendet werden, bei dem die Bedingung in der Nähe der tatsächlichen Verwendungsbedingung liegt und der Fehler der Lebensdauer unterdrückt werden kann.

**[0072]** Obgleich der Betrag der elektrischen Belastung in der obigen Diskussion der Strom I ist, ist der Betrag der elektrischen Belastung darauf nicht beschränkt. Zum Beispiel kann der Betrag der elektrischen Belastung der Betrag der elektrischen Leistung sein. In diesem Fall wird erwartet, dass eine Untersuchung der Beziehung zwischen dem Temperaturbelastungsbetrag, während Strom fließt, und der Lebensdauer nicht notwendig ist. Ferner kann der Betrag der elektrischen Belastung z. B. ein durch Multiplizieren des Quadrats des Stromwerts mit der Zeit erhaltener Wert sein. In diesem Fall ist zu erwarten, dass die Lebensdauervorhersage hinsichtlich einer Überlastbedingung, wenn ein Überstrom fließt, ausgeführt werden kann.

### Patentansprüche

1. Lebensdauerschätzverfahren für eine Halbleitervorrichtung, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

(a) Vorbereiten einer ersten Lebensdauerkurve unter Verwendung eines ersten Betrags ( $\Delta T_{wb}$ ) der Temperaturbelastung, der ein Temperaturbelastungsbetrag bei einem Verbindungsstellenabschnitt ist, wobei ein in einer Halbleitervorrichtung enthaltener Halbleiterchip und ein Metalldraht (12) miteinander kontaktiert sind, und einer Zykluszahl (Nf), die einer Lebensdauer der Halbleitervorrichtung entspricht, als Parameter; und

(b) Schätzen der Lebensdauer der Halbleitervorrichtung unter Verwendung der ersten Lebensdauerkurve, **dadurch gekennzeichnet**, dass

der Schritt (a) die folgenden Schritte umfasst:

(a-1) Vorbereiten einer zweiten Lebensdauerkurve unter Verwendung einer virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz ( $\Delta T_{vj}$ ), die einen zweiten Temperaturbelastungsbetrag repräsentiert, der ein Temperaturbelastungsbetrag innerhalb des Halbleiterchips der Halbleitervorrichtung ist, und der Zykluszahl (Nf), die der Lebensdauer der Halbleitervorrichtung entspricht, als Parameter;

(a-2) Erhalten einer Differenz ( $\Delta T_{(wb-vj)}$ ) zwischen einer Temperatur ( $T_{vj}$ ) innerhalb des Halbleiterchips und einer Temperatur bei dem Verbindungsstellenabschnitt unter Verwendung eines Betrags der elektrischen Belastung als Parameter; und

(a-3) Umsetzen der zweiten Lebensdauerkurve in die erste Lebensdauerkurve unter Verwendung der Differenz ( $\Delta T_{(wb-vj)}$ ).

2. Lebensdauerschätzverfahren für eine Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass Temperaturen ( $T_{wb}$ ) bei dem Verbindungsstellenabschnitt für mehrere Typen von Strukturparametern des Metalldrahts (12) jeweils für jeden Strukturparameter addiert werden, um dadurch eine Temperatur zu erhalten, die als die Temperatur des Verbindungsstellenabschnitts verwendet werden soll, um in dem Schritt (a-2) die Differenz ( $\Delta T_{(wb-vj)}$ ) zu erhalten.

3. Lebensdauerschätzverfahren für eine Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Lebensdauerkurve in dem Schritt (a-3) außerdem unter Verwendung einer maximalen virtuellen Verbindungsstellentemperatur ( $T_{vjmax}$ ), die einen Maximalwert der Temperatur ( $T_{vj}$ ) innerhalb des Halbleiterchips der Halbleitervorrichtung repräsentiert, in die erste Lebensdauerkurve umgesetzt wird.

4. Lebensdauerschätzverfahren für eine Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass

der Schritt (b) die folgenden Schritte umfasst:

(b-1) Erfassen der virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz ( $\Delta T_{vj}$ );

(b-2) Erfassen des Betrags der elektrischen Belastung;

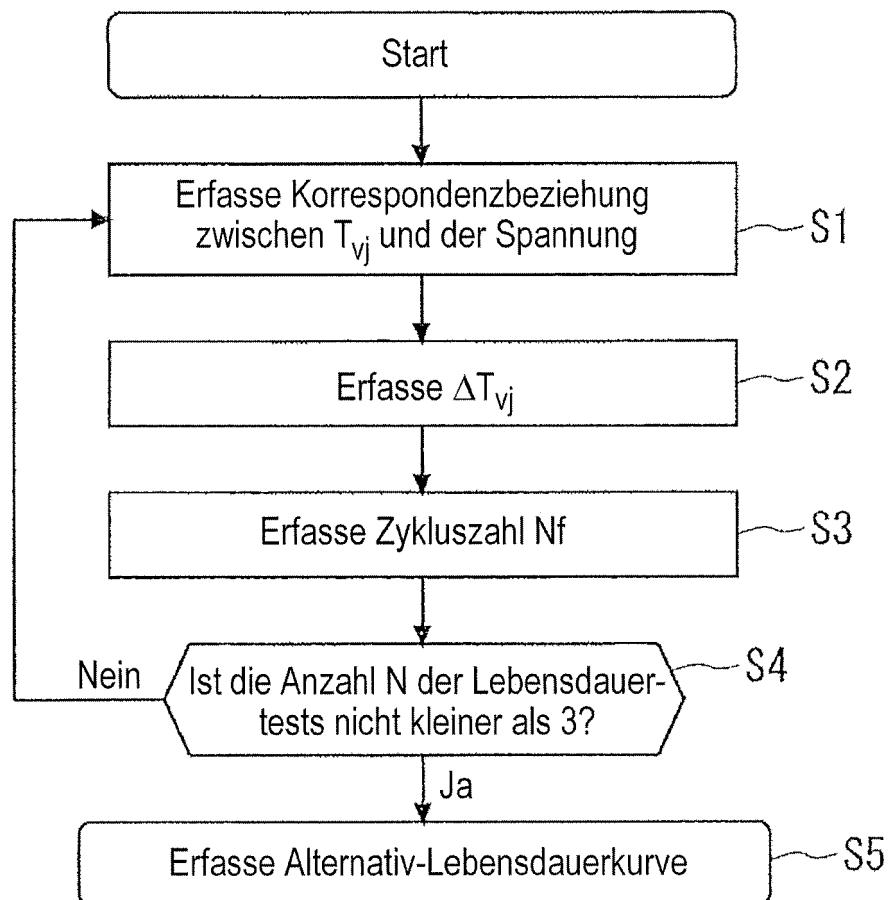
(b-3) Erfassen des ersten Temperaturbelastungsbetrags ( $\Delta T_{wb}$ ) auf der Grundlage der Differenz, die dem in dem Schritt (b-2) erfassten Betrag der elektrischen Belastung entspricht, und auf der Grundlage der in dem Schritt (b-1) erfassten virtuellen Verbindungsstellen-Temperaturdifferenz ( $\Delta T_{vj}$ ); und

(b-4) Schätzen der Lebensdauer der Halbleitervorrichtung auf der Grundlage des in dem Schritt (b-3) erfassten ersten Temperaturbelastungsbetrags ( $\Delta T_{wb}$ ) und auf der Grundlage der ersten Lebensdauerkurve.

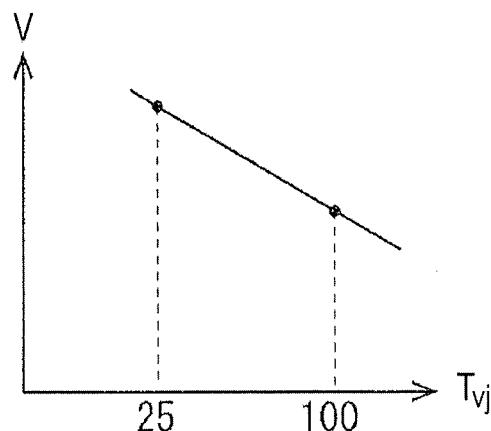
Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

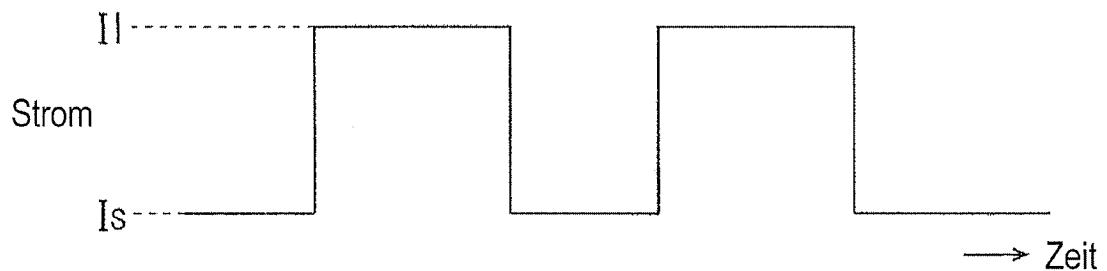
F I G . 1



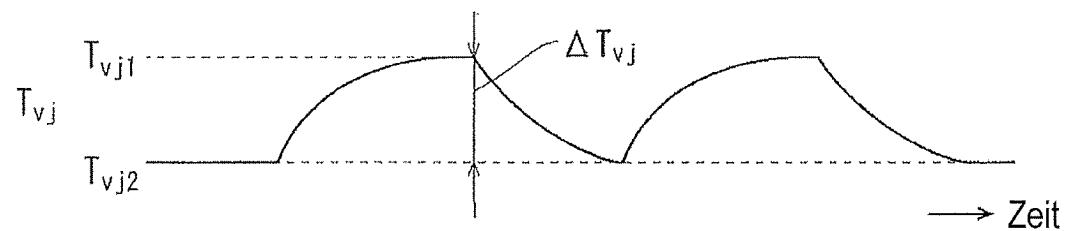
F I G . 2



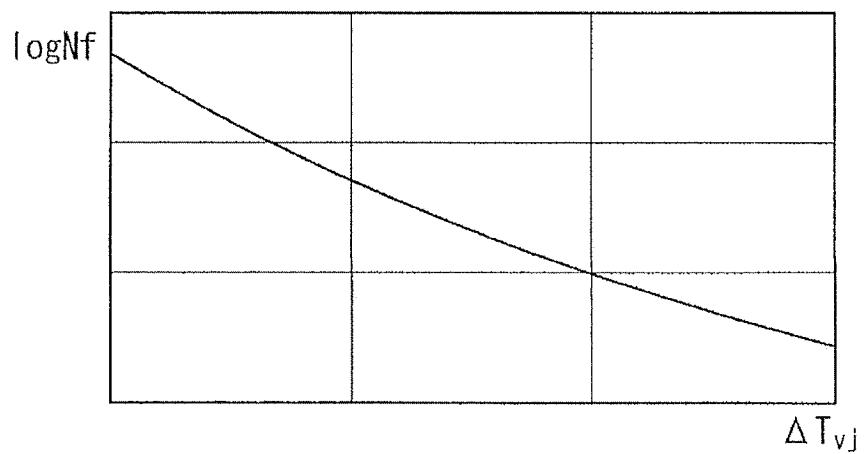
F I G . 3 A



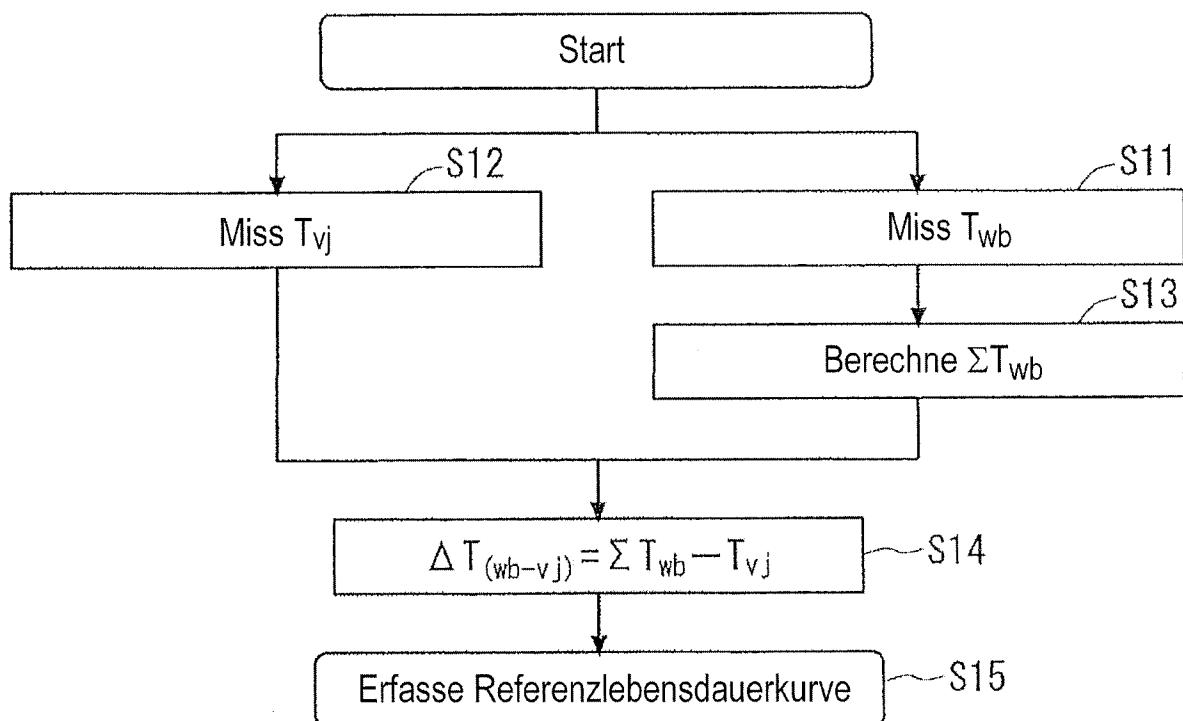
F I G . 3 B



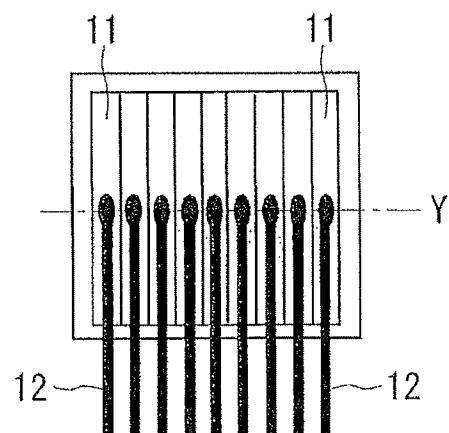
F I G . 4



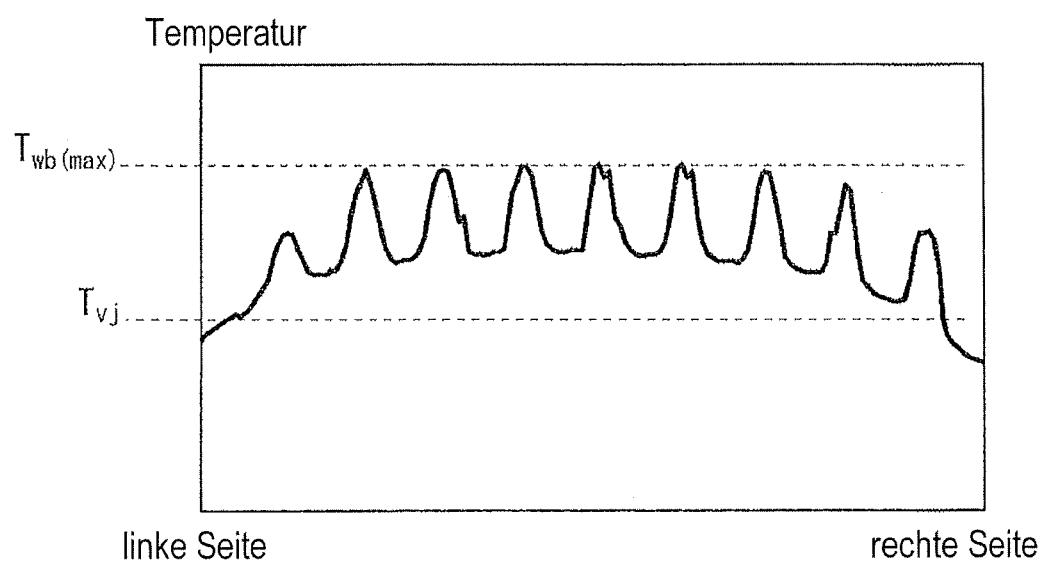
F I G . 5



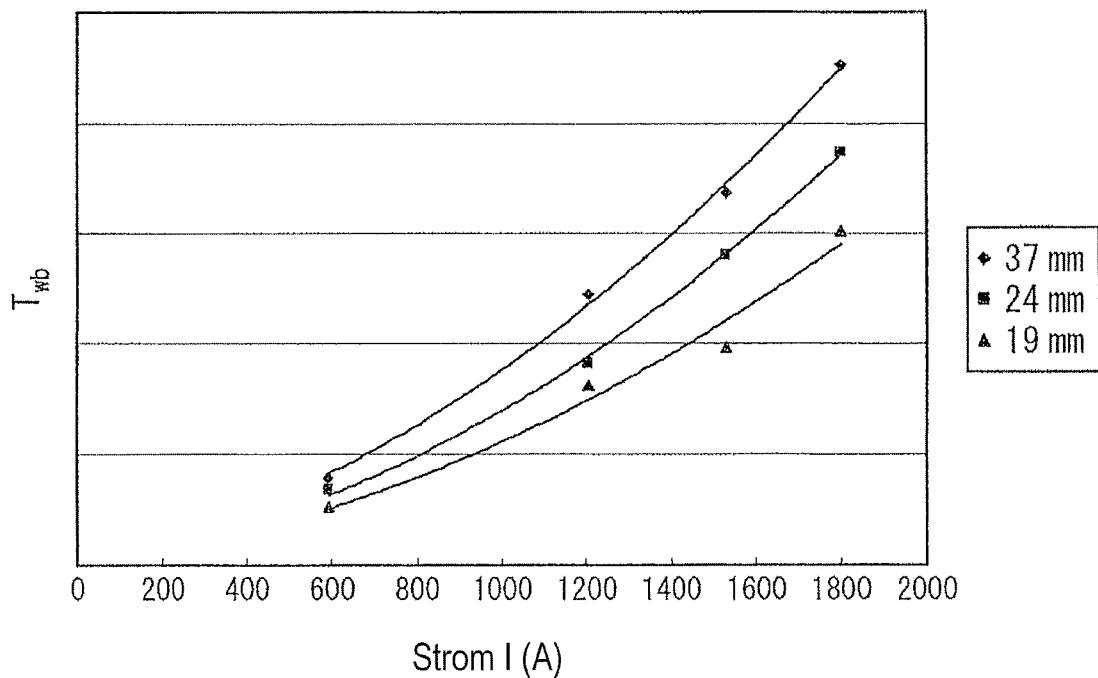
F I G . 6



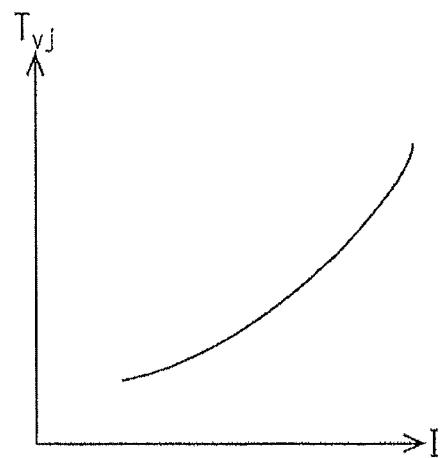
F I G . 7



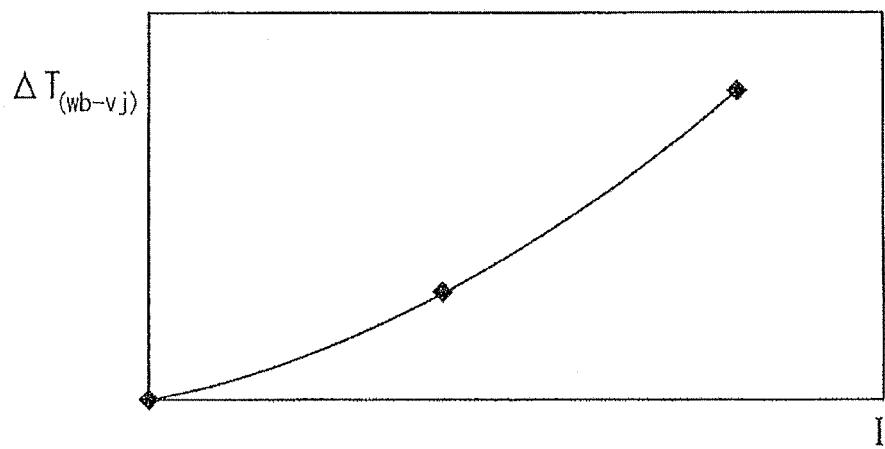
F I G . 8



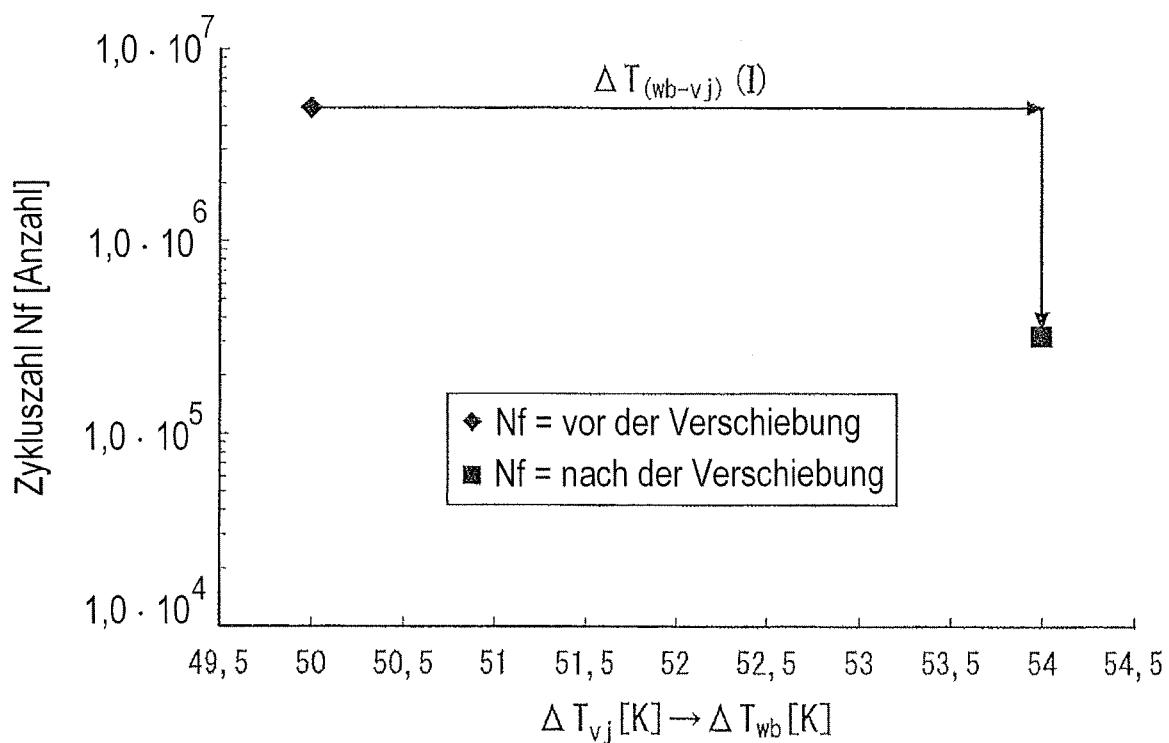
F I G . 9



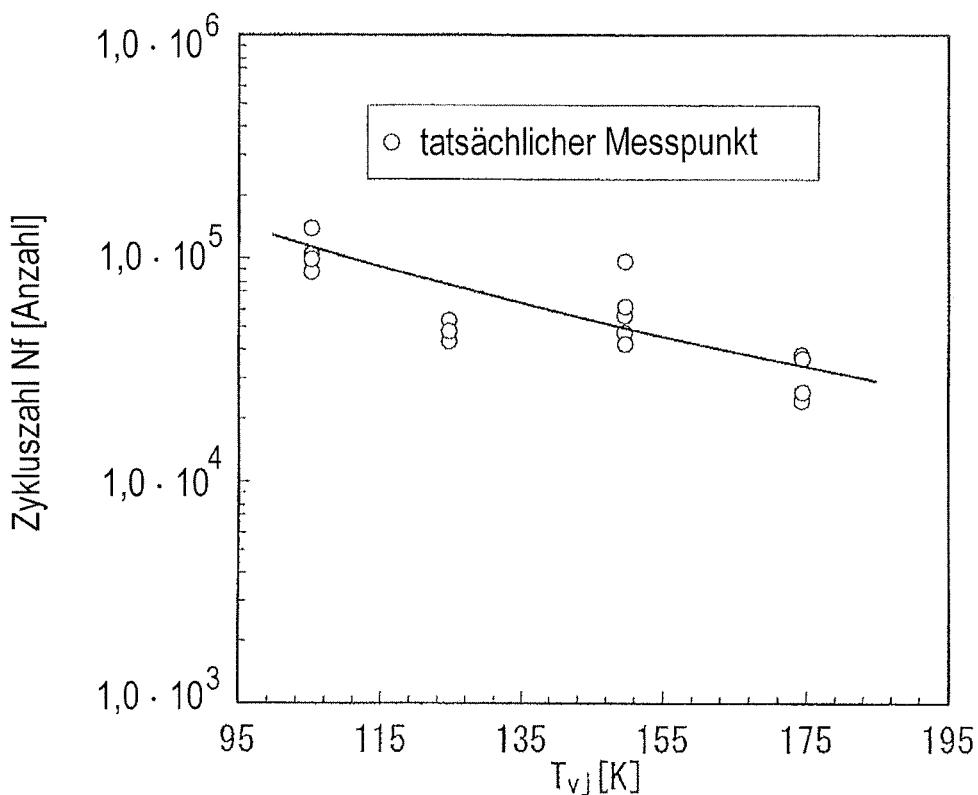
F I G . 1 0



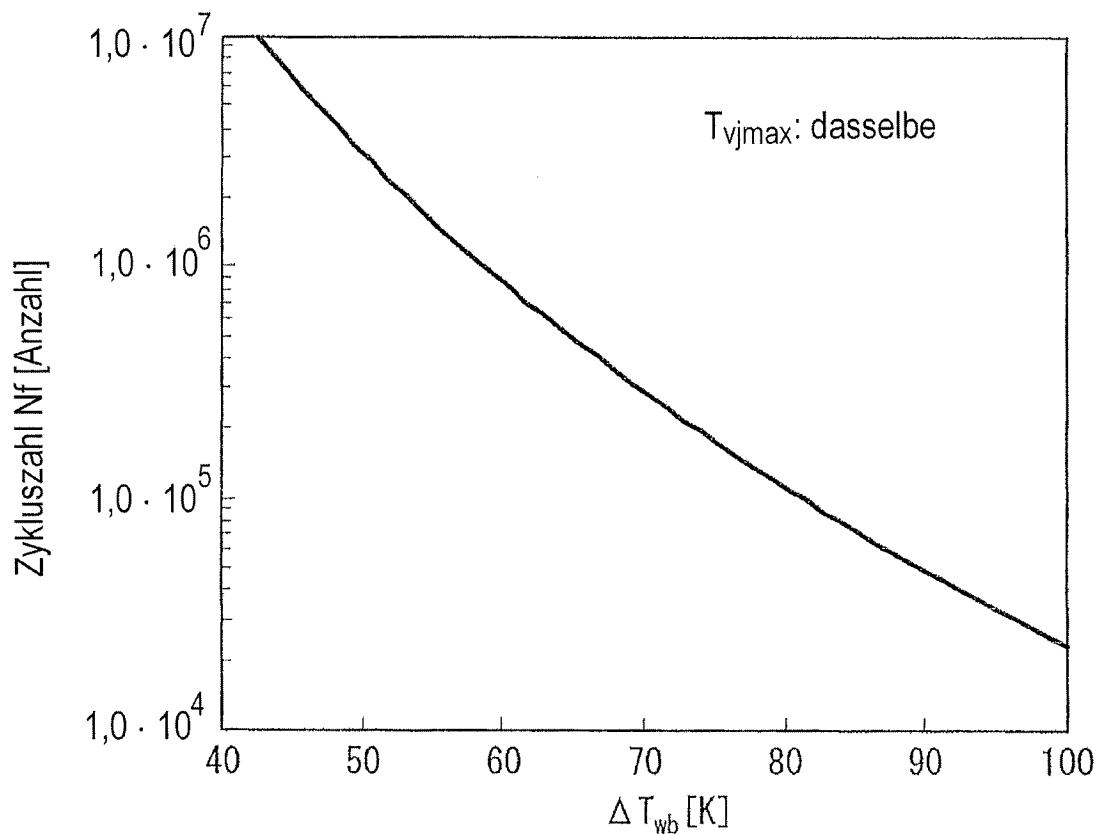
F I G . 1 1



F I G . 1 2



F I G . 1 3



F I G . 1 4

