PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 5 : H01L 23/498, 23/485

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 93/00708

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 7. Januar 1993 (07.01.93)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE92/00518

(22) Internationales Anmeldedatum: 23. Juni 1992 (23.06.92)

(30) Prioritätsdaten:

P 41 20 766.1	24. Juni 1991 (24.06.91)	DE
P 42 04 370.0	14. Februar 1992 (14.02.92)	DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten ausser US):* FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH [DE/DE]; Wilhelm-Johnen-Straße, D-5170 Jülich (DE).

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US) :* COPETTI, Carlo [IT/DE]; Venloer Straße 213, D-5000 Köln 30 (DE). SCHUBERT, Jürgen [DE/DE]; Alte Fischenicher Straße 40, D-5000 Köln 50 (DE). ZANDER, Willi [DE/DE]; Geusenstraße 37, D-5173 Aldenhoven-Neu Pattern (DE). BUCHAL, Christoph [DE/DE]; Lankenstraße 29, D-5170 Jülich (DE).

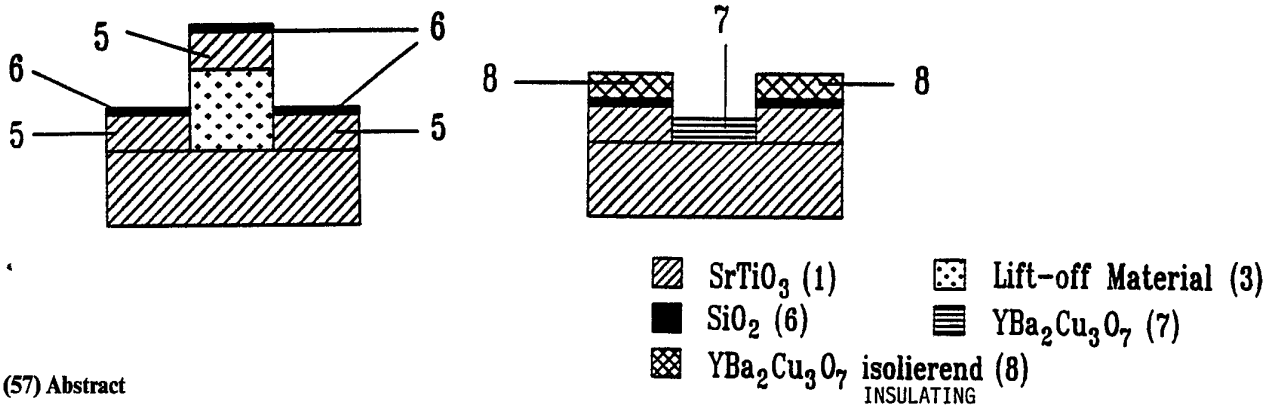
(74) Anwalt: FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH; Rechts- und Patentabteilung, Postfach 1913, D-5170 Jülich (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IT, LU, MC, NL, SE).

Veröffentlicht
Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) Title: STRUCTURED CONDUCTOR TRACKS AND PROCESS FOR MAKING THEM

(54) Bezeichnung: STRUKTURIERTE LEITERBAHNEN UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG DERSELBEN



(57) Abstract

The invention relates to structured conductor tracks and a process for making such structured conductor tracks from high-temperature superconducting (HTSC) layers in which a lacquer coating is applied to the surface of a suitable substrate in the regions intended for the HTSC tracks and then an inhibiting doping material is vapour-deposited on the entire surface of the substrate which is removed again from the surface regions intended for the superconducting tracks by lifting off the lacquer mask so that, after the subsequent deposition of the HTSC layer on the substrate with annealing the HTSC becomes an insulator on the doped substrate surface and forms the superconducting track on the undoped substrate surface. To prevent the superconducting properties of the HTSC structures from being adversely affected by the production process, after the lacquer coating (3) has been applied to the substrate surface regions (2) intended for the superconducting tracks, as much substrate material is removed from the unlacquered substrate regions (4) so that the HTSC tracks (7) which are deposited on the thus freed substrate surface regions after the vapour deposition of the inhibiting doping layer (5) and the subsequent lift-off of the lacquer mask and are formed by epitaxial growth are insulated from the doped but relatively higher substrate surface regions bearing the insulating layer (6).

(57) Zusammenfassung Die Erfindung bezieht sich auf strukturierte Leiterbahnen sowie auf ein Verfahren zur Herstellung solcher strukturierter Leiterbahnen aus Hochtemperatursupraleiter- (HTSL)Schichten, bei dem auf die Oberfläche eines geeigneten Substrates in den für die HTSL-Bahnen vorgesehenen Bereichen eine Lackschicht aufgebracht wird und anschließend auf die gesamte Substratoberfläche ein Inhibit-Dotierstoff aufgedampft wird, der durch einen Lift-off der Lackmaske von den für die supraleitenden Bahnen vorgesehenen Oberflächenbereichen wieder abgehoben wird, so daß nach anschließender Deposition der HTSL-Schicht auf das Substrat bei Temperung der HTSL auf der dotierten Substratoberfläche zum Isolator wird und sich auf der undotierten Substratoberfläche zu den supraleitenden Bahnen ausbildet. Damit die supraleitenden Eigenschaften der HTSL-Strukturen durch den Herstellungsprozeß nicht beeinträchtigt werden, wird nach dem Auftragen der Lackschicht (3) auf die für die supraleitenden Bahnen vorgesehenen Substratoberflächenbereiche (2) soviel Substratmaterial in den lackfreien Substratbereichen (4) abgeschieden, daß die HTSL-Bahnen (7), die nach dem Aufdampfen der Inhibit-Dotierschicht (5) und dem anschließenden Lift-off der Lackmaske auf den dadurch freigelegten Substratoberflächenbereichen deponiert und durch epitaktisches Wachstum ausgebildet werden, isoliert von den dotierten, die Isolatorschicht (6) tragenden, nunmehr relativ höherliegenden Substratoberflächenbereiche (4) verlaufen.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	FI	Finnland	MN	Mongolei
AU	Australien	FR	Frankreich	MR	Mauritanien
BB	Barbados	GA	Gabon	MW	Malawi
BE	Belgien	GB	Vereinigtes Königreich	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GN	Guinea	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	GR	Griechenland	PL	Polen
BJ	Benin	HU	Ungarn	RO	Rumänien
BR	Brasilien	IE	Irland	RU	Russische Föderation
CA	Kanada	IT	Italien	SD	Sudan
CF	Zentrale Afrikanische Republik	JP	Japan	SE	Schweden
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SN	Senegal
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SU	Soviet Union
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	TD	Tschad
CM	Kamerun	LK	Sri Lanka	TG	Togo
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	US	Vereinigte Staaten von Amerika
DE*	Deutschland	MC	Monaco		
DK	Dänemark	MG	Madagaskar		
ES	Spanien	ML	Mali		

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

Strukturierte Leiterbahnen und Verfahren zur Herstellung derselben

Die Erfindung bezieht sich auf strukturierte Leiterbahnen und ein Verfahren zur Herstellung von strukturierten Leiterbahnen aus Hochtemperatursupraleiter-(HTSL-)Schichten gemäß den im Oberbegriff von Anspruch 1 genannten Verfahrensschritten.

Ein Schwerpunkt der Entwicklungsaktivitäten auf dem Gebiet der HTSL-Technologie bildet die Herstellung von HTSL-Strukturen aus dünnen supraleitenden Schichten ("Filme"). Zur Herstellung derartiger Strukturen sind in den letzten Jahren hauptsächlich zwei Verfahren entwickelt worden.

Beim üblichen Verfahren wird auf einem Substrat, das für ein einkristallines Wachstum des HTSL geeignet ist, ein HTSL-Film durch Laserablation, Sputtern o.ä. abgeschieden. Anschließend wird auf den HTSL-Film in den Bereichen, die für die HTSL-Strukturen vorgesehen sind, zusätzlich eine Lackschicht aufgetragen, belichtet und entwickelt. Die Lackflächen schützen nun die abgedeckten Supraleiterflächen vor einem nachfolgenden Ätzschritt, durch den die nicht durch die Lackmaske geschützten Bereiche des HTSL-Films wieder von der Substratoberfläche abgetragen werden. Dieser Ätzprozeß kann naßchemisch oder durch Ionenstrahlätzen erfolgen. Nach Entfernen der Lackschicht ist das Endprodukt dieses Verfahrens somit ein auf der Substratoberfläche verlaufender, strukturierter HTSL-Film.

Die erwünschten supraleitenden Eigenschaften sind nun an die exakte chemische Zusammensetzung und Kristallinität des nach dem Ätzschritt verbliebenen, strukturierten HTSL-Films gebunden. Dabei sind insbesondere in den Oberflächenbereichen der HTSL-Strukturen aufgrund der elektrodynamischen Gesetze hohe elektrische Felder und starke Oberflächenströme zu erwarten. Ein Nachteil des beschriebenen Verfahrens ist nun, daß auch der strukturierte HTSL-Film an den durch den Ätzschritt geschaffenen und damit ungeschützten seitlichen Oberflächen während des Ätzvorganges degradiert wird. Dies hat eine Störung der Stöchiometrie und Kristallinität des HTSL-Films vor allem in diesen seitlichen Oberflächenbereichen zur Folge, so daß die Oberflächenströme von einem schlechten, teilweise resistiven Material aufgenommen werden. Daraus resultiert eine Verminderung der erwünschten, supraleitenden Eigenschaften der HTSL-Bahnen. Außerdem kann nicht ausgeschlossen werden, daß die Belackung auch die horizontalen Flächen des Supraleiters ungünstig beeinflußt.

Um eine derartige Degradation des strukturierten HTSL-Films durch Ätzen zu vermeiden, wurde ein weiteres Verfahren, das sog. "Inhibit-Verfahren" entwickelt. Hierbei wird zunächst auf das Substrat in den Oberflächenbereichen, die den strukturierten HTSL-Film tragen sollen, eine Lackschicht aufgebracht. Anschließend wird auf die gesamte Oberfläche ein Inhibit-Dotierstoff aufgedampft, wobei in den für die HTSL-Bahnen vorgesehenen Substratoberflächenbereichen die Lackmaske den Dotierstoff vom Substrat trennt. Bei einem nachfolgenden Lift-off-Prozeß wird die Lackmaske und damit gleichzeitig auch der auf der Lackmaske befindliche Dotierstoff aus den Bereichen des zukünftigen strukturierten HTSL-Films vom Substrat abgehoben. Auf die nunmehr dotierten und

undotierten Bereiche der Substratoberfläche wird im nächsten Schritt die HTSL-Schicht deponiert. Die Deposition erfolgt in der Regel bei relativ hohen Substrattemperaturen von etwa 500 - 800°C. Das HTSL-Material kann aber auch bei niedrigen Temperaturen aufgebracht werden; es muß dann allerdings ein Temperschritt bei den angegebenen hohen Temperaturen angeschlossen werden.

Auf den undotierten Substratbereichen bildet sich nun durch einkristallines Wachstum der strukturierte HTSL-Film aus, während auf der dotierten Substratoberfläche das HTSL-Material durch vertikale Diffusion des Dotierstoffes zum Isolator wird. Allerdings tritt neben dieser erwünschten vertikalen Diffusion auch eine laterale Diffusion des Dotierstoffes in die supraleitenden Strukturen auf; denn die sich bildenden einkristallinen HTSL-Bahnen haben seitlich direkten Kontakt zum Dotierstoff. Die laterale Diffusion des Dotierstoffes in den strukturierten HTSL-Film hat zur Folge, daß sich innerhalb der Leiterbahnen ein Konzentrationsgradient des Dotierstoffes und damit ein allmählicher Übergang von "nichtleitend" über "schlecht leitend" zu "schlecht supraleitend" bis schließlich "gut supraleitend" herausbildet. Dieser resistive Übergangsbereich muß aber für die Anwendung von supraleitenden Strukturen insbesondere in der Mikroelektronik vermieden werden.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, das es ermöglicht, HTSL-Strukturen herzustellen, deren supraleitenden Eigenschaften durch den Herstellungsprozeß nicht beeinträchtigt werden.

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe wird durch

ein Verfahren mit den Merkmalen des Kennzeichnungsteils des Anspruchs 1 gelöst.

Die auf dem Substrat aufgebrachte Lackschicht bedeckt nach einer photolithographischen Strukturierung nur die durch aufwachsen von HTSL-Material mit supraleitenden Eigenschaften zwecks Bildung von Leiterbahnen vorgesehenen Bereiche. In einem nachfolgenden Verfahrensschritt wird nacheinander Substratmaterial und eine dünne Inhibitschicht abgeschieden. Als abzuscheidendes Substratmaterial kann dazu z.B. $SrTiO_3$, $LaAlO_3$, YSZ, MgO oder ein anderes, geeignetes Substratmaterial gewählt werden. Als Material für die abzuscheidende Inhibitschicht kann z.B. SiO_2 oder auch ein anderes geeignetes Material gewählt werden. In einem nachfolgenden Verfahrensschritt wird durch einen Lift-off der Lackmaske das sich auf dieser Lackmaske abgeschiedene Substrat- und Inhibitmaterial entfernt. In einem folgenden Verfahrensschritt erfolgt die Abscheidung des HTSL-Films bei Substrattemperaturen vorzugsweise im Bereich zwischen 500°C und 800°C. In den mit Inhibitstoff bedeckten Substratoberflächenbereichen wird dabei durch Diffusion des Inhibitstoffs in die abgeschiedene HTSL-Schicht diese zu einer Isolatorschicht degradiert. Das Wachstum eines supraleitenden epitaktischen Filmes erfolgt somit nur auf den freien Substratoberflächenbereichen. Diese sind gegenüber den die degradierten Isolatorschicht tragenden Substratoberflächenbereiche aufgrund der erfolgten Abscheidung von Substratmaterial relativ erniedrigt.

Die Abscheidung des Substratmaterials soll im Ergebnis dazu führen, daß die die Leiterbahnen tragenden Substratoberflächenbereiche in Richtung senkrecht der Substratoberfläche räumlich von den die Isolatorschicht

tragenden Substratoberflächenbereiche soweit getrennt werden, daß eine laterale Diffusion des Inhibitstoffs in den die Leiterbahnen bildenden supraleitenden Film vermieden wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren weist folgende Vorteile auf:

- Beim erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt die Bildung der HTSL-Bahnen durch epitaktisches Wachstum an den Substratoberflächenbereichen, die nach dem Lift-off freigelegt worden sind. Mit der Bildung der HTSL-Bahnen erhalten diese aufgrund der vorher durchgeführten Maßnahme, insbesondere die Vergiftung des HTSL in den höher gelegenen mit Inhibitdotierstoff versehenen Substratbereichen, die erwünschte Strukturierung. Im Gegensatz zu den bekannten Verfahren erübrigt sich beim erfindungsgemäßen Verfahren das erforderliche Ätzen der HTSL-Schicht um die gewünschte Struktur zu erhalten. Die mit solchen Ätzverfahren verbundenen weiteren Möglichkeiten der Verunreinigung einer epitaktisch gewachsenen HTSL-Schicht kann damit vermieden werden.

- Während der Schichtabscheidung wird eine automatische Randpassivierung der die Leiterbahnen bildenden HTSL-Schicht erreicht.

  Die HTSL-Materialien sind stark anisotrop in ihrer Kristallstruktur. Dies bewirkt das die Sauerstoffdiffusion in diesen Materialien sehr stark Richtungsabhängig ist (parallel zur Substratoberfläche etwa um einen Faktor tausend mal schneller als in der Substratoberfläche senkrechten Richtung). Diese Sauerstoffdiffusion ist ein wesentlicher Degradations-

mechanismus bei den HTSL-Materialien. Deshalb sind Flächen wie z.B. Kanten an denen durch Strukturierungsverfahren offene, zur Substratoberfläche parallel verlaufenen Richtungen freigelegt werden, sehr anfällig für diese Sauerstoffdiffusion. Das erfindungsgemäße Verfahren führt durch die Abscheidung von Substratmaterial in den zum Tragen der Isolatorschicht vorgesehenen Substratoberflächenbereichen im Ergebnis zur seitlichen Begrenzung des die HTSL-Leiterbahnen bildenden Filmes, und somit zu einer automatischen Randpassivierung an den senkrecht zur Substratoberfläche die Leiterbahnen begrenzenden Kanten. Ein dauerhafter Schutz dieser Kante wird somit erreicht.

- In einer vorteilhaften Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens beansprucht (Anspruch 12) können weitere Degradationsmechanismen wie z.B die Reaktionen der HTSL-Schicht mit H_2O und CO_2, die z.B. in der Luft vorhanden sind, dadurch vermieden werden, daß auf den HTSL-Leiterbahnen eine weitere Deckschicht zwecks vollständiger Passivierung der Oberfläche der HTSL-Schicht aufgebracht werden.

- Eine erfolgreiche Nutzung der Hochtemperatursupraleitung in der Technik erfordert unter anderem das Beherrschen der Mehrlagentechnik, in der sich HTSL-Schichten und Isolator-Schichten abwechseln. Im Falle der möglichen vollständigen Passivierung im obigen Sinne gestattet das erfindungsgemäße Verfahren ohne weiteres eine dreidimensionale Anordnung strukturierter, in Substratmaterial vergrabener HTSL-Leiterbahnen.

Weitere zweckmäßige und vorteilhafte Varianten des Verfahrens sind in den Ansprüchen 2 bis 7 angegeben.

Eine besonders vorteilhafte Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dann gegeben, wenn als Material für die strukturierte Lackschicht amorphes YBaCuO gewählt wird.

Übliche zur Bildung von Masken bei Lift-off-Prozessen verwendeten Materialien sind bis etwa 500°C stabil. Bei höheren Temperaturen sind zur Maskentechnik eingesetzte Materialien nicht stabil. Es wird deshalb als Material für die an den für die HTSL-Bahnen vorgesehenen Substratoberflächenbereiche vorhandene, als Lackmaske für den Lift-off-Prozeß vorgesehene, geeignet strukturierte Lackschicht amorphes YBaCuO vorgeschlagen. Eine Lackmaske aus diesem Material kann in bekannter Weise mit Hilfe üblicher Lift-off-Prozesse beispielsweise bei Zimmertemperatur hergestellt werden.

Bei der Wahl von amorphem YBaCuO als für das erfindungsgemäße Verfahren geeignete Lackschicht, kann die Abscheidung von Substratmaterial in den lackfreien Substratbereichen bei relativ hohen Temperaturen erfolgen. Beispielsweise besteht die Möglichkeit, $SrTiO_3$ als Substratmaterial bei 800°C in den lackfreien Substratbereichen abzuscheiden. Unter diesen Bedingungen scheidet sich das Substratmaterial epitaktisch, einkristallin auf dem lackfreien Substratoberflächenbereich ab. Vorteilhafterweise ist amorphes YBaCuO bei dieser Temperatur stabil, so das sie als Lackmaske im Sinne des erfindungsgemäßen Verfahrens eingesetzt werden kann. Der sich an diesem Verfahrensschritt anschließende Lift-off-Prozeß könnte in diesem Falle mit Hilfe von verdünnter Salzsäure (HCl) durchgeführt werden.

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe wird gemäß Anspruch 8 alternativ dadurch gelöst, daß nach dem

Auftragen der Lackschicht auf die für die supraleitenden Bahnen vorgesehenen Substratoberflächenbereiche die lackfreien Sustratbereiche durch Ätzen soweit abgetragen werden, daß die die Lackschicht tragenden Substratoberflächenbereiche relativ gegenüber den lackfreien Substratoberflächenbereichen erhöht sind. Da während des Ätzvorganges die für das Wachstum der HTSL-Strukturen benötigten Substratoberflächenbereiche durch die Lackmaske geschüzt sind, bleiben diese Oberflächenbereiche während des Tiefätzens unversehrt. Dies hat zur Folge, daß für die nach dem Aufdampfen der Inhibit-Dotierschicht und dem anschließenden Liftoff der Lackmaske deponierte HTSL-Schicht im Bereich der sich durch epitaktisches Wachtum herausbildenden HTSL-Strukturen Substratoberflächenbereiche höchster Qualität zur Verfügung stehen. Da die Substratoberflächenbereiche mit den darauf ausgebildeten HTSL-Bahnen durch das Tiefätzen soweit erhöht werden, daß die strukturierten Leiterbahnen von den dotierten, die Isolatorschicht tragenden Substratoberflächenbereichen isoliert, d.h. von diesen räumlich getrennt verlaufen, werden die hochwertigen HTSL-Bereiche auch nicht mehr durch laterale Diffusion des Dotierstoffes beeinträchtigt. Auch wird bei dieser Verfahrensweise nach dem Wachstum des HTSL der HTSL selbst nicht mehr geätzt und ist auch keiner Beeinflussung durch die Lackschicht ausgesetzt. Dies hat zur Folge, daß die Qualität der Supraleiterbahnen voll erhalten bleibt.

Als HTSL wird zweckmäßigerweise $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ verwendet (Anspruch 9). Desweiteren hat sich gezeigt, daß eine besonders gleichmäßige und saubere Abtragung der lackfreien Substratbereiche durch Ionenstrahlätzen erzielt wird (Anspruch 10). Selbstverständlich können aber

auch andere Ätzmethoden, wie beispielsweise chemisches Ätzen, verwendet werden.

Das Endprodukt des erfindungsgemäßen Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 sind strukturierte Leiterbahnen aus auf einem Substrat aufgebrachter HTSL-Schicht und davon in Richtung senkrecht zur Substratoberfläche räumlich getrennte, dieser HTSL-Schicht gegenüber relativ höher liegender Isolatorschicht aus dotiertem HTSL. Dabei besteht das Substrat des erfindungsgemäßen Produktes vorzugsweise aus Strontiumtitanat ($SrTiO_3$) oder Lanthanaluminat ($LaAlO_3$), da sich auf diesem Substrat aufgrund eines besonders guten einkristallinen Wachstums hochwertige HTSL-Strukturen ausbilden; daneben ist als Substrat aber auch Yttriumstabilisiertes Zirkonoxid (YSZ) geeignet. Die Wahl des Substratmaterials ist aber keineswegs auf die hier genannten Materialien begrenzt. Vielmehr sind alle zum epitaktischen Wachstum HTSL-Schichten geeigneten Substratmaterialien einsetzbar.

Das Endprodukt des erfindungsgemäßen Verfahrens nach einem der Ansprüche 8 bis 10 sind strukturierte Leiterbahnen aus auf einem Substrat erhöht aufgebrachter HTSL-Schicht und tieferliegender Isolatorschicht aus dotiertem HTSL. Derartige Leiterbahnen sind zwar bekannt (vgl. D.K. Fork et al: Reaction patterning of $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ thin films on Si. Appl. Phys. Lett. 57(23), 1990, 2504), unterscheiden sich aber vom Endprodukt des erfindungsgemäßen Verfahrens dadurch, daß bei den erfindungsgemäßen strukturierten Leiterbahnen das Substrat aus einem für ein einkristallines Wachstum der supraleitenden Bahnen geeigneten Material besteht und die Erhöhungen von den die supraleitenden Bahnen tra-

genden Bereichen des Substrats gebildet werden. Demgegenüber besteht das Substrat bei den bekannten, erhöht aufgebrachten strukturierten Leiterbahnen aus einem als Dotierstoff geeigneten Substrat, so daß die Erhöhungen von einer, für das einkristalline Wachstum des HTSL geeigneten Unterlage gebildet wird.

Das Substrat des erfindungsgemäßen Produkts besteht vorzugsweise aus Strontiumtitanat ($SrTiO_3$), da sich auf diesem Substrat aufgrund eines besonders guten einkristallinen Wachstums hochwertige HTSL-Strukturen ausbilden; daneben ist als Substrat aber auch Lantanaluminat ($LaAlO_3$) oder Yttrium-stabilisiertes Zirkonoxid (YSZ) geeignet.

Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Verfahren und deren Endprodukte sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im folgenden näher erläutert.

In den Figuren 1 bis 4 sind die einzelnen Stufen des Herstellungsprozesses zum alternativen Verfahren gemäß Anspruch 1 bis 7 für die strukturierten Leiterbahnen schematisch dargestellt:

Gemäß Figur 1 wird auf Strontiumtitanat ($SrTiO_3$) als für das einkristalline Wachstum des HTSL geeignetes Substrat 1 in den für die supraleitenden Bahnen vorgesehenen Substratoberflächenbereichen 2 die Lackschicht 3 (Photolack AZ 1512) durch photolithographische Strukturierung einer auf der Gesamtoberfläche aufgebrachten Lackschicht hergestellt. Hierauf und auf den tieferliegenden lackfreien Substratbereichen 4 werden Substratmaterial 5 - in genügender Menge -sowie anschließend als Inhibitstoff 6 vorgesehenes SiO_2 nacheinander abgeschieden, wie in Figur 2 dargestellt.

In einem nachfolgenden Lift-off-Prozeß wird der Photolack mittels Aceton abgehoben. Die damit verbundene Entfernung der sich auf dem Photolack befindlichen Struktur aus abgeschiedenem Substratmaterial 5 und Inhibitstoff SIO2 führt zur Freilegung der zur Bildung der HTSL-Bahnen vorgesehenen Oberflächenbereichen (Figur 3).

In einem nächsten Verfahrensschritt erfolgt das epitaktische Wachstum der HTSL-Schicht 7 und 8. Die Diffusion des Inhibitstoffs 6 in den abgeschiedenen HTSL-Schichtbereichen 8 führt dort zu einer Vergiftung des HTSL-Materials zu einem Material mit isolierender Eigenschaft. Das epitaktische Wachstum in den Substratoberflächenbereichen 2 ergibt aufgrund der bis dahin erfolgte vertikale Strukturierung der Substratoberfläche ohne weiteres die erwünschte Leiterbahnenstruktur.

Für den Fall, daß die strukturierte Lackschicht 3 aus amorphem YBaCuO - im Bereich von Raumtemperatur -hergestellt wurde, kann $SrTiO_3$ als Substratmaterial epitaktisch, einkristallin bei hohen Temperaturen im Bereich von 800°C abgeschieden werden.

Im übrigen kann es zweckmäßig, oder vorteilhaft sein, als abzuscheidendes Substratmaterial 5 das Material des Substrates 1 zu wählen. Möglich ist allerdings auch die Wahl unterschiedlicher Materialien als Substrat 1 und abzuscheidendes Substratmaterial 5.

Eine weiter Möglichkeit liegt darin, auf der hergestellten HTSL-Leiterbahn 7 weiteres Material, vorzugsweise einer der vorher erwähnten Substratmaterialien, auf der Leiterbahn 7 abzuscheiden. Damit wird eine vollständige, die Leiterbahn abkapselnde Passivierung

erreicht. Im Ergebnis liegt dann eine im Substratmaterial vergrabene HTSL-Leiterbahn vor. Nachteilige Einflüsse von außen auf die Qualität der Leiterbahn können damit weiter herabgesetzt werden.

In der Figur 5a-d sind die einzelnen Stufen des Herstellungsprozeß zum alternativen Verfahren gemäß Anspruch 8 bis 10 für die sturkturierten Leiterbahnen schematisch dargestellt:

Gemäß Figur 5a wird auf Strontiumtitanat ($SrTiO_3$) als für das einkristalline Wachstum des HTSL geeignetes Substrat 11 in den für die supraleitenden Bahnen vorgesehenen Substratoberflächenbereiche 12 die Lackschicht 13 aufgetragen. Die tieferliegenden lackfreien Substratbereiche 14 werden durch Ionenätzen ↓ abgetragen, so daß die die Lackschicht 13 tragende Substratoberfläche 12 gegenüber den lackfreien Substratoberflächen 14 relativ erhöht ist. Als Substrat 11 können neben $SrTiO_3$ auch andere, für das epitaktische Wachstum des HTSL geeignete Substanzen, wie beispielsweise Zirkonoxid (ZrO_2) oder Lantanaluminat ($LaAlO_3$) verwendet werden.

Als nächstes wird laut Figur 5b auf die gesamte Oberfläche als Dotierstoff 15 Silizium aufgedampft. Anschließend wird die Lackschicht 13 mit dem darauf befindlichen Dotierstoff 15 wieder von der Substratoberfläche 12 abgehoben, so daß laut Figur 5c die erhöht liegende Substratoberfläche 12 für das epitaktische Wachstum des HTSL frei wird, während auf den Oberflächenbereichen der tieferliegenden Substratbereiche 14 das Silizium 15 verbleibt.

In Figur 5d ist schließlich das Endprodukt des erfindungsgemäßen Verfahrens nach Auftragen von $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ als HTSL gezeigt: Während sich auf den tieferliegenden Substratoberflächen 14 durch Diffusion des Siliziums 15 das $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ zum Isolator 16 entwickelt hat, ist auf der erhöhten Substratoberfläche 12 durch epitaktisches Wachstum des $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ die Leiterbahn 17 entstanden.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur Herstellung von strukturierten Leiterbahnen aus Hochtemperatursupraleiter- (HTSL) Schichten, bei dem auf die Oberfläche eines für ein einkristallines Wachstum der supraleitenden Bahnen geeigneten Substrates in den für die HTSL-Bahnen vorgesehenen Bereichen eine Lackschicht aufgebracht wird und anschliessend auf die gesamte Substratoberfläche ein Inhibit-Dotierstoff aufgedampft wird, der durch einen Lift-off der Lackmaske von den für die supraleitenden Bahnen vorgesehenen Oberflächenbereichen wieder abgehoben wird, so daß nach anschließender Deposition der HTSL-Schicht auf das Substrat bei gleichzeitiger oder nachfolgender Temperung der HTSL auf der dotierten Substratoberfläche durch Diffusion des Dotierstoffes zum Isolator wird und sich auf der undotierten Substratoberfläche durch epitaktisches Wachstum zu den supraleitenden Bahnen ausbildet,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß nach dem Auftragen der Lackschicht (3) auf die für die supraleitenden Bahnen vorgesehenen Substratoberflächenbereiche (2) soviel Substratmaterial in den lackfreien Substratbereichen (4) abgeschieden wird, daß die HTSL-Bahnen (7), die nach dem Aufdampfen der Inhibit-Dotierschicht (5) und dem anschließenden Lift-off der Lackmaske auf den dadurch freigelegten Substratoberflächenbereichen deponiert und durch epitaktisches Wachstum ausgebildet werden, isoliert von den dotierten, die Isolatorschicht (6) tragenden, nunmehr relativ höherliegenden Substratoberflächenbereiche (4) verlaufen.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß als HTSL $YBa_2CU_3O_{7-x}$ verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Abscheidung des Substratmaterials bei Raumtemperatur erfolgt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß amorphes Substratmaterial bei Raumtemperatur abgeschieden wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß das Substratmaterial in den lackfreien Substratbereichen bei Temperaturen im Bereich von 500°C - 850°C abgeschieden wird.

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß als abzuscheidendes Substratmaterial, das Material des die strukturierten Leiterbahnen tragenden Substrates gewählt wird.

7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß als Material für die zwecks Durchführung des Lift-Prozesses vorgesehene, strukturierte Lackschicht amorphes YBaCuO gewählt wird.

8. Verfahren zur Herstellung von strukturierten Leiterbahnen aus Hochtemperatursupraleiter-(HTSL)-Schichten,

bei dem auf die Oberfläche eines für ein einkristallines Wachstum der supraleitenden Bahnen geeigneten Substrates in den für die HTSL-Bahnen vorgesehenen Bereichen eine Lackschicht aufgebracht wird und anschließend auf die gesamte Substratoberfläche ein Inhibit-Dotierstoff aufgedampft wird, der durch einen Lift-off der Lackmaske von den für die supraleitenden Bahnen vorgesehenen Substratoberflächenbereichen wieder abgehoben wird, so daß nach anschließender Deposition der HTSL-Schicht auf das Substrat bei gleichzeitiger oder nachfolgender Temperierung der HTSL auf der dotierten Substratoberfläche durch Diffusion des Dotierstoffes zum Isolator wird und sich auf der undotierten Substratoberfläche durch epitaktisches Wachstum zu den supraleitenden Bahnen ausbildet,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß nach dem Auftragen der Lackschicht (13) auf die für die supraleitenden Bahnen vorgesehenen Substratoberflächenbereiche (12) die lackfreien Substratbereiche (14) durch Ätzen (↓) soweit abgetragen werden, daß die die Lackschicht (13) tragenden Substratoberflächenbereiche (12) relativ gegenüber den lackfreien Substratoberflächenbereichen (14) soweit erhöht sind, daß die nach dem Aufdampfen der Inhibit-Dotierschicht (15) und dem anschließenden Lift-off der Lackmaske deponierten und durch epitaktisches Wachstum ausgebildeten HTSL-Bahnen (17) auf der erhöhten Substrat-oberfläche (12) isoliert von den dotierten, die Isolatorschicht (16) tragenden Substratoberflächenbereichen (14) verlaufen.

9. Verfahren nach Anspruch 8,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß als HTSL $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ verwendet wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die lackfreien Substratbereiche (14) durch Ionenstrahlätzen (↓) abgetragen werden.

11. Strukturierte Leiterbahnen aus auf einem Substrat aufgebrachter HTSL-Schicht mit zwecks lateraler Begrenzung der Leiterbahnen vorgesehener Isolatorschicht,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die, die Leiterbahnen bildenden Substratoberflächenbereiche gegenüber den die zwecks Begrenzung der Leiterbahnen vorgesehenen Isolatorschicht tragenden Substratoberflächenbereichen soweit in Richtung senkrecht zur Substratoberfläche gegeneinander versetzt sind, daß die HTSL-Leiterbahnen seitlich von Substratmaterial begrenzt und von der auf den relativ erhöhten Substratoberflächenbereichen aufgebrachten Isolatorschicht räumlich getrennt sind.

12. Strukturierte Leiterbahnen nach Anspruch 11,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß auf den strukturierten Leiterbahnen zwecks Passivierung weiteres Substratmaterial aufgebracht ist.

13. Strukturierte Leiterbahnen nach Anspruch 11 oder 12,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß das Substrat (1) aus Strontiumtitanat ($SrTiO_3$), Lantanaluminat ($LaAlO_3$) oder Yttrium-stabilisiertem Zirkonoxid (YSZ) besteht.

14. Strukturierte Leiterbahnen nach einem der Ansprüche 11 bis 13,
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h
die HTSL-Leiterbahnen seitlich begrenzendes, epitaktisches Substratmaterial.

15. Strukturierte Leiterbahnen aus auf einem Substrat erhöht aufgebrachter HTSL-Schicht und tieferliegender Isolatorschicht aus dotiertem HTSL, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (11) aus einem für ein einkristallines Wachstum der supraleitenden Bahnen (17) geeigneten Material besteht und die Erhöhungen von den die supraleitenden Bahnen (17) tragenden Bereichen des Substrates (12) gebildet werden.

16. Strukturierte Leiterbahnen nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (11) aus Strontiumtitanat ($SrTiO_3$), Lantanaluminat ($LaAlO_3$) oder Yttrium-stabilisiertem Zirkonoxid (YSZ) besteht.

Fig. 1

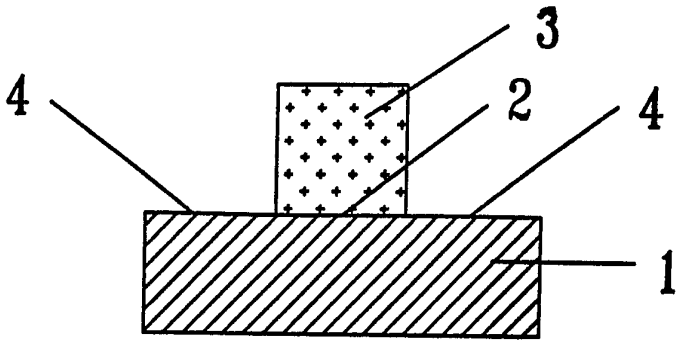


Fig. 2

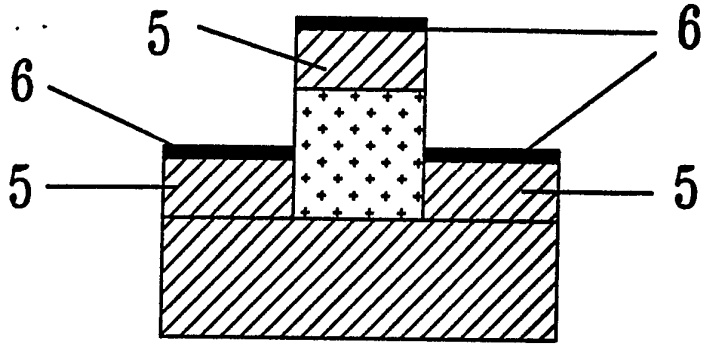


Fig. 3

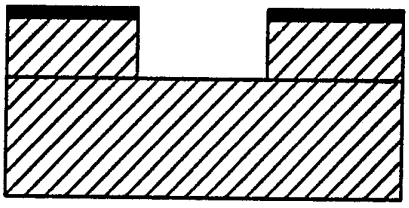
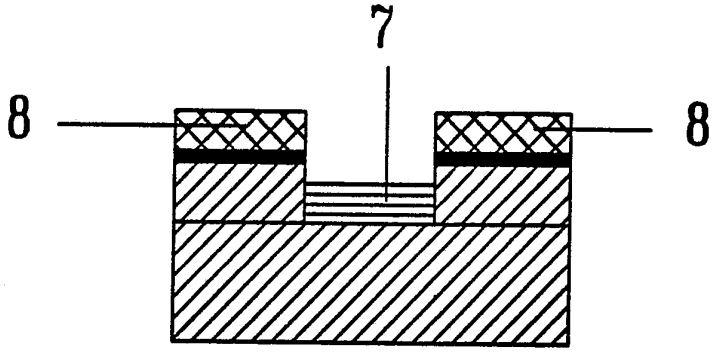


Fig. 4



$SrTiO_3$ (1)

Lift-off Material (3)

SiO_2 (6)

$YBa_2Cu_3O_7$ (7)

$YBa_2Cu_3O_7$ isolierend (8)

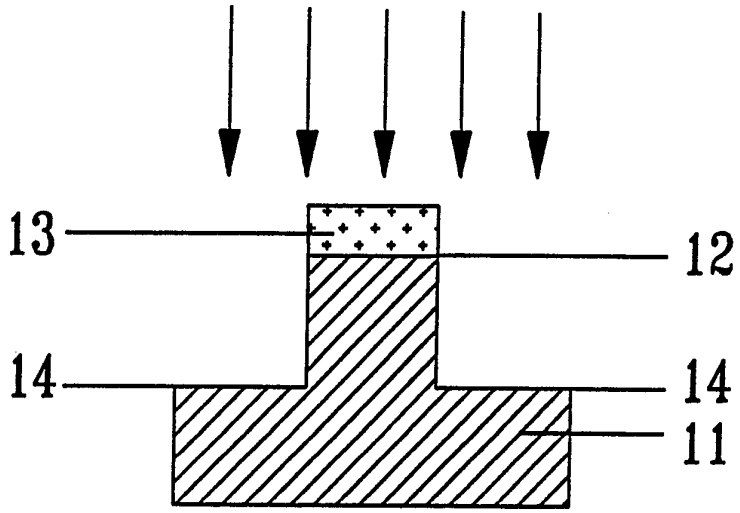


Fig. 5a

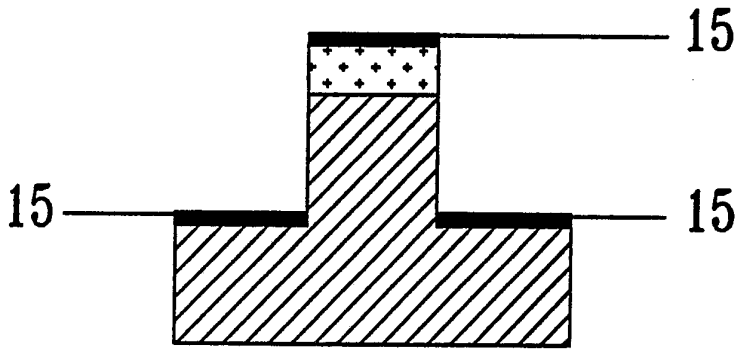


Fig. 5b

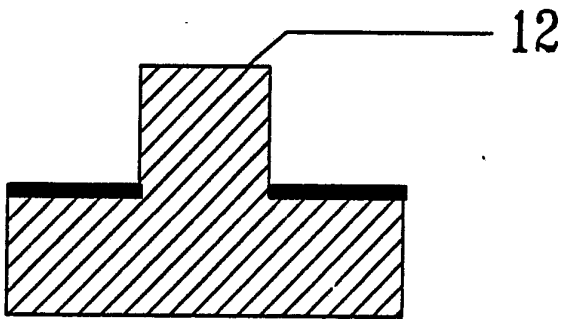


Fig. 5c

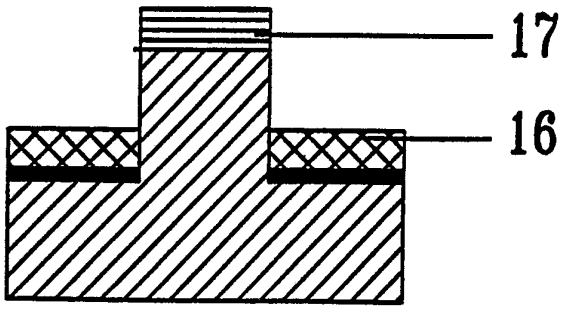


Fig. 5d

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/DE 92/00518

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.[5]: H 01 L 23/498; H 01 L 23/485

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)

Int.Cl.[5]: H 01 L

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 practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP, A, 0 346 494 (MITSUBISHI) 20 December 1989 see page 6, paragraph 2 - paragraph 3; claims 1,6 see page 8, paragraph 3 - page 9, paragraph 2	1,2,8,9, 11,13,16
A	EP, A, 0 358 879 (HEWLETT-PACKARD) 21 March 1990	
A	EP, A, 0 347 470 (MITSUBISHI) 27 December 1989	
A	EP, A, 0 325 408 (FUJITSU LTD.) 26 July 1989	
A	EP, A, 0 307 147 (AMERICAN TEL. AND TEL.) 15 March 1989	
A	EP, A, 0 338 631 (PHILIPS) 25 October 1989	

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family 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
28 July 1992 (28.07.92)	3 September 1992 (03.09.92)
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO. DE 9200518 SA 60814

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The members are as contained in the European Patent Office EDP file on 28/07/92
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
EP-A-0346494	20-12-89	JP-A-	1171247	06-07-89
		WO-A-	8906440	13-07-89
		US-A-	5019554	28-05-91
EP-A-0358879	21-03-90	JP-A-	2134882	23-05-90
EP-A-0347470	27-12-89	JP-A-	1171246	06-07-89
		WO-A-	8906441	13-07-89
		US-A-	5075200	24-12-91
EP-A-0325408	26-07-89	JP-A-	1183138	20-07-89
EP-A-0307147	15-03-89	US-A-	4837609	06-06-89
		CA-A-	1279935	05-02-91
		JP-A-	1099242	18-04-89
EP-A-0338631	25-10-89	NL-A-	8801032	16-11-89
		JP-A-	2015682	19-01-90
		US-A-	5104848	14-04-92

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

PCT/DE 92/00518

Internationales Aktenzeichen

I. KLASSIFIKATION DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (bei mehreren Klassifikationssymbolen sind alle anzugeben)[6]

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

Int.Kl. 5 H01L23/498; H01L23/485

II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff [7]

Klassifikationssytem	Klassifikationssymbole
Int.Kl. 5	H01L

Recherchierte nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen [8]

III. EINSCHLAGIGE VEROFFENTLICHUNGEN [9]

Art.°	Kennzeichnung der Veröffentlichung [11], soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile [12]	Betr. Anspruch Nr.[13]
A	EP,A,0 346 494 (MITSUBISHI) 20. Dezember 1989 siehe Seite 6, Absatz 2 -Absatz 3; Ansprüche 1,6 siehe Seite 8, Absatz 3 - Seite 9, Absatz 2	1,2,8,9, 11,13,16
A	EP,A,0 358 879 (HEWLETT-PACKARD) 21. März 1990	
A	EP,A,0 347 470 (MITSUBISHI) 27. Dezember 1989	
A	EP,A,0 325 408 (FUJITSU LTD.) 26. Juli 1989	
A	EP,A,0 307 147 (AMERICAN TEL. AND TEL.) 15. März 1989	
A	EP,A,0 338 631 (PHILIPS) 25. Oktober 1989	

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen [10] :

"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 ausgefuhrt)

"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 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 menreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

IV. BESCHEINIGUNG

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
28.JULI 1992	03. 09. 92
Internationale Recherchenbehörde	**Unterschrift des bevollmächtigten Bediensteten**
EUROPAISCHES PATENTAMT	DE RAEVE R.A.L.

ANHANG ZUM INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE INTERNATIONALE PATENTANMELDUNG NR. DE 9200518 SA 60814

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am 28/07/92
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP-A-0346494	20-12-89	JP-A-	1171247	06-07-89
		WO-A-	8906440	13-07-89
		US-A-	5019554	28-05-91
EP-A-0358879	21-03-90	JP-A-	2134882	23-05-90
EP-A-0347470	27-12-89	JP-A-	1171246	06-07-89
		WO-A-	8906441	13-07-89
		US-A-	5075200	24-12-91
EP-A-0325408	26-07-89	JP-A-	1183138	20-07-89
EP-A-0307147	15-03-89	US-A-	4837609	06-06-89
		CA-A-	1279935	05-02-91
		JP-A-	1099242	18-04-89
EP-A-0338631	25-10-89	NL-A-	8801032	16-11-89
		JP-A-	2015682	19-01-90
		US-A-	5104848	14-04-92

EPO FORM P0473