



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 27 025 T2 2005.09.08**

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 018 169 B1**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **H01L 33/00**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 27 025.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US98/17849**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 945 787.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/010936**

(86) PCT-Anmeldetag: **28.08.1998**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **04.03.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **12.07.2000**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **13.10.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **08.09.2005**

(30) Unionspriorität:

**920409                      29.08.1997              US**

(73) Patentinhaber:

**Cree, Inc., Durham, N.C., US**

(74) Vertreter:

**Dr. Weber, Dipl.-Phys. Seiffert, Dr. Lieke, 65183  
Wiesbaden**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI,  
LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

**SLATER, B., David, Raleigh, US; NEGLEY, H.,  
Gerald, Hillsborough, US; EDMOND, Adam, John,  
Cary, US**

(54) Bezeichnung: **ROBUSTE LICHEMITTIERENDE DIODE AUS EINER NITRIDVERBINDUNG VON ELEMENTEN  
DER GRUPPE III FÜR HOHE ZUVERLÄSSIGKEIT IN STANDARDPACKUNGEN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft Leuchtdioden und sie betrifft insbesondere solche Dioden, welche aus Gruppe-III-Nitriden für Anwendungen mit Standardverpackungen gebildet werden.

## Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Eine Leuchtdiode (LED) ist eine Vorrichtung mit p-n-Übergang, die elektrische Energie in optische Strahlung umwandelt. Insbesondere strahlen LEDs unter den richtigen Vorspannungsbedingungen in Durchlaßrichtung nach außen spontane Strahlung in den ultravioletten, sichtbaren und infraroten Bereichen des elektromagnetischen Spektrums ab.

**[0003]** Wie Fachleuten bekannt ist, die mit den sichtbaren und nahe-sichtbaren Bereichen des elektromagnetischen Spektrums und ihren Charakteristiken vertraut sind, entsprechen kürzere Wellenlängen des Lichts (wie zum Beispiel blau und ultraviolett) höheren Frequenzen, Übergängen mit höherer Energie und längere Wellenlängen (wie zum Beispiel rot und infrarot) entsprechen niedrigeren Frequenzen, Übergängen mit niedrigerer Energie.

**[0004]** Daher entspricht in Bezug auf Leuchtdioden der jeweilige Bereich des elektromagnetischen Spektrums, in den diese abstrahlen – d.h. ihre Farbe – der Energie der Übergänge, welche die Emission hervorgerufen. Die Energie der Übergänge wiederum wird zu einem großen Teil von der Bandlücke des jeweiligen Materials bestimmt. Daher muß, damit eine Leuchtdiode in den blauen oder ultravioletten Bereichen des Spektrums emittiert, die Bandlücke des Halbleitermaterials groß genug (breit genug) sein, um einen Übergang mit ausreichender Energie zu unterstützen, um blaues oder ultraviolettes Licht zu erzeugen.

**[0005]** Entsprechend sind die Kandidatenmaterialien für Leuchtdioden in den blauen und ultravioletten Bereichen des Spektrums auf bestimmte Materialien mit breiter Bandlücke beschränkt, wie zum Beispiel Diamant, Siliziumcarbid (SiC) und Gruppe-III-Nitride; zum Beispiel binäre, ternäre und tertiäre Nitride, die aus den Elementen der Gruppe III des Periodensystems gebildet werden, wie zum Beispiel Galliumnitrid (GaN), Indium-Galliumnitrid (InGaN) und Aluminium-Galliumnitrid (AlGaIn).

**[0006]** Die neuere Entwicklungsarbeit auf dem Gebiet der blauen LEDs hat sich stärker auf die Gruppe-III-Nitride konzentriert, aufgrund ihrer breiten Bandlücken und ihrer Charakteristiken als direkte anstelle von indirekten Übergangsmaterialien. Wie für Fachleute offensichtlich, bietet ein direktes Bandlückenmaterial tendenziell eine höhere Effizienz, da seine Energiekonversion vorherrschend in der Form von Licht (ein Photon) vorliegt, anstatt teilweise als Licht und teilweise als Vibrationsenergie (ein Phonon):

Eine extensivere Diskussion der Struktur, der Quantenmechanik und Arbeitsweise von LEDs und anderen photonischen Vorrichtungen ist in Sze, Physics of Semiconductor Materials, 2. Ausgabe (1981, John Wiley & Sons, Inc.) dargelegt. Die Grundlagen werden auf diesem Gebiet im allgemeinen gut verstanden und werden hier nicht wiederholt, soweit sie nicht notwendig sind, um die beanspruchte Erfindung zu erklären und zu stützen.

**[0007]** In einem sehr verallgemeinerten Sinn weist eine Leuchtdiode im allgemeinen zwei Schichten von Materialien mit einer Leitfähigkeit des entgegengesetzten Typs auf, welche zusammen einen p-n-Übergang bilden. Diese Materialien liegen typischerweise in der Form von epitaktischen Schichten auf einem Substrat vor. Wünschenswerterweise ist ein Ohmscher Kontakt zwischen dem Substrat und der oberen epitaktischen Schicht hergestellt, so daß eine „vertikale“ Vorrichtung für eine optimale Effizienz in der Verpackung gebildet wird.

**[0008]** In dieser Hinsicht ist eine LED für den endgültigen Verbrauch oft in Form einer LED-Lampe verpackt. Eine typische LED-Lampe weist einen LED-Chip (oder „Plättchen“, wobei der Ausdruck „Chip“ häufiger verwendet wird, um einen integrierten Schaltkreis zu beschreiben, anstatt eine LED) und eine Kunststoff- (oder manchmal Glas-) Linse auf. Für einige LEDs ist die Linse gefärbt, um als ein optisches Filter zu dienen und den Kontrast zu erhöhen, aber für blaue LEDs ist die Linse vorzugsweise farblos, um eine Interferenz mit der gewünschten blauen Emission zu vermeiden. Typische Lampenkonfigurationen sind Fachleuten bekannt und zum Beispiel Sze, siehe oben, auf Seiten 697 – 700 dargelegt. Typischerweise kann ein LED-Chip, sobald er als eine Lampe verpackt ist, für eine Vielzahl von Anwendungen, wie zum Beispiel Anzeigen und alpha-numerische Displays, verwendet werden.

**[0009]** Es gibt jedoch bestimmte Überlegungen, die auf bestimmte Typen von Vorrichtungen Anwendung finden. Zum Beispiel werden Gruppe-III-Nitridvorrichtungen typischerweise entweder auf Saphir oder Siliziumcarbidsubstraten gebildet. Siliziumcarbidsubstrate werden unter vielen Umständen bevorzugt, da SiC leitend dotiert werden kann. Daher kann ein SiC-Substrat die Grundlage für eine „vertikale“ Vorrichtung mit „oberen“ und „unteren“ Ohmschen Kontakten bilden. Im Gegensatz dazu verhindert der isolierende Charakter von Saphir seine Verwendung in vertikalen Vorrichtungen.

**[0010]** SiC-Substrate vom n-Typ wiederum werden gegenüber Substraten von p-Typ tendenziell bevorzugt, da SiC vom n-Typ im allgemeinen leitfähiger ist und mehr Licht durchläßt.

**[0011]** Infolgedessen weist eine Gruppe-III-Nitridvorrichtung auf einem SiC-Substrat typischerweise ein Substrat vom n-Typ und eine Pufferschicht vom n-Typ (oder Kombinationen von Schichten), eine epitaktische Schicht vom n-Typ und die Schicht vom p-Typ (zum Beispiel GaN) auf der „Oberseite“ der Vorrichtung auf.

**[0012]** Die Entwicklung, die kommerzielle Einführung und die Verwendung von solchen Gruppe-III-Nitrid LEDs ist erst vor relativ kurzer Zeit erfolgt. Danach wurde ermittelt, daß sie in der kommerziellen Anwendung (der Begriff „kommerziell“ bezieht sich allgemein auf ein Produkt, das auf einer Warenbestandsbasis hergestellt und verkauft wird, ist aber nicht darauf beschränkt) Typen von physikalischen und chemischen Zusammenbrüchen erleiden, die gelegentlich die elektronische Leistungsfähigkeit der Vorrichtungen beeinträchtigen. Insbesondere wurde offensichtlich, daß unter normalen Umgebungsbedingungen, in denen LED-Lampen bei oder über Raumtemperatur betrieben werden, und unter normalen Feuchtigkeitsbedingungen und anderen Umgebungsfaktoren die Ohmschen Kontakte und zugehörigen Passivierungsschichten dazu neigen, miteinander zu wechselwirken, was in einer verringerten optischen und elektrischen Leistungsfähigkeit resultiert. Das Problem der Degradierung scheint besonders in solchen Vorrichtungen akut zu sein, die GaN vom p-Typ als ihre obere Schicht enthalten, mit einem Ohmschen Kontakt zu dieser p-Typ-Schicht.

**[0013]** Daher ist in einigen kommerziellen Versionen von blauen Leuchtdioden, welche aus Gruppe-III-Nitriden hergestellt sind, die Verpackung selbst sehr speziell und robust, da der verpackte LED-Chip sogar unter normalen Umgebungsbedingungen relativ zerbrechlich ist. Zum Beispiel sind in der NSPG630S-Vorrichtung von Nichia Chemical Industries aus Tokushima, Japan, die Schicht vom p-Typ, der Ohmsche Kontakt und die Passivierungsschicht mit einem flexiblen transparenten Polymermaterial beschichtet und dann in einem harten Harz, wie zum Beispiel einem epoxidbasierten Polymer, eingeschlossen.

**[0014]** Zum Beispiel berichten Nakamura et al. in der veröffentlichten europäischen Anmeldung Nr. 0 622 858 ("Gallium nitride based III-V group compound semiconductor device and method of producing the same"), daß „(t)he p-electrode (to the p-type gallium nitride) may be formed of any suitable metallic material“ (Seite 6, Zeile 7). Nakamura fährt fort, acht Kandidatenmaterialien aufzuzählen (Au, Ni, Pt, Al, Sn, In, Cr und Ti) und benennt eine Nickel- und Gold-Kombination (Seite 6, Zeilen 10 – 12 und 31 – 35) als die bevorzugte Auswahl. Darüber hinaus bietet Nakamura für die Auswahl einer Passivierungsschicht („protective film“) einige lediglich allgemeine Kriterien an („The material forming the protective film is not particularly limited, as long as it is transparent, and electrically insulative.“ Seite 9, Zeilen 31 – 32). Nakamura fährt dann fort, vier Kandidatenmaterialien aufzuzählen: Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ), Titanoxid ( $\text{TiO}$ ), Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und Siliziumnitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ).

**[0015]** Die veröffentlichte PCT-Anmeldung Nr. WO 96/24 167 beschreibt einen grün-blaues bis ultraviolette Licht emittierenden Halbleiterlaser, der ein Siliziumcarbidsubstrat und eine aktive Galliumnitrid-Schicht aufweist.

**[0016]** Die weiter verbreitete Einführung von GaN-basierenden LEDs hat jedoch gezeigt, daß solch eine allgemeine Auswahl von Materialien nicht geeignet ist und daß die resultierenden LEDs viel schneller degenerieren (altern) als dies sonst für brauchbare kommerzielle Vorrichtungen angebracht ist. Insbesondere tendieren LEDs, die: (1) eine obere epitaktische Schicht von GaN vom p-Typ aufweisen, (2) Ohmsche Kontakte verwenden, die aus bestimmten Metallen (oder ihren Kombinationen), wie zum Beispiel Titan und Gold („Ti/Au“), gebildet sind; und (3) Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ) als Passivierungsschicht verwenden, dazu, eine schnellere Degenerierung zu zeigen als es kommerziell tragbar ist. Insbesondere scheint es, daß es die Wasserdurchlässigkeit von  $\text{SiO}_2$  einer ausreichenden Feuchtigkeit erlaubt, die p-Elektrode zu erreichen, so daß die Elektrode und möglicherweise die gesamte Vorrichtung relativ schnell degeneriert.

**[0017]** Wie oben beschrieben, bietet eine ausgeklügelte Verpackung eine Option zum Schutz einer relativ brüchigen Plättchenstruktur. Um ihr vollständiges kommerzielles Potential zu erhalten, müssen jedoch blaue LEDs, die aus Gruppe-III-Nitriden gebildet sind, in solch einer Weise hergestellt sein, daß sie in gewöhnlichen

Lampengehäusen eingebaut sein können, analog den Lampengehäusen, die für Materialien verwendet werden, die weniger für Spezialisten bestimmt sind als Gruppe-III-Nitride.

**[0018]** Entsprechend besteht ein Bedarf an einem robusten LED-Chip, der auf normale Weise verpackt werden kann und der doch erfolgreich sowohl normale als auch erhöhte Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen über eine Zeitdauer aushält, die ausreicht, um die Vorrichtungen für eine breite Auswahl von kommerziellen Anwendungen brauchbar zu machen.

#### Gegenstand und Zusammenfassung der Erfindung

**[0019]** Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine physikalisch robuste Leuchtdiode bereitzustellen, die eine hohe Zuverlässigkeit in einer Standardverpackung bietet und die hohe Temperatur- und hohe Feuchtigkeitsbedingungen aushält.

**[0020]** Die Erfindung löst diese Aufgabe mit einer Diode, die eine Gruppe-III-Heteroübergangsdiode mit einer p-Typ Gruppe-III-Nitrid- (und vorzugsweise Galliumnitrid)-Kontaktschicht, einen Ohmschen Kontakt mit der Kontaktschicht von p-Typ und eine Passivierungsschicht auf dem Ohmschen Kontakt aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Diode nach einem Betrieb über mindestens 1000 Stunden bei 10 Milliampere in einer Umgebung mit 85% relativer Feuchtigkeit bei einer Temperatur von 85°C mindestens 50% ihrer anfänglichen optischen Leistung abstrahlt und deren Betriebsspannung im wesentlichen unverändert bleibt.

**[0021]** Unter einem weiteren Aspekt weist die Erfindung eine LED-Lampe auf, die von der Leuchtdiode und einer Plastiklinse gebildet wird.

**[0022]** Diese und andere Gegenstände und Vorzüge der Erfindung werden einfacher ersichtlich unter Betrachtung der folgenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit den Zeichnungen, in denen:

#### Beschreibung der Zeichnungen

**[0023]** [Fig. 1](#) ist eine Fotografie einer auf Galliumnitrid basierenden Leuchtdiode;

**[0024]** [Fig. 2](#) ist eine zweite, wenn auch vergrößerte Fotografie der auf Galliumnitrid basierenden Leuchtdiode aus [Fig. 1](#);

**[0025]** [Fig. 3](#) ist eine perspektivische schematische Ansicht einer LED gemäß der vorliegenden Erfindung;

**[0026]** [Fig. 4](#) ist eine schematische Ansicht einer LED-Lampe, welche die Diode der vorliegenden Erfindung verwendet;

**[0027]** [Fig. 5](#) ist eine graphische Darstellung der relativen Intensität gegen die Zeit für bestimmte Gruppe-III-Nitridioden unter 85/85/10 Bedingungen;

**[0028]** [Fig. 6](#) ist eine graphische Darstellung der Spannung in Durchlaßrichtung ( $V_f$ ) gegen die Zeit für bestimmte Gruppe-III-Nitridioden unter 85/85/10 Bedingungen;

**[0029]** [Fig. 7](#) ist eine graphische Darstellung der relativen Intensität gegen die Zeit für Dioden gemäß der vorliegenden Erfindung unter 85/85/10 Bedingungen; und

**[0030]** [Fig. 8](#) ist eine graphische Darstellung der Spannung in Durchlaßrichtung ( $V_f$ ) gegen die Zeit für Dioden gemäß der vorliegenden Erfindung unter 85/85/10 Bedingungen.

#### Detaillierte Beschreibung

**[0031]** Die vorliegende Erfindung ist eine physikalisch robuste Leuchtdiode, die eine hohe Zuverlässigkeit in einer Standardverpackung bietet und die hohe Temperatur- und hohe Feuchtigkeitsbedingungen aushält.

**[0032]** Wie im Hintergrund erwähnt, müssen Ohmsche Kontakte vor physikalischen, mechanischen Umgebungs- und Verpackungseinflüssen geschützt werden, um ein Degenerieren der Gruppe-III-Nitrid-LEDs zu verhindern.

**[0033]** In dieser Hinsicht ist [Fig. 1](#) eine Fotografie einer gesamten LED („Plättchen“). In der Vorrichtung aus [Fig. 1](#) wurde die Passivierungsschicht aus Siliziumdioxid (Glas) außer um die äußere Kante des Plättchens herum entfernt. Die Teile, an denen Glas noch vorhanden ist, werden im allgemeinen durch die gepunkteten oder gefleckt erscheinenden Bereiche um den Umfang des im allgemeinen quadratischen Plättchens herum angezeigt. Dieses gefleckte Erscheinungsbild folgt aus einer variierenden Lücke von Luft unter dem Glas, wenn sich dieses von dem Plättchen ablöst. In dem in [Fig. 1](#) dargestellten Plättchen beginnt die Ablösung ungefähr bei der Dreiuhr-Position (sich im Uhrzeigersinn bewegend) und erreicht ungefähr die Elfuhr-Position. Die Passivierungsschicht ist im Zentrum des Plättchens nicht vorhanden und man kann die kugelförmige Drahtbondungen im innersten Zentrum des Plättchens erkennen, welche immer noch mit der Bondfläche verbunden ist. In diesem speziellen Beispiel wurde der zentrale Bereich der Passivierungsschicht entfernt, während das Plättchen nach dem Testen aus der Einkapselung entfernt wurde.

**[0034]** Die Passivierungsschicht des in [Fig. 1](#) dargestellten Plättchens wurde in der Verpackung während des Testens abgelöst und erlaubte es, daß Feuchtigkeit unter die Passivierungsschicht eindringt. Die resultierende Ablösung reduzierte den anfänglichen Lichtausgang dieser speziellen Vorrichtung um ungefähr 20%. Nachfolgend verursacht die Feuchtigkeit, die dazu neigt durch die Epoxidlinse einer LED-Lampe einzudringen, daß der dünne teilweise transparente Ohmsche Kontakt degeneriert und möglicherweise vollständig versagt. Dieser Defekt wiederum verursacht, daß der Lichtausgang fortschreitend sinkt und sich möglicherweise die Durchlaßspannung erhöht. In der in [Fig. 1](#) fotografierten Vorrichtung erscheint der Defekt des Kontakts als die dunklen oder rauhen Bereiche genau rechts vom Zentrum des Plättchens.

**[0035]** [Fig. 2](#) ist eine vergrößerte Ansicht des in [Fig. 1](#) fotografierten Plättchens. [Fig. 2](#) stellt dar, daß das Glas, welches auf dem Umfang verbleibt, von der inneren Mesa der Vorrichtung weggebrochen ist und daß der p-Kontakt defekt ist. Die dunklen, rauh erscheinenden Bereiche sind Orte, an denen sich der Ohmsche Kontakt (in diesem Beispiel Titan und Gold) zusammengeballt hat. Soweit man weiß, neigt der Kontakt, wenn er weniger kompatibel zu der p-Typsicht wird, eher dazu, Tropfen zu bilden als die p-Typsicht zu benetzen. Die Vorrichtung wiederum wird langsam abgeklemmt, wenn das Ti/Au sich um die Bondfläche herum zusammenballt. Darüber hinaus wird in Bereichen, in denen der Kontakt unterbrochen wird, kein Licht mehr erzeugt. Da eine Galliumnitridoberfläche vom p-Typ kein guter Leiter ist und allgemein einen hohen Widerstand zeigt, gelingt es der schlechten Stromausbreitung in den fehlerhaften Stellen nicht, einen Weg für den Strom bereitzustellen, der helfen würde, Licht zu erzeugen.

**[0036]** [Fig. 3](#) stellt eine erste Ausführungsform der Diode der Erfindung dar, die Bedingungen mit hoher Temperatur und hoher Feuchtigkeit aushält. Die Diode ist im allgemeinen mit **10** bezeichnet und weist ein Siliziumcarbidsubstrat **11** auf, dessen Herstellung und Eigenschaft in anderen US-Patenten, welche dem Patentinhaber dieser Erfindung gehören, dargelegt sind, einschließlich zum Beispiel Nr. RE34,861 (zuvor Nr. 4,866,005). In bevorzugten Ausführungsformen ist das Siliziumcarbidsubstrat ein Einkristall, welcher aus der Gruppe, die aus den 3C, 4H, 6H und 15R Polytypen von Siliziumcarbid besteht, ausgewählt ist.

**[0037]** In bevorzugten Ausführungsformen weist die LED der vorliegenden Erfindung darüber hinaus eine Pufferstruktur **12** auf dem Siliziumcarbidsubstrat **11** auf. Die Pufferstruktur hilft, einen kristallinen und mechanischen Übergang von dem Siliziumcarbidsubstrat **11** zu den verbleibenden Gruppe-III-Nitrid-Bereichen der Vorrichtung bereitzustellen. Geeignete Pufferstrukturen sind zum Beispiel in den US-Patenten Nr. 5,393,993; 5,523,589; 5,592,501 und 5,739,554 dargelegt, die alle mit der vorliegenden Erfindung in Verbindung stehen. Die Diode **10** weist darüber hinaus eine Gruppe-III-Nitrid-Heteroübergangsdiodenstruktur **13** mit einer Gruppe-III-Nitridkontaktschicht **14** vom p-Typ auf der Pufferstruktur **12** auf. Ein Ohmscher Kontakt **15** ist auf dem Substrat **11** hergestellt, und ein weiterer Ohmscher Kontakt **16** ist auf der epitaktischen Galliumnitridschicht vom p-Typ hergestellt. Der Ohmsche Kontakt **16** ist aus der Gruppe, die aus Platin, Palladium, Gold, einer Kombination aus Titan und Gold, einer Kombination aus Platin und Gold, einer Kombination aus Titan, Platin und Gold oder einer Kombination aus Platin und Indiumzinnoxid besteht, ausgewählt und er ist besonders bevorzugt aus Platin oder Palladium gebildet. Die Vorrichtung ist mit einer Passivierungsschicht **17** auf dem Ohmschen Kontakt **16** vervollständigt, für die geeignete Materialkandidaten oben wiedergegeben sind, die aber besonders bevorzugt aus Siliziumnitrid gebildet ist.

**[0038]** In bevorzugten Ausführungsformen ist die Kontaktschicht aus Galliumnitrid vom p-Typ und der Ohmsche Kontakt besteht aus Platin. In der besonders bevorzugten Ausführungsform ist die Heterostrukturdiode eine doppelte Heterostruktur, die eine epitaktische n-Typ Galliumnitridschicht auf der Pufferstruktur, eine epitaktische n-Typ Aluminiumgalliumnitridschicht auf der n-Typ Galliumnitridschicht, eine kompensierte aktive n-Typ Galliumnitridschicht auf der n-Typ Aluminiumgalliumnitridschicht und eine p-Typ Aluminiumgalliumnitridschicht auf der aktiven Galliumnitridschicht aufweist mit einer p-Typ Galliumnitridkontaktschicht auf der p-Typ

Aluminiumgalliumnitridschicht.

**[0039]** Tabelle 1 faßt diese Ohmschen Kontaktmaterialien im Sinne ihrer Geeignetheit für Vorrichtungen gemäß der beanspruchten Erfindung zusammen. In der Bewertungsskala, die in Tabelle 1 verwendet wird, bezieht sich „A“ auf überragende Charakteristiken, während „C“ sich im allgemeinen auf schwache Charakteristiken bezieht.

Tabelle 1

Kontakt ⇒ Eigenschaft⇓	Pt	Pd	Au	Ti/Au	Pt/Au	Ti/Pt/Au	Pt/ITO
Ohmsche Charakteristiken	A	A	B	B	A	B	A
Minimale Absorption	B	B	A	A	A	B	A
Transparenz	B	B	A	A	A	B	A
Stromausbreitung	B	B	A	A	A	A	A
Haftung auf der Passivierungsschicht bei 85/85/10 Bedingungen	A	A	B	B	B	B	A
Chemische Stabilität	A	B	B	C	B	B	B

**[0040]** Wie in [Fig. 3](#) dargestellt, bedeckt der Ohmsche Kontakt **16** in bevorzugten Ausführungsformen einen wesentlichen Teil der p-Typ Galliumnitridschicht, so daß eine Stromausbreitung über die p-Typ Galliumnitridschicht angeregt wird. Da er die lichtabstrahlenden Bereiche der Vorrichtung abdeckt, ist der Ohmsche Kontakt **16** vorzugsweise dünn genug, um halb-transparent zu sein.

**[0041]** Unter einem anderen Aspekt weist die Erfindung eine physikalisch robuste Leuchtdiode auf, welche die Kontaktschicht **14**, vom p-Typ, den Ohmschen Kontakt **16** auf der p-Typ Schicht **14** und die Passivierungsschicht **17** aufweist, aber sie ist dadurch gekennzeichnet, daß die Diode nach einem Betrieb über mindestens 1000 Stunden bei 10 Milliampere in einer Umgebung mit 85% relativer Feuchtigkeit bei einer Temperatur von 85°C mindestens 50% ihrer anfänglichen optischen Leistung abstrahlt und ihre Betriebsspannung im wesentlichen unverändert bleibt. Diese Bedingungen sind als der „85/85/10“-Test bekannt für Zwecke, um die Zuverlässigkeit der Diode unter extremen, jedoch erwarteten Betriebsbedingungen zu bestimmen.

**[0042]** Es ist natürlich zu bedenken, daß sogar Dioden mit einer unterlegenen Qualität technisch 50% ihrer ursprünglichen (d.h. schwachen) Leistung erhalten können. Es ist daher offensichtlich, daß in bevorzugten Ausführungsformen die ursprüngliche optische Leistung im allgemeinen hoch ist, zum Beispiel ungefähr 800 Mikrowatt bei 20 Milliampere Eingangsstrom in Durchlaßrichtung oder sogar etwa 1600 Mikrowatt bei 20 Milliampere Eingangsstrom. Die Fähigkeit der Vorrichtungen mit solchen Ausgangsleistungen, mindestens 50% ihrer ursprünglichen optischen Leistung nach dem 85/85/10-Test zu erhalten, wird als ein signifikanter Fortschritt bei solchen Dioden betrachtet.

**[0043]** Die in [Fig. 3](#) dargestellten Dioden können in einer Anzahl von speziellen Anwendungen verwendet werden. Eine nützliche Anwendung ist ein Display, typischerweise als „numerische“ oder „alpha-numerische“ Displays bezeichnet, obwohl sie sicher nicht auf solche beschränkt sind, die eine Mehrzahl der Leuchtdioden gemäß der Erfindung verwenden. In bestimmten Ausführungsformen werden blaustrahlende Dioden gemäß der vorliegenden Erfindung mit roten und grünen LEDs verwendet, um rot-grün-blaue („RGB“) Pixel zu bilden. Da solche Pixel individuell die drei primären Farben erzeugen, haben sie die Fähigkeit, fast alle für das menschliche Auge sichtbare Farben zu erzeugen.

**[0044]** In anderen Anwendungen werden Dioden, wie die in [Fig. 3](#) dargestellte Diode **10**, in LED-Lampen eingesetzt. Entsprechend stellt [Fig. 4](#) eine Version solch einer typischen Lampe dar. Es ist natürlich offensichtlich, daß [Fig. 4](#) nur beispielhaft für den Typ von Lampenstruktur ist, der verwendet werden kann, um eine Diode gemäß der vorliegenden Erfindung zu verwenden und daß sie in keiner Weise beschränkend für den Lampentyp ist, in dem die Diode der Erfindung verwendet werden kann.

[0045] In [Fig. 4](#) weist die Lampe **20** die Diode **10**, eingeschlossen in einer Kunststofflinse (d.h. polymeren Linse), gemäß der Erfindung auf. Das Kunststoffmaterial für die Linse kann aus einer breiten Auswahl von polymeren Materialien, die Fachleuten bekannt sind und ohne übertriebene Versuche ausgewählt werden. In vielen Fällen ist die Linse **21** aus einem Epoxidharz gebildet. Die Lampe **20** weist darüber hinaus einen Metall-Leitungsrahmen **22** zur elektrischen Verbindung der Lampe mit anderen elektronischen Schaltkreiselementen auf. Wie in [Fig. 4](#) dargestellt, enthält der Metall-Leitungsrahmen **22** die Anode **23** und die Kathode **24**.

[0046] Wie in der Diodenausführungsform der Erfindung, kann eine Mehrzahl von Lampen **20** verwendet werden, um eine geeignete Display-Vorrichtung zu bilden. Insbesondere, da Galliumnitridvorrichtungen dieses Typs im blauen Bereich des sichtbaren Spektrums abstrahlen, können Lampen, wie die gemäß der vorliegenden Erfindung, vorteilhaft zusammen mit roten und grünen LED-Lampen verwendet werden, um ein volles Farbdisplay zu bilden. Beispiele für solche Displays sind zum Beispiel in der WO-A-97/24706 und der US-A-5,812,105 dargelegt.

[0047] Die [Fig. 5](#) bis [Fig. 8](#) zeigen einige vergleichende Daten, welche die Vorzüge der vorliegenden Erfindung unterstreichen. [Fig. 5](#) trägt die relative Intensität (d.h. die Anfangsintensität jeder Diode wird als 100% betrachtet) gegen die Zeit für bestimmte Gruppe-III-Nitridioden unter den zuvor erwähnten 85/85/10 Testbedingungen auf. Die [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) reflektieren Daten von Dioden mit Galliumnitrid (GaN) Kontaktschichten vom p-Typ, Ohmschen Titan/Gold („Ti/Au“) Kontakten und Siliziumdioxid (SiO<sub>2</sub>) Passivierungsschichten.

[0048] Wie [Fig. 5](#) zeigt, fangen die Dioden sofort an zu degenerieren, wobei einige in weniger als 200 Stunden unter 50% ihrer ursprünglichen Intensität fallen. [Fig. 6](#) trägt die Durchlaßspannung ( $V_f$ ) gegen Stunden für die gleichen Dioden unter den gleichen Bedingungen wie in [Fig. 5](#) auf und zeigt, daß eine wesentliche Anzahl der Dioden innerhalb von 500 Stunden signifikant schlechter geworden ist.

[0049] [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) unterstreichen einige der Vorteile der Dioden gemäß der vorliegenden Erfindung und sie weisen Dioden mit GaN-Kontaktschichten vom p-Typ, Ohmschen Platin (Pt) Kontakten und Siliziumnitrid (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) Passivierungsschichten auf. In Bezug auf die relative Intensität erhalten alle der getesteten Dioden (neun sind in [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) dargestellt) mindestens 80% ihrer ursprünglichen Intensität nach 1000 Stunden unter 85/85/10 Bedingungen. In Bezug auf  $V_f$  zeigte sogar nach 1000 Stunden keine der Dioden unter den Testbedingungen signifikante Änderungen.

[0050] In den Zeichnungen und der Beschreibung wurden typische Ausführungsformen der Erfindung offenbart und obwohl spezielle Ausdrücke verwendet wurden, wurden sie nur in einer generischen und beschreibenden Weise verwendet und nicht zum Zweck der Beschränkung, wobei der Schutzbereich der Erfindung in den folgenden Ansprüchen dargelegt ist.

### Patentansprüche

1. Leuchtdiode mit hoher Zuverlässigkeit, die Bedingungen mit hoher Temperatur und hoher Feuchtigkeit widersteht, wobei die Diode aufweist:

ein Siliziumcarbidsubstrat (**11**);

eine Pufferstruktur (**12**) auf dem Substrat;

eine Gruppe-III-Nitrid-Heterodiode (**13**) mit einer Gruppe-III-Nitridkontaktschicht (**14**) vom p-Typ auf der Pufferstruktur;

einen ohmschen Kontakt (**15**) mit dem Substrat;

gekennzeichnet durch

einen ohmschen Platinkontakt (**16**) mit der Kontaktschicht vom p-Typ, und durch

eine Siliziumnitridpassivierungsschicht (**17**) auf dem ohmschen Platinkontakt.

2. Leuchtdiode mit hoher Zuverlässigkeit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Diode eine einzelne Heterodiode aufweist.

3. Leuchtdiode mit hoher Zuverlässigkeit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Diode eine doppelte Heterodiode aufweist.

4. Leuchtdiode mit hoher Zuverlässigkeit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontaktschicht Galliumnitrid aufweist.

5. Leuchtdiode mit hoher Zuverlässigkeit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der ohmsche



Kontakt dünn genug ist, so daß er teildurchlässig ist.

6. Pixel mit:  
einer Leuchtdiode nach Anspruch 1, die in dem blauen Bereich des sichtbaren Spektrums abstrahlt,  
einer roten Leuchtdiode, und  
einer grünen Leuchtdiode.

7. Leuchtdiode mit hoher Zuverlässigkeit nach Anspruch 1, die in der Lage ist, mindestens 50% ihrer ursprünglichen optischen Leistung abzustrahlen, und deren Betriebsspannung nach einem Betrieb über mindestens 1000 Stunden bei 10 mA in einer Umgebung mit 85% relativer Feuchtigkeit bei einer Temperatur von 85°C im wesentlichen unverändert bleibt.

8. Leuchtdiode mit hoher Zuverlässigkeit nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die ursprüngliche optische Leistung ungefähr 800 Mikrowatt bei einem Stromeingang in Durchlaßrichtung von 20 mA beträgt.

9. Leuchtdiode mit hoher Zuverlässigkeit nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die ursprüngliche optische Leistung ungefähr 1600 Mikrowatt bei einem Stromeingang in Durchlaßrichtung von 20 mA beträgt.

10. Leuchtdiode mit hoher Zuverlässigkeit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Siliziumcarbidsubstrat ein Einkristall ist, der aus der Gruppe, die aus den 3C, 4H, 6H und 15R Polytypen von Siliziumcarbid besteht, ausgewählt wurde.

11. Leuchtdioden- (LED-) Lampe, welche die Diode nach Anspruch 1 innerhalb einer Kunststofflinse umfaßt.

12. Display mit einer Mehrzahl von Leuchtdioden nach Anspruch 1 oder einer Mehrzahl von Pixeln nach Anspruch 6 oder einer Mehrzahl von LED-Lampen nach Anspruch 11.

13. Display nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Leuchtdioden oder die LED-Lampen in dem blauen Bereich des sichtbaren Spektrums abstrahlen und daß sie darüber hinaus eine Mehrzahl von roten Leuchtdioden oder LED-Lampen und eine Mehrzahl von grünen Leuchtdioden oder LED-Lampen aufweist.

14. Leuchtdiode mit hoher Zuverlässigkeit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Heterodiode und die Kontaktschicht aufweisen:  
eine epitaktische Galliumnitridschicht vom n-Typ auf der Pufferstruktur;  
eine epitaktische Aluminiumgalliumnitridschicht vom n-Typ auf der Galliumnitridschicht;  
eine kompensierte aktive Galliumnitridschicht vom n-Typ auf der Aluminiumgalliumnitridschicht vom n-Typ;  
eine Aluminiumgalliumnitridschicht vom p-Typ auf der aktiven Galliumnitridschicht; und  
eine Galliumnitridkontaktschicht vom p-Typ auf der Aluminiumgalliumnitridschicht vom p-Typ.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen



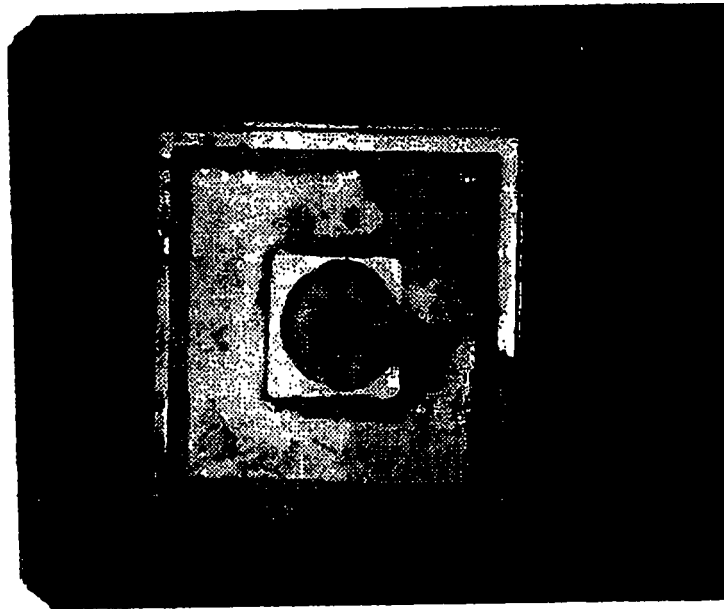


FIG. 1.

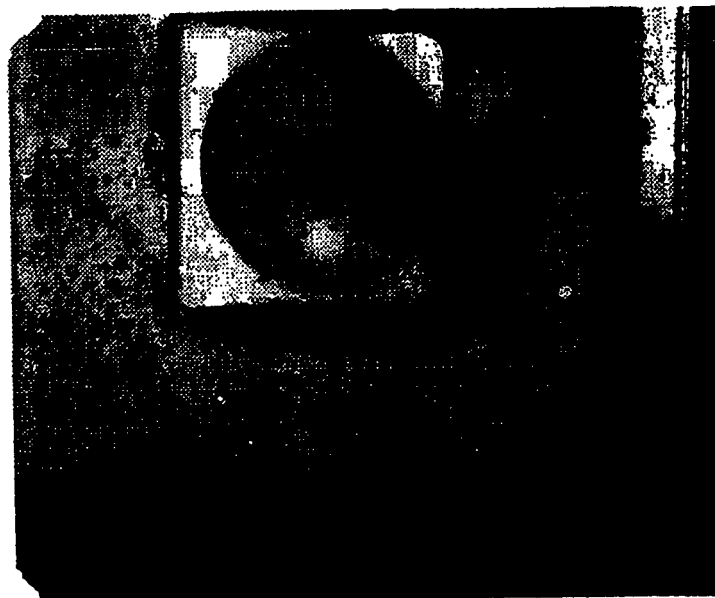
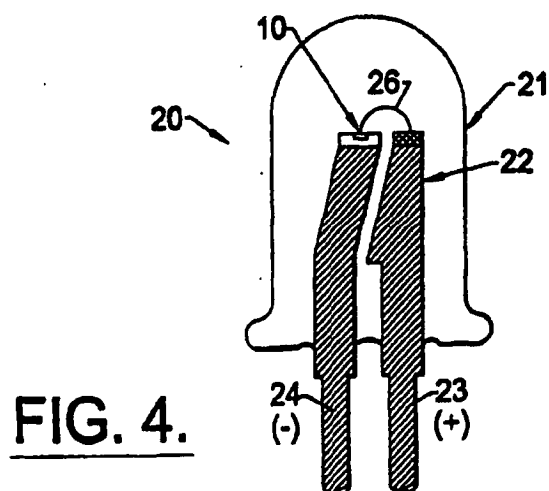
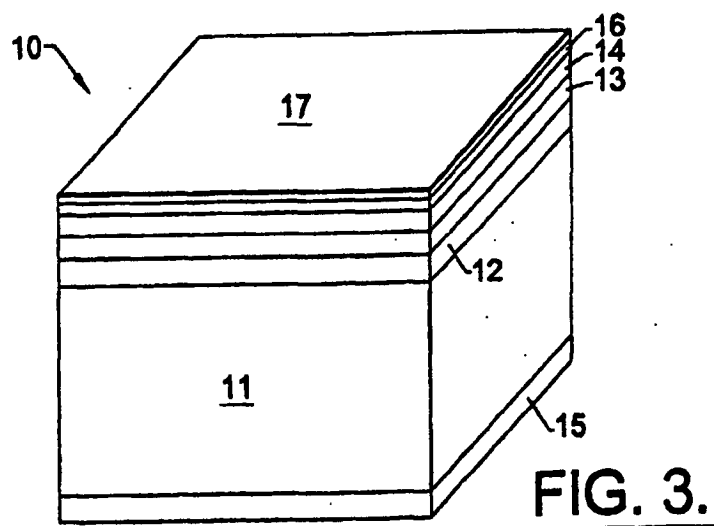
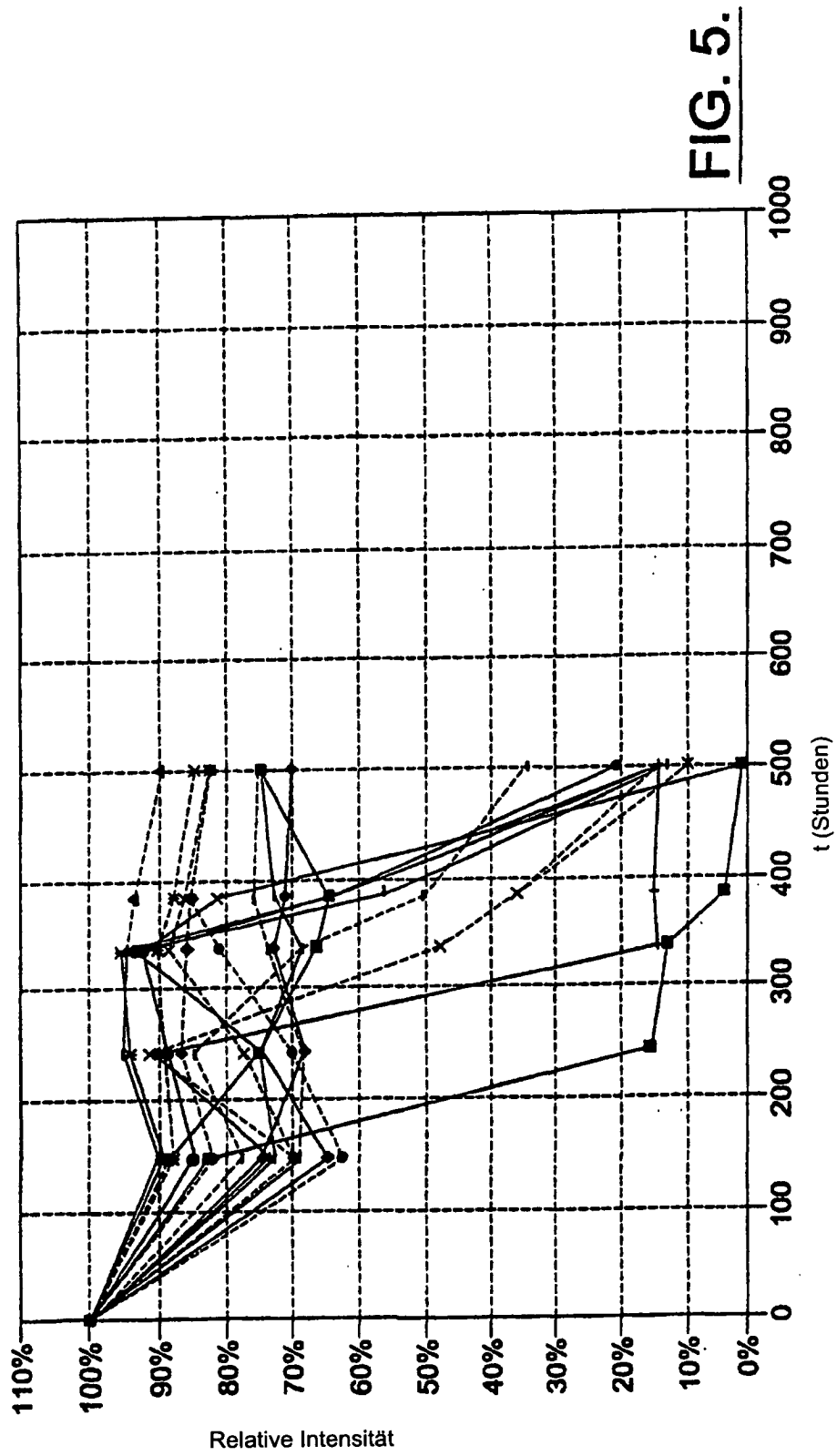
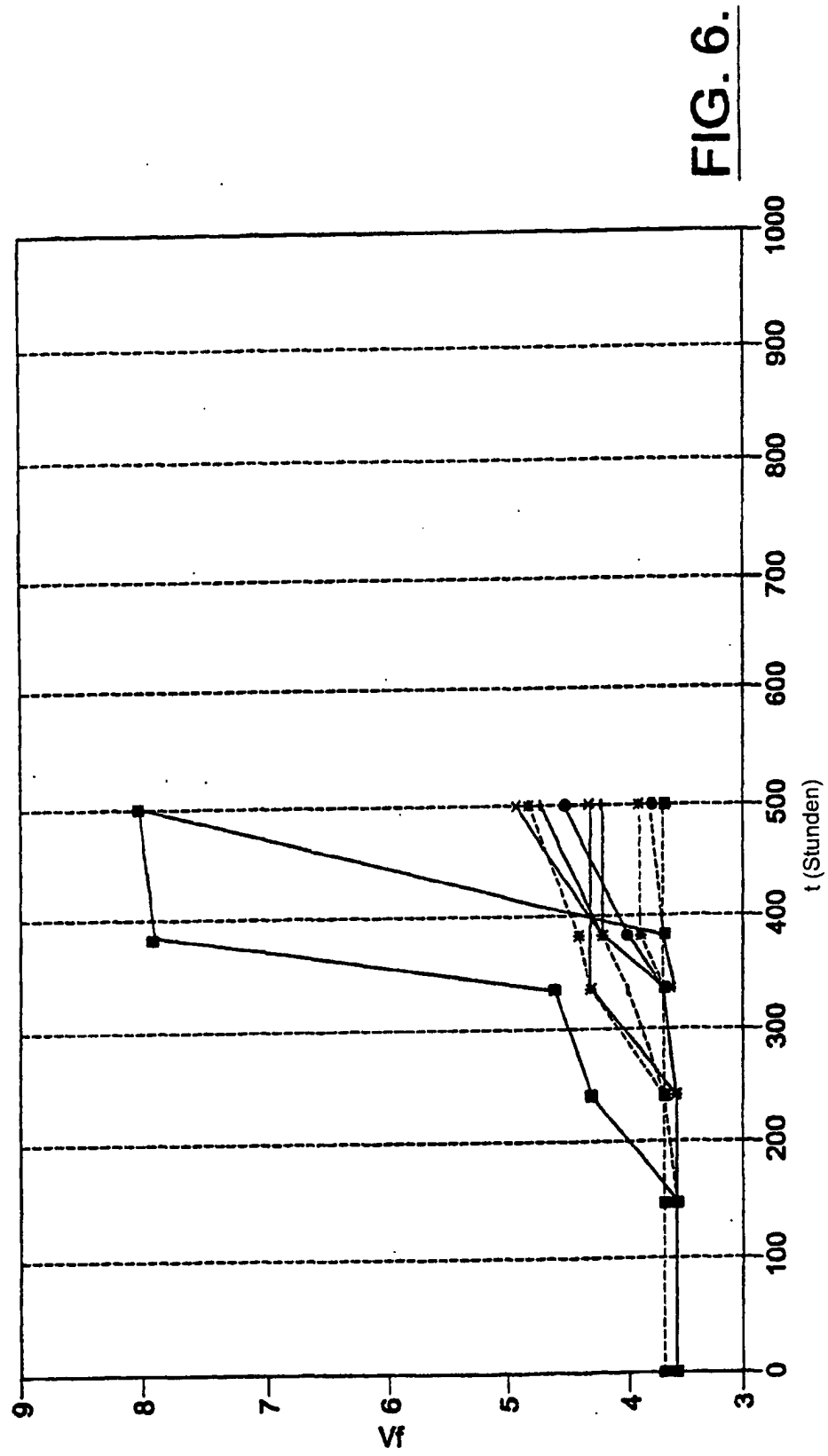


FIG. 2.







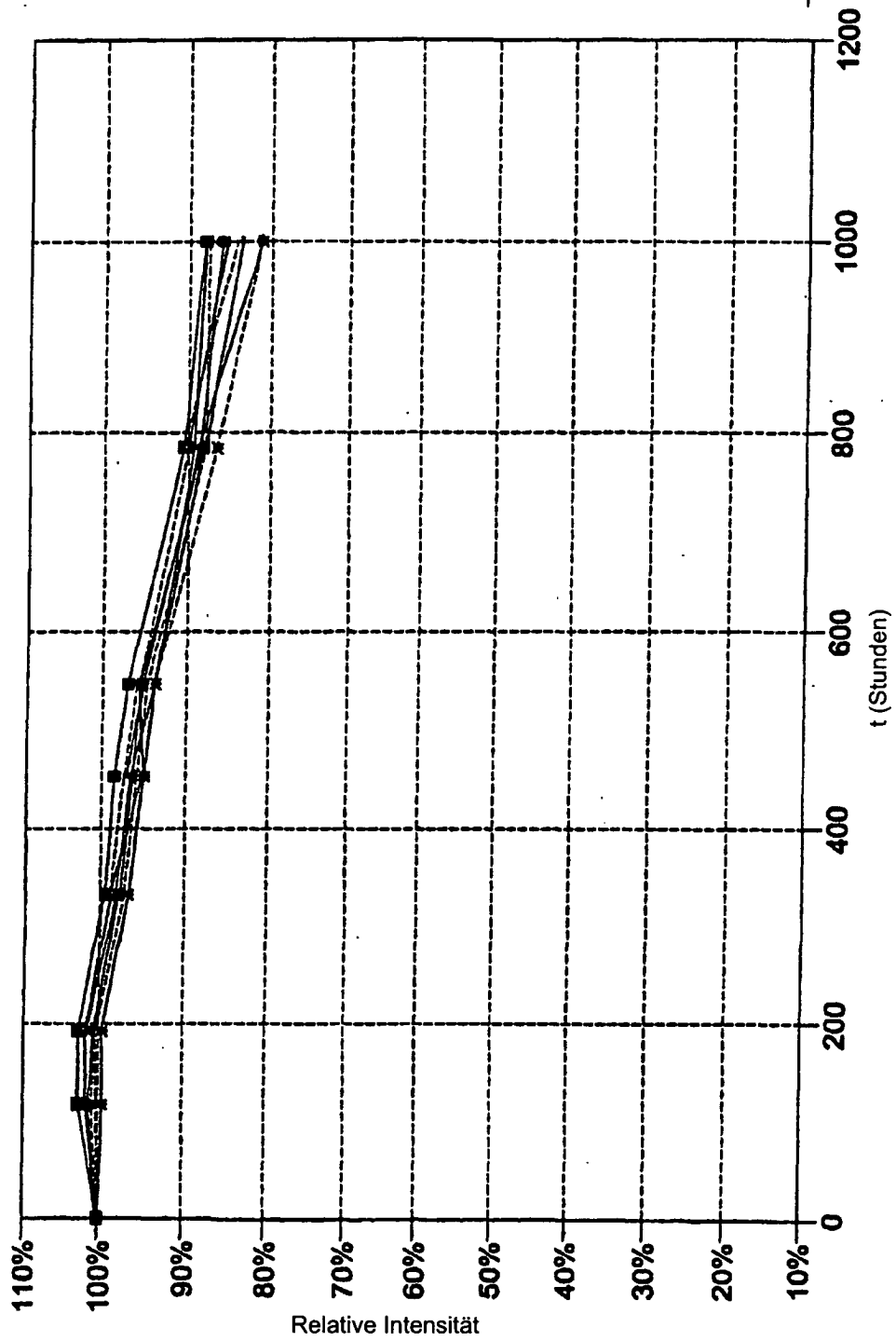


FIG. 7.

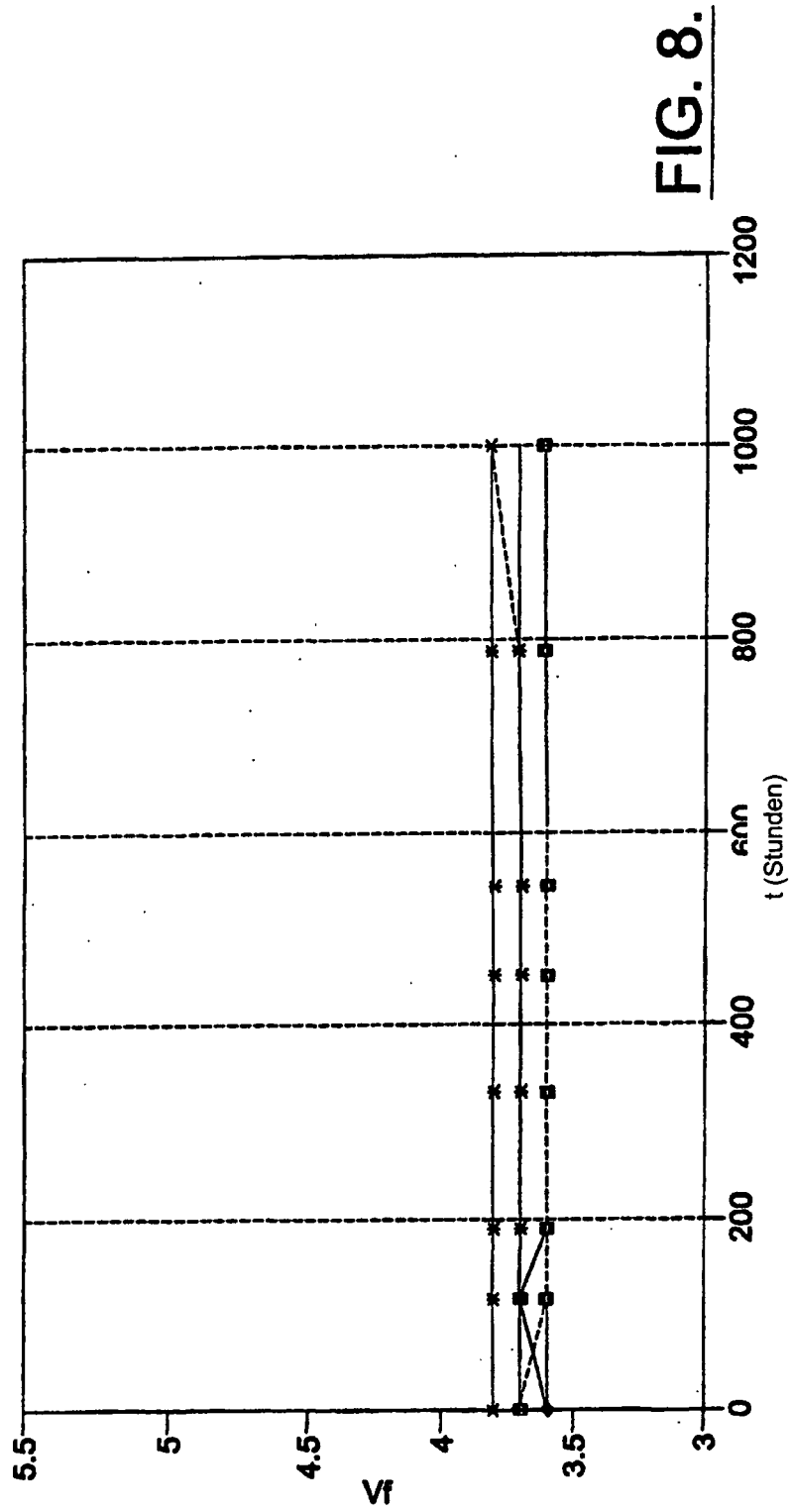


FIG. 8.