(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
23. März 2006 (23.03.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/029607 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 47/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2005/001612

(22) Internationales Anmeldedatum:
14. September 2005 (14.09.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 044 558.3
15. September 2004 (15.09.2004) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH** [DE/DE]; Whilelm-Johnen-Strasse, 52425 Jülich (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **FÖRSTER, Arno** [DE/DE]; Breite Str. 27, 52152 Simmerath (DE). **MONTANARI, Simone** [IT/DE]; Im Schönblick 46, 72076 Tübingen (DE). **LÜTH, Hans** [DE/DE]; Eupener Strasse 299b, 52076 Aachen (DE). **LEPSA, Mihail, Ion** [RO/DE]; Kreutzstr. 87, 52428 Jülich (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH**; Fachbereich Patente, 52425 Jülich (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: GUNN-DIODE

(54) Bezeichnung: GUNN-DIODE

Schicht-Nr. AA	Schichtmaterial BB	Dicke der Schicht CC	Elektronen-konzentration / Dotierung DD	Bezeichnung der Schicht / Funktion EE
7	GaAs	500 nm	4,3 10^{18} cm^{-3}	Emitter FF
6	GaAs	10 nm	---	RTD-Injektor GG
5c	AlAs	1,7 nm	---	
5b	GaAs	4,8 nm	---	
5a	AlAs	1,7 nm	---	
4	GaAs	10 nm	---	
3	GaAs	5 nm	1,0 10^{18} cm^{-3}	Delta-Dotierung
2	GaAs	1,6 µm	1,1 10^{16} cm^{-3}	Transit-Schicht / aktiver Bereich JJ
1	GaAs	700 nm	4,3 10^{18} cm^{-3}	Kollektor KK

AA... LAYER NUMBER
BB... LAYER MATERIAL
CC... THICKNESS OF THE LAYER
DD... ELECTRON CONCENTRATION/DOPING
EE... DESCRIPTION OF THE LAYER/FUNCTION
FF... EMITTER
GG... RTD INJECTOR
HH... DELTA DOPING
JJ... TRANSIT LAYER/ACTIVE AREA
KK... COLLECTOR

(57) **Abstract:** The invention relates to a Gunn-diode, comprising an active area (2) which exerts a Gunn-effect, and an injector (4, 5, 6). Said Gunn-diode is characterised in that the injector comprises an energy band pass filter for the electrons injected into the active area. The energy band pass filter is embodied in the form of a resonance tunnel diode made of barrier layers (5a, 5c) and an intermediate layer (5b).

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Gunn-Diode, umfassend einen, einen Gunn-Effekt ausübenden aktiven Bereich (2) und einen Injektor (4, 5, 6), dadurch gekennzeichnet, dass der Injektor einen Energiebandpassfilter für die in den aktiven Bereich injizierten Elektronen umfasst. Der Energiebandpassfilter ist viertagsweise als Resonanztunneldiode bestehend aus Barriereschichten (5a, 5c) und einer Zwischenschicht (5b) ausgelegt.

WO 2006/029607 A1

MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

B e s c h r e i b u n g

Gunn-Diode

Die Erfindung betrifft eine Gunn-Diode.

Als Gunn-Dioden werden Halbleiterbauelemente bezeichnet, die zur Erzeugung von Hochfrequenzstrahlung im GHz-Frequenzbereich benutzt werden.

Der Gunn-Effekt betrifft eine Erscheinung, bei der eine konstante, relativ hohe elektrische Feldstärke über 2000 V/cm an einem n-dotierten Galliumarsenidkristall schnelle Stromschwankungen verursacht. Es zeigt sich, dass bei sehr kurzen Kristallen diese Stromfluktuationen in zusammenhängende Schwingungen übergehen, deren Frequenzen durch die Länge der Kristalle festgelegt sind und im Mikrowellenbereich liegen. Auch in anderen halbleitenden III-V-Verbindungen, wie z. B. n-dotiertem Indiumphosphid, entstehen infolge des Effektes Mikrowellen, wenn die elektrische Feldstärke in ihnen einen bei einigen tausend V/cm liegenden kritischen Wert überschreitet.

Der Effekt tritt allgemein in III-V-Halbleitern auf, die zwei Energiebänder mit unterschiedlichen Elektronenbeweglichkeiten besitzen, wobei der Abstand der relativen Maxima und Minima der Bänder einen nicht zu großen energetischen Abstand haben, so dass heiße Elektronen leicht in höherliegende Bänder gelangen. Haben sie dort eine kleinere Beweglichkeit, so gehört zur größeren Feldstärke eine kleinere Stromstärke und es resultiert ein negativ-differentieller Widerstand,

der Voraussetzung für eine Schwingungserzeugung und Verstärkung ist. Der Gunn-Effekt wird im sogenannten Gunn-Oszillator zur Mikrowellenerzeugung ausgenutzt.

Ab einer bestimmten Feldstärke entstehen in einer aktiven Schicht der Gunn-Diode spontane Dipoldomänen, die mit einer konstanten Geschwindigkeit die aktive Schicht des Halbleiters durchlaufen. Elektronen gelangen ausgehend von einem Emitter in die aktive Schicht und enden im Kollektor der Diode. Ist eine Domäne am Kollektor der Diode angekommen, kann eine weitere Domäne am Anfang der aktiven Schicht gebildet werden. Die Art und Weise, wie die Elektronen in die aktive Schicht injiziert werden, ist von besonderer Bedeutung für die Entstehung der Domänen.

Eine Gunn-Diode kann typischerweise eine zur aktiven Schicht gerichtete AlGaAs-Schicht aufweisen, die dazu dient einen Potentialsprung für die emittierenden Elektronen zu schaffen und sie somit energetisch relativ zur aktiven Diodenschicht anzuheben. In dieser, im weiteren als aktiver Bereich genannten Schicht der Gunn-Diode, entsteht der eigentliche Gunn-Effekt.

Aus der Druckschrift Greenwald et al. ist eine Gunn-Diode bekannt, welche eine Schichtenfolge mit einer AlGaAs-Schicht von konstantem Aluminium-Gehalt von 23 % aufweist (Greenwald, Z. Woodard, D. W., Calawa, A.R., Eastman, L. F. (1988). The effect of a high energy injection on the performance of millimeter wafe gunn oscillators. Solid-State Electronics 31, 1211-1214).

Aus den Druckschriften US 4,801,982 sowie Hutchinson et al. (Hutchinson, S., J. Stephens, M. Carr and M. J, Kelly. Implant isolation scheme for current confinement in graded-gap Gunn diodes, IEEE Electronics Letters, 32(9), 851-852, 1996) ist bekannt, eine AlGaAs-Schicht mit veränderlichem, das heißt in Richtung der aktiven Schicht, linear ansteigendem Aluminium-Gehalt von Null auf bis zu 30 % anzuordnen. Eine solche AlGaAs-Schicht stellt einen sogenannten graded-gap Injektor innerhalb der Gunn-Diode dar. Diese Schicht wird im englischen Sprachgebrauch als graded layer und im weiteren als gegradete Schicht bezeichnet.

Die gegradete Schicht kann als stufenloser Übergang zu Aluminium-Gehalten hoher Konzentration ausgebildet sein. Hierdurch wird vorteilhaft eine unerwünschte Elektronenreflektion an einer ansonsten vorhandenen Potentialstufe minimiert und Elektronen mit Energien passend zum Energieband mit niedrigerer Elektronenbeweglichkeit in den aktiven Bereich der Gunn-Diode injiziert.

Die AlGaAs-Schicht bewirkt, dass die Elektronen als heiße Elektronen, das heißt als Elektronen, deren kinetische Energie gegenüber der mittleren thermischen Energie der Substratelektronen erhöht ist, in den aktiven Bereich injiziert werden. Hierdurch wird ein höherer Elektronenanteil in das für den Gunn Effekt wichtige L-Band des Halbleiters injiziert und eine direktere Erzeugung der Dipol-Domäne erreicht. Derartige Gunn-Dioden weisen vorteilhaft eine höhere Temperaturstabilität auf, als Gunn-Dioden ohne eine

AlGaAs-Schicht, da Elektronen unterhalb einer bestimmten Elektronenenergie unterdrückt werden. Die Elektronen werden im Vergleich zu einer Gunn-Diode ohne eine solche Schicht effektiver injiziert.

Aus der Druckschrift DE 102 61 238 A1 ist bekannt, zwischen einer AlGaAs-Schicht und den an diese Schicht angrenzenden hochdotierten Schichten je eine undotierte Zwischenschicht anzuordnen. Die undotierten Zwischenschichten bewirken, dass Dotierstoffe aus den hochdotierten Schichten bei der Herstellung und im Betrieb der Gunn-Diode nicht in die AlGaAs-Schicht diffundieren, bzw. segregieren. Hierdurch wird bewirkt, dass die Diode ein Schottkytypartigeres Verhalten in Bezug auf ihre I/U-Kennlinie zeigt, als eine Gunn-Diode mit einer gegradeten Schicht, die direkt an einer hochdotierten Schicht angrenzt.

Nachteilig muss bei der Herstellung einer Gunn-Diode mit einer gegradeten Schicht vermieden werden, dass Dotierstoffmaterial in die gegradete Schicht diffundiert und dadurch deren effektive Potentialhöhe verändert. Ebenfalls nachteilig ist, dass die Höhe der angrenzenden Delta-Dotierung die effektive Potentialhöhe verändert und somit genau eingehalten werden muss. Die Gunn-Dioden sind nur schlecht reproduzierbar. Die effektive Potentialhöhe ist der Abstand zwischen dem Fermi-Niveau der aktiven Schicht und des Energieniveaus der injizierten Elektronen. Die Energie der injizierten Elektronen hängt sowohl vom Al-Gehalt wie auch von der Höhe der Delta-Dotierung ab, weil die Delta-Dotierung zu einer Bandverschiebung führt.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Gunn-Diode bereit zu stellen mit der gezielter als bisher möglich, Elektronen aus dem Emitter direkt in das L-Band des aktiven Bereichs der Gunn-Diode injiziert werden können.

Die Aufgabe wird durch eine Gunn-Diode gemäß Hauptanspruch gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den darauf rückbezogenen Ansprüchen.

Die Gunn-Diode ist erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, dass der Injektor der Gunn-Diode als Energiebandpassfilter für die in den aktiven Bereich der Gunn-Diode zu injizierenden Elektronen ausgelegt ist.
Ein erfindungsgemäßer Injektor mit Energiebandpassfilter unterscheidet sich vom Stand der Technik darin, dass Elektronen mit definiertem maximalen und minimalen Energieniveaus in den aktiven Bereich der Gunn-Diode injiziert werden.

Dadurch wird im Betrieb vorteilhaft ein genau definierter Bereich an Elektronenenergien der Injektor-Elektronen in den aktiven Bereich der Gunn-Diode injiziert. Dies hat im Vergleich zu einer gegradeten Schicht den Vorteil, dass man die Durchlassenergie beliebig durch die Struktur der Diode vorwählen kann. Hierdurch kann die genaue Einschussenergie für das L-Band des Halbleitermaterials der aktiven Schicht eingestellt werden. Dies geschieht in der Regel durch Verändern der Dicke des Halbleitermaterials mit dem geringeren Bandabstand.

Als Energiebandpassfilter kann beispielsweise eine Resonanz-Tunneldiode als Injektor in einem III-V-Halbleiter angeordnet sein. Dadurch wird, energetisch betrachtet, besonders vorteilhaft ein scharfes Energiespektrum in den aktiven Bereich der Gunn-Diode injiziert.

Es wurde im Rahmen der Erfindung erkannt, dass über die gegradete Schicht nachteilig auch Elektronen mit zu hoher Energie in den aktiven Bereich der Gunn-Diode injiziert werden. Die Injektionsbarriere zeigt vom Prinzip her eine Temperaturabhängigkeit gemäß des Richardson-Gesetzes.

Bei den erfindungsgemäßen Gunn-Dioden mit einem Energiebandpassfilter im Injektor hingegen ist die Temperaturstabilität wesentlich verbessert. Darüber hinaus werden die Domänen unmittelbar am Eintrittspunkt der aktiven Schicht gebildet, was ein geringeres Phasenrauschen bewirkt.

Durch eine Resonanz-Tunneldiode als Injektor wird ein Energiebandpassfilter mit einem energetisch schmalbandigen Durchlassbereich der Elektronenenergien bereit gestellt. Die Halbwertsbreite von der verwendeten Resonanz-Tunneldiode hat bei Raumtemperatur einen typischen Wert von 5 meV. Die Halbwertsbreite hängt im wesentlichen von der Dicke des Barrierenmaterials und von zusätzlichen Streuphänomenen ab. Im Vergleich hierzu wirkt eine gegradete Schicht lediglich als einfacher Filter für niedrige Elektronenenergien.

Durch Einbringen eines Energiebandpassfilter mittels einer Resonanz-Tunneldiode, werden die injizierten Elektronen direkt in das L-Valley des Halbleiters injiziert.

Dadurch wird vorteilhaft bewirkt, dass das Verhalten der Gunn-Diode, insbesondere die Temperaturabhängigkeit, das Phasenrauschen und auch die Stabilität verbessert werden. Die Temperaturabhängigkeit wird dadurch verbessert, dass einerseits der Tunnelstrom temperaturunabhängig ist und zusätzlich durch die hohen Injektionsraten in das L-Valley die natürliche Besetzung des L-Valleys innerhalb der aktiven Schicht keine Wirkung mehr hat.

Im Falle einer Resonanz-Tunneldiode (RTD) als Injektor ist die Injektionsenergie, das heißt die Energie, die nötig ist, um eine direkte Besetzung der Elektronen im L-Band der aktiven Schicht zu realisieren, im wesentlichen durch die Materialien und Dicken der Schichten der Tunneldiode bestimmt.

Die Resonanz-Tunneldiode besteht aus einem Halbleitermaterial mit einem geringen Bandabstand (z. B. GaAs) in das zwei dünne, nah benachbarte Schichten als Doppelbarriere aus einem Material mit hohem Bandabstand z. B. AlAs eingefügt sind. Zwischen diesen Barrieren entstehen quantenmechanische Zustände, die wie ein Energiebandpassfilter für Elektronen wirken. Die Elektronen vor der Doppelbarriere können diese überwinden, wenn deren Energie mit der Energie der Quasibindungszustände überein stimmen.

Die Resonanz-Tunneldiode als Energiebandpassfilter kann mindestens zwei, wenige Monolagen dicke Schichten, z. B. aus AlAs umfassen, die von einer Zwischenschicht, z. B. aus GaAs voneinander getrennt sind. Die beiden wenige Monolagen dicken Schichten, die von einer Zwischenschicht voneinander getrennt sind, bilden die Doppelbarriere für die in den aktiven Bereich injizierten Elektronen. Die beiden wenige Monolagen dicken Schichten können in diesem Fall Gallium in mehr oder weniger hoher Konzentration umfassen.

Es ist denkbar, dass die Resonanz-Tunneldiode als Energiebandpassfilter mehr als zwei, wenige Monolagen dicke Schichten, umfasst.

Die undotierten Schichten des Injektors bestehen vorzugsweise ebenfalls aus GaAs.
Die undotierten Schichten bewirken vorteilhaft, dass die Strom-Spannungs-Kennlinie ein ausgeprägtes nichtlineares Verhalten, das heißt Schottky-typartiges Verhalten bei kleinen Spannungen aufweist.

Eine solche Schichtenfolge dient als Ausgangsschichtenfolge für Gunn-Dioden und Gunn-Oszillatoren. Dann schließen sich an die hochdotierten (III-V)-Halbleiter-Schichten weitere Schichten für derartige elektronische Bauelemente an.

Es kann als III-V-Halbleitermaterial an Stelle des GaAs auch InP und als Material für den Energiebandpassfilter, z. B. einer Doppelbarriere AlGaInAs verwendet werden, um die RTD zu bilden.

Es kann als III-V-Halbleitermaterial an Stelle des GaAs durchgängig auch gitterangepasstes AlGaInAs verwendet werden, wobei die Konzentration an Aluminium im Energiebandpassfilter z. B. einer Doppelbarriere, höher ist, als in den übrigen Schichten der Gunn-Diode.

Es kann als III-V-Halbleitermaterial an Stelle des GaAs auch GaN und als Material für den Energiebandpassfilter, z. B. einer Doppelbarriere AlN verwendet werden, um die RTD zu bilden. Die Doppelbarriere aus AlN-Schichten als Energiebandpassfilter kann Ga umfassen.

Die erfindungsgemäße Gunn-Diode kann nicht nur zur Erzeugung sondern auch zur Verstärkung von Mikrowellen verwendet werden.

Als Dotierstoff für die Schichten kommen insbesondere die Elemente Silizium und Tellur in Frage. Diese bewirken vorteilhaft reine Elektronenleitfähigkeiten.

Im Folgenden wird die Erfindung an Hand eines Ausführungsbeispiels und der beigefügten Figuren näher erläutert.

Figur 1 zeigt eine erfindungsgemäße Schichtenfolge für eine Gunn-Diode im Querschnitt. Das Material des III-V-Halbleiters besteht aus GaAs.

Die Gunn-Diode weist eine 700 Nanometer dicke GaAs-Schicht 1 auf. Diese ist mit einer Silizium-Konzentration von $4{,}3\ 10^{18}\ cm^{-3}$ dotiert. Diese Schicht 1 stellt den Kollektor der Gunn-Diode dar und ist mit einem

Kontakt zur Anlegung einer Spannung an die Gunn-Diode versehen (nicht dargestellt).

Auf der Kollektorschicht 1 ist der aktive Bereich 2 angeordnet. Diese, den Gunneffekt ausübende, und mit $1{,}1\ 10^{16}\ cm^{-3}$ dotierte Schicht 2 besteht ebenfalls aus GaAs und ist etwa 1600 Nanometer dick.

Auf dieser Schicht ist eine sogenannte Delta-dotierte Schicht 3 angeordnet, die der Feinabstimmung der Potentialstruktur im anschließenden Injektor dient. Der Injektor umfasst eine Schichtenfolge aus einer undotierten Schicht 4, einer Doppelbarriere 5a, 5b, 5c und einer weiteren undotierten Schicht 6, in der Weise, dass die Doppelbarriere von beiden Seiten gegenüber den angrenzenden hochdotierten GaAs-Schichten 3 und 7 durch undotierte Schichten 4, 6 getrennt ist. Die undotierten Schichten 4 und 6 dienen als Segregations- bzw. Diffusionsstopschicht, so dass aus den hochdotierten Schichten 3 und 7 keine Dotieratome in den Injektor gelangen können.

An die Segregationsstopschicht 6 schließt sich eine hochdotierte Zuleitungsschicht 7 mit einem elektrischen Kontakt an (nicht dargestellt).

Der Energiebandpassfilter umfasst hier zwei 6 Monolagen dicke AlAs-Schichten 5c, 5a und einen diese trennenden Graben 5b, welcher aus 17 Monolagen GaAs besteht. Der Energiebandpassfilter ist als Resonanztunneldiode ausgelegt.

Die Gunn-Diode wird in der Weise betrieben, dass die Elektronen von der Zuleitungsschicht 7 als Emitter über die Doppelbarriere der Schichten 6, 5, 4 und 3 in die aktive Schicht 2 injiziert werden (Vorwärtsrichtung) und dann über die Kollektorschicht 1 wieder zurück zur Spannungsquelle fließen.

Figur 2 zeigt eine Prinzipskizze des Bandverlaufes der Gunn-Diode mit einem Injektor umfassend eine Resonanz-Tunneldiode (RTD-Injektor). Man erkennt in dieser Abbildung eine Bandstruktur für eine Resonanz-Tunneldiode, gefolgt von einem Ausschnitt der niedrig dotierten Schicht einer Gunn-Diode. Die Durchlassenergien 8, 9 des energieselektiven Filters der RTD 5c, 5b und 5a sind durch die durchgezogenen waagerechten Striche zwischen den Barrieren 5c, 5a angedeutet. Die Durchlassenergien 8, 9 sind so an die Schichtstruktur angepasst, dass die durch das erste Durchlassenergieniveau 8 in die aktive Schicht 2 injizierten Elektronen auf dem gleichen Energieniveau liegen, wie diejenigen des L-Bands von GaAs in der aktiven Schicht 2.

Dieses Prinzip kann besonders vorteilhaft auf jedwede Gunn-Diode mit Schichtenfolgen aus anderen Halbleiter-Materialien übertragen werden.

Man erkennt in der Abbildung zwei mögliche Durchlassenergien, wobei die wesentliche Injektion über den ersten Quasibindungszustand geschieht. Die meisten Elektronen befinden sich am Fermi-Niveau 11, das als strichpunktierte Linie eingezeichnet ist. Die Leitungs-

bandkante 10 ist durch die durchgezogene Linie charakterisiert.

Die Erfindung ist auf die angegebenen Durchlassenergieniveaus gemäß der Fig. 2 nicht beschränkt. Vielmehr können auch andere Passenergien zur Erzeugung von Mikrowellen durch eine andere geeignete Schichtenfolge mit anderen Materialien und/oder Schichtdicken gebildet werden.

In Fig. 3 ist eine DC-Strom-Spannungskennlinie einer Gunn-Diode mit RTD-Injektor abgebildet.
Einem steilen Stromanstieg als Funktion der Spannung folgt nach Erreichen der kritischen Mindestfeldstärke das Maximum der Driftgeschwindigkeit. Die Kennlinie knickt ab. Dies ist ein typischer Verlauf für eine Gunn-Diode. Es liegt eine Unsymmetrie der Kennlinie bezüglich der Spannungsrichtung vor. Werden die Elektronen in Vorwärtsrichtung ausgehend von Schicht 7 bis hin zu Schicht 1 bewegt, so werden sie über den RTD-Injektor 4 bis 6 (s. Fig. 1 und 2) in die aktive Gunn-Dioden Schicht 2 injiziert.

In Rückwärtsrichtung, ausgehend von Schicht 1 bis zur Schicht 7, liegt lediglich eine normale Gunn-Diode mit einer nachgeschalteten Resonanz-Tunneldiode als Serienwiderstand am Ende der Strecke vor. Die Maximalströme im Strompeak in Vorwärtsrichtung sind deutlich kleiner als die Ströme in Rückwärtsrichtung. Dies zeigt die Funktionsfähigkeit des Injektors. Da die Elektronen über die Resonanz-Tunneldiode 4 bis 6 direkt ins L-Band des GaAs Halbleiters 2 injiziert werden, ist die Drift-

geschwindigkeit der Elektronen in Vorwärtsrichtung kleiner als in Rückwärtsrichtung.

Zusätzlich wurden Hochfrequenzmessungen in Form von S-Parameter Messungen an den Strukturen durchgeführt. Diese zeigen, dass das Verhalten der Diode in Vorwärtsrichtung (Fig. 4) einen deutlich schärferen Peak zeigt, als in Rückwärtsrichtung (Fig. 5). Die Elektronen werden definiert ins L-Valley der Schicht 2 injiziert. An der Stelle des ersten, großen Peaks liegt eine kleine räumliche Zone vor, in der sich der Beginn der Domänenbildung befindet. Zusätzlich ist in Fig. 4 die zweite Harmonische gemessen. Eine größere statistische Verteilung des örtlichen Einsatzes der Domäne bleibt aus. Dies führt zu einer scharfen Laufzeit, was sich in einer scharfen Bande in den S-Parametern auswirkt. In der Rückwärtsrichtung (Fig. 5) ist diese Bande deutlich breiter. Dies deutet auf einen größeren Bereich der statistischen Verteilung der Domänenstartposition hin und damit zu einem größeren Phasenrauschen der Gunn Diode.

Es ist im Rahmen der Erfindung denkbar, eine erfindungsgemäße Schichtenfolge für weitere elektronische Bauelemente, die als Injektionsschicht eine Potentialbarriere benötigen, zu verwenden.

Es sind weitere Schichtenfolgen denkbar, bei denen das Prinzip, eine gegradete Schicht durch undotierte Zwischenschichten als Diffusions- bzw. Segregationsstopschichten zu schützen, angewendet werden kann, beispielsweise eine auf InP basierende Schichtenfolge.

Die erfindungsgemäßen Schichtenfolgen für Gunn-Dioden sind z. B. zur Erzeugung von Mikrowellen im Automobilbereich und bei der Sicherheitsprüfung von Gegenständen in Flughäfen verwendbar.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Gunn-Diode, umfassend einen, einen Gunn-Effekt ausübenden aktiven Bereich (2) und einen Injektor (4, 5a, 5b, 5c, 6),
dadurch gekennzeichnet, dass
der Injektor (4, 5a, 5b, 5c, 6) einen Energiebandpassfilter (5a, 5b, 5c) für die in den aktiven Bereich (2) injizierten Elektronen umfasst.

2. Gunn-Diode nach Anspruch 1,
gekennzeichnet durch
eine Resonanz-Tunneldiode als Energiebandpassfilter.

3. Gunn-Diode nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Injektor als Energiebandpassfilter eine Doppelbarriere aus mindestens zwei voneinander durch eine Zwischenschicht (5b) getrennten Schichten (5a, 5c) aufweist.

4. Gunn-Diode nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die zwei voneinander durch eine Zwischenschicht (5b) getrennten Schichten (5a, 5c) eine Dicke von wenigen Monolagen aufweisen.

5. Gunn-Diode nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass

zwischen dem aktiven Bereich (2) und dem Energiebandpassfilter (5a, 5b, 5c) eine Delta-dotierte Schicht (3) angeordnet ist.

6. Gunn-Diode nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch
einen mindestens eine undotierte Schicht (4, 6) umfassenden Injektor.

7. Gunn-Diode nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
mindestens eine undotierte Schicht (4, 6) des Injektors an hochdotierte Bereiche angrenzt.

8. Gunn-Diode nach einem der vorhergehenden Patentansprüche,
aus III-V-Halbleitermaterial, insbesondere aus GaAs, GaN, InP oder gitterangepasstem AlGaInAs.

9. Gunn-Diode nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch AlAs, AlN oder AlGaInAs als Material zur Bildung des Energiebandpassfilters (5a, 5b, 5c).

10. Gunn-Diode nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch
Silizium oder Tellur als Dotierstoff für die dotierten Schichten (1, 2, 3, 7).

11. Gunn-Diode nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch
einen Gunn-Oszillator.

12. Verstärker, umfassend eine Gunn-Diode nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

Schicht-Nr.	Schichtmaterial	Dicke der Schicht	Elektronen-konzentration / Dotierung	Bezeichnung der Schicht / Funktion
7	GaAs	500 nm	4,3 10^{18} cm^{-3}	Emitter
6	GaAs	10 nm	---------	RTD-Injektor
5c	AlAs	1,7 nm	---------	
5b	GaAs	4,8 nm	---------	
5a	AlAs	1,7 nm	---------	
4	GaAs	10 nm	---------	
3	GaAs	5 nm	1,0 10^{18} cm^{-3}	Delta-Dotierung
2	GaAs	1,6 µm	1,1 10^{16} cm^{-3}	Transit-Schicht / aktiver Bereich
1	GaAs	700 nm	4,3 10^{18} cm^{-3}	Kollektor

Fig. 1

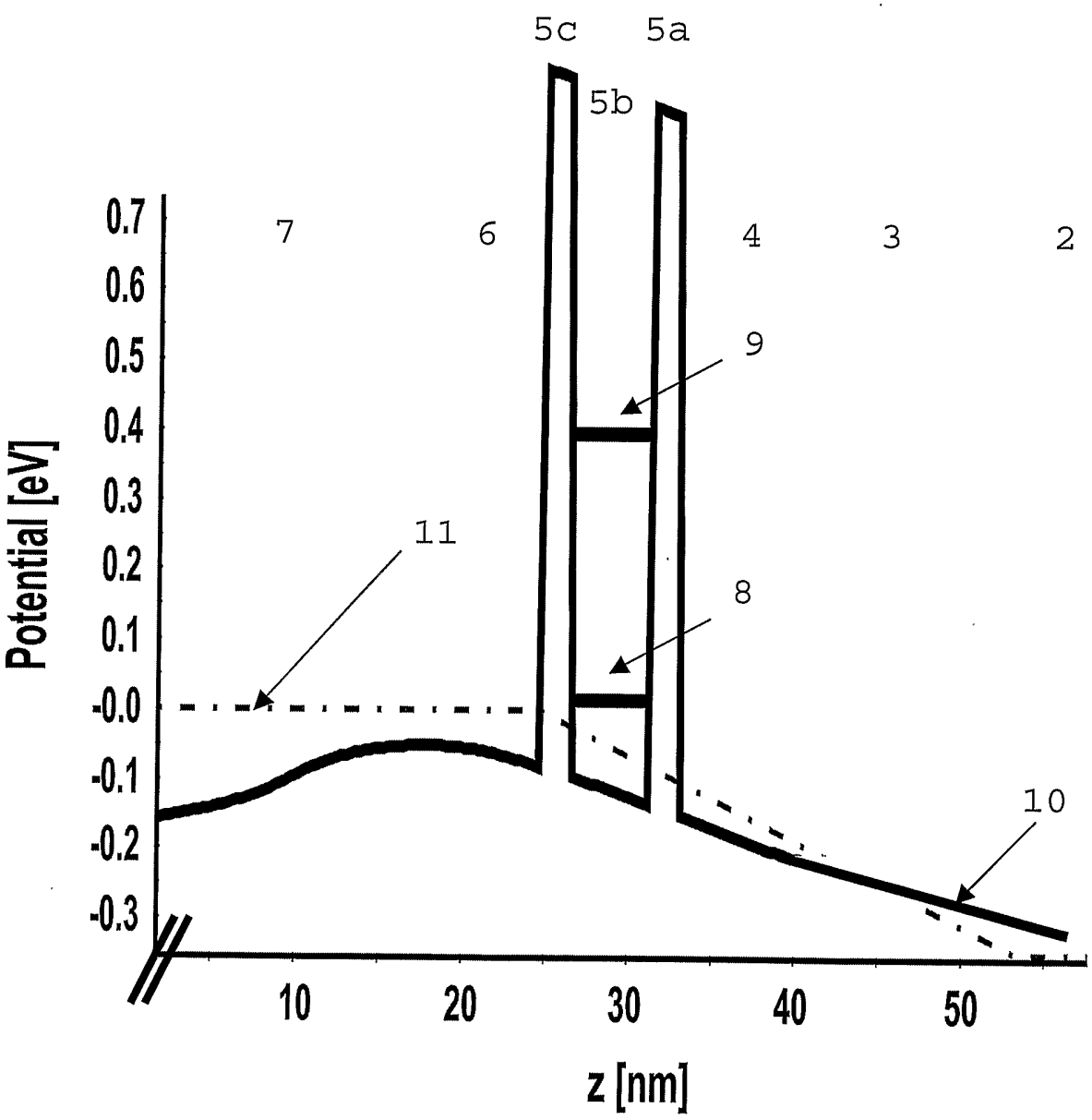

5c
5a
5b
7
6
4
3
2
9
11
8
10
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
-0.0
-0.1
-0.2
-0.3
Potential [eV]
10
20
30
40
50
z [nm]

Fig. 2

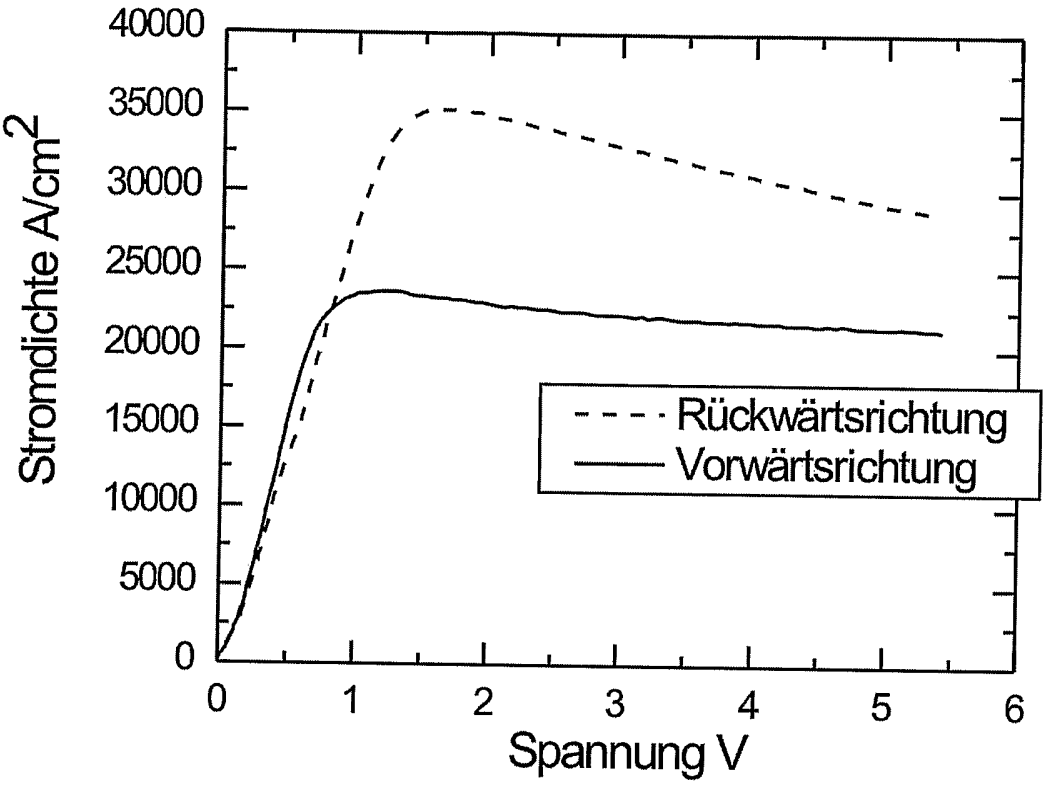

40000
35000
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
Stromdichte A/cm2
0
1
2
3
4
5
6
Spannung V
Rückwärtsrichtung
Vorwärtsrichtung

Fig. 3

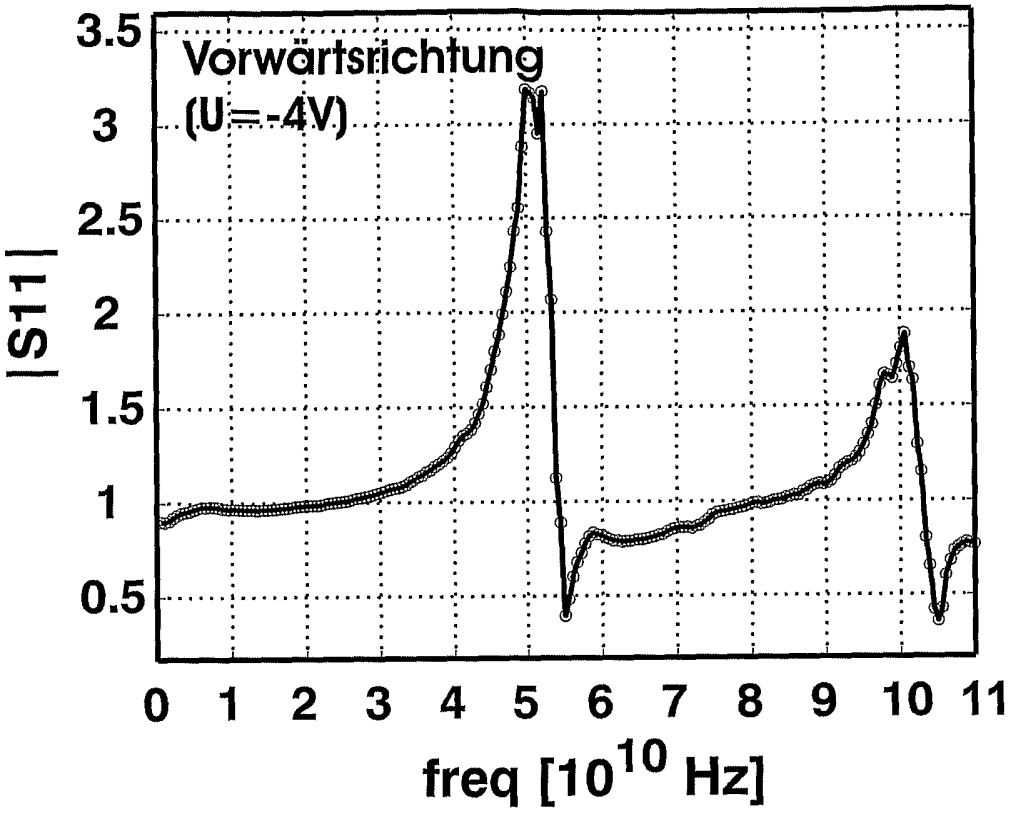

Vorwärtsrichtung
(U=-4V)
|S11|
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
freq [10^10 Hz]

Fig. 4

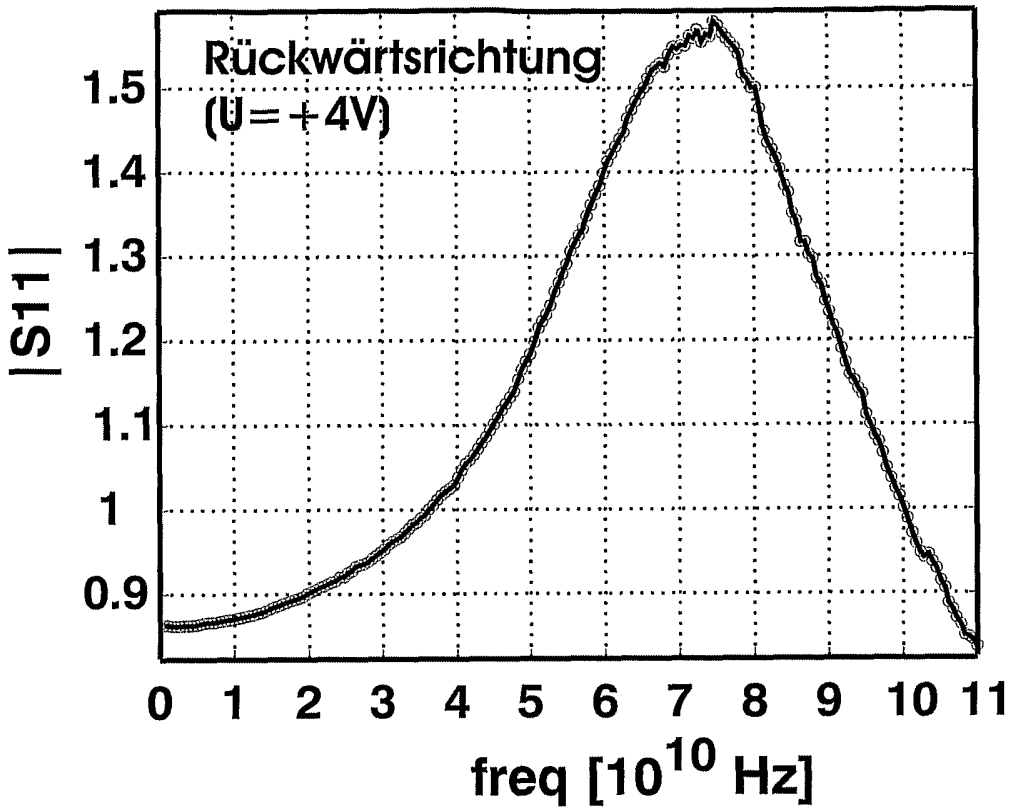

Rückwärtsrichtung
(U=+4V)
|S11|
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1
0.9
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
freq [10^10 Hz]

Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE2005/001612

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L47/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L H03B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KARTASHOVA O A ET AL: "Numerical analysis of the submicrometer GaAs Gunn diode with resonance-tunneling injector" RUSSIAN MICROELECTRONICS, vol. 24, no. 1, January 1995 (1995-01), pages 29-32, XP009057478 ISSN: 1063-7397 Abschnitt "Results of modeling" ----- -/--	1-4,8,9, 11

[X] Further documents are listed in the continuation of box C.

[X] Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
21 November 2005	29/11/2005

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	Köpf, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE2005/001612

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	STOROZHENKO I P ET AL: "Simulation of short Gunn diode with resonant-tunneling cathode" FIFTH INTERNATIONAL KHARKOV SYMPOSIUM ON PHYSICS AND ENGINEERING OF MICROWAVES, MILLIMETER, AND SUBMILLIMETER WAVES MSMW'04, KHARKOV, UKRAINE, 21-26 JUNE 2004, vol. 2, 21 June 2004 (2004-06-21), pages 549-551, XP010731970 ISBN: 0-7803-8411-3	1-4,6-9, 11,12
Y	page 549, paragraph 1 - paragraph 3; figure 1	5,10
Y	DE 102 61 238 A1 (FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH) 15 July 2004 (2004-07-15) cited in the application paragraphs '0010! - '0018! paragraphs '0025! - '0028!; figure 1	5,10
A	WO 96/02964 A (PHILIPS ELECTRONICS NV ET AL) 1 February 1996 (1996-02-01) page 7, line 4 - page 14, line 29; figures 1-5	1,5-8, 10-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/DE2005/001612

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 10261238 A1	15-07-2004	WO 2004061990 A2	22-07-2004
		EP 1573829 A2	14-09-2005
WO 9602964 A	01-02-1996	DE 69514204 D1	03-02-2000
		DE 69514204 T2	24-08-2000
		EP 0720779 A1	10-07-1996
		JP 9507967 T	12-08-1997
		US 5675157 A	07-10-1997

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2005/001612

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
H01L47/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L H03B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	KARTASHOVA O A ET AL: "Numerical analysis of the submicrometer GaAs Gunn diode with resonance-tunneling injector" RUSSIAN MICROELECTRONICS, Bd. 24, Nr. 1, Januar 1995 (1995-01), Seiten 29-32, XP009057478 ISSN: 1063-7397 Abschnitt "Results of modeling" ----- -/--	1-4,8,9, 11

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

[X] Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
21. November 2005	29/11/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	Köpf, C

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2005/001612

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	STOROZHENKO I P ET AL: "Simulation of short Gunn diode with resonant-tunneling cathode" FIFTH INTERNATIONAL KHARKOV SYMPOSIUM ON PHYSICS AND ENGINEERING OF MICROWAVES, MILLIMETER, AND SUBMILLIMETER WAVES MSMW'04, KHARKOV, UKRAINE, 21-26 JUNE 2004, Bd. 2, 21. Juni 2004 (2004-06-21), Seiten 549-551, XP010731970 ISBN: 0-7803-8411-3	1-4,6-9, 11,12
Y	Seite 549, Absatz 1 - Absatz 3; Abbildung 1	5,10
Y	DE 102 61 238 A1 (FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH) 15. Juli 2004 (2004-07-15) in der Anmeldung erwähnt Absätze '0010! - '0018! Absätze '0025! - '0028!; Abbildung 1	5,10
A	WO 96/02964 A (PHILIPS ELECTRONICS NV ET AL) 1. Februar 1996 (1996-02-01) Seite 7, Zeile 4 - Seite 14, Zeile 29; Abbildungen 1-5	1,5-8, 10-12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2005/001612

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10261238 A1	15-07-2004	WO 2004061990 A2	22-07-2004
		EP 1573829 A2	14-09-2005
WO 9602964 A	01-02-1996	DE 69514204 D1	03-02-2000
		DE 69514204 T2	24-08-2000
		EP 0720779 A1	10-07-1996
		JP 9507967 T	12-08-1997
		US 5675157 A	07-10-1997