

(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
13. Mai 2004 (13.05.2004)

PCT

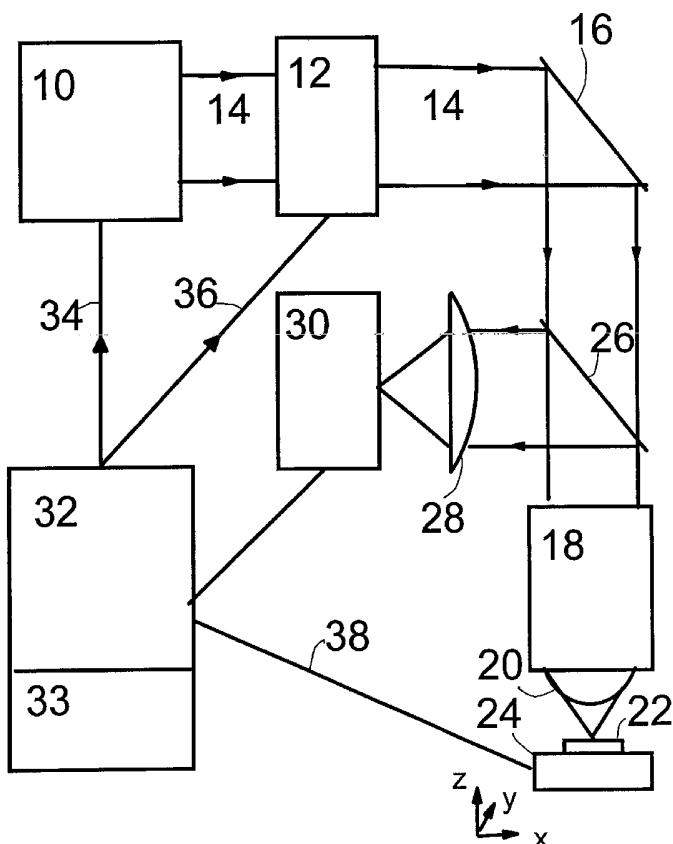
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/039530 A3

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B23K 26/03**, 26/36, 26/06
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/003530
- (22) Internationales Anmeldedatum: 23. Oktober 2003 (23.10.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 102 50 015.0 25. Oktober 2002 (25.10.2002) DE
- (71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): UNIVERSITÄT KASSEL [DE/DE]; 34109 Kassel (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): BAUMERT, Thomas [DE/DE]; Platanenallee 11, 34281 Gudensberg (DE). ASSION, Andreas [DE/DE]; Emilienstrasse 25, 34121 Kassel (DE). WOLLENHAUPT, Matthias [DE/DE]; Am Krümmershof 99, 34132 Kassel (DE).
- (74) Anwalt: REINHARDT, Thomas; Akazienweg 20, 34117 Kassel (DE).
- (81) Bestimmungsstaat (*national*): US.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ADAPTIVE, FEEDBACK-CONTROLLED MATERIAL PROCESSING USING ULTRA-SHORT LASER PULSES

(54) Bezeichnung: ADAPTIVE, RÜCKKOPPLUNGSGESTEUERTE MATERIALBEARBEITUNG MIT ULTRAKURZEN LASERPULSEN



(57) Abstract: The invention relates to material processing using laser pulses and to a method and device for the microstructured, ablative processing of material (22), said processing being achieved in one or more sequential process steps by individual laser pulses. (14). According to the invention, ultra-short laser pulses are shaped in a precise manner with the aid of a phase modulator (12), the material (22) is irradiated with said pulses and the quality of the working process that results from the irradiation is recorded and evaluated using computer technology (32). This can, for example, be carried out with the aid of a signal emitted by laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS). Said evaluation signal is evaluated by an optimisation algorithm and the information thus obtained is used immediately to calculate additional, potentially more suitable laser pulse forms, which are in turn set by the computer-controlled (34, 36) phase modulator (12). The material (22) is irradiated again with said new laser pulses (14), in such a way that the same conditions prevail on the material (22) as during the preceding pulse. The iteration is continued until an optimum efficiency is reached for the processing of the material.

WO 2004/039530 A3

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

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.

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(88) **Veröffentlichungsdatum des internationalen**

Recherchenberichts: 18. November 2004

(57) **Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung liegt auf dem Gebiet der Materialbearbeitung mit Laserpulsen. Sie betrifft Verfahren und Vorrichtung zur mikrostrukturierten, ablativen Bearbeitung von Material (22), wobei die Bearbeitung des Materials in einem oder mehreren aufeinander folgenden Prozessschritten durch einzelne Laserpulse (14) erfolgt. Erfindungsgemäß werden ultrakurze Laserpulse mit Hilfe eines Phasenmodulators (12) gezielt geformt, das Material (22) damit bestrahlt, und die Qualität des durch die Bestrahlung erfolgten Arbeitsprozesses computertechnisch (32) erfasst und bewertet. Dies kann beispielsweise mit Hilfe eines Signals aus der laserinduzierten breakdown-Spektroskopie (LIBS) durchgeführt werden. Erfindungsgemäß wird dieses Auswertesignal von einem optimierungsalgorithmen bewertet, und die gewonnene Information wird direkt zur Berechnung weiterer, möglicherweise geeigneterer Laserpulsformen benutzt, die iterativ wiederum durch den computergesteuerten (34, 36) Phasenmodulator (12) eingestellt werden. Diese neuen Laserpulse (14) werden wieder auf das Material (22) gestrahlt, und zwar so, dass die gleichen Bedingungen auf dem Material (22) vorherrschen, wie bei dem vorangegangenen Puls (14). Die Iteration wird solange fortgeführt, bis ein Optimum der Effizienz bei der Bearbeitung des Materials gefunden ist.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE 03/03530

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
IPC 7 B23K26/03 B23K26/36 B23K26/06		
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)		
IPC 7 B23K G01N		
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, 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.
Y	US 6 268 586 B1 (B.C. STUART ET AL) 31 July 2001 (2001-07-31) column 1, lines 27-30 column 5, lines 36-45; figures 5,6 -----	1-3, 10-11
Y	DE 43 20 408 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 22 December 1994 (1994-12-22) column 1, lines 3-27 column 3, line 38 - column 5, line 8; figures 1,2,3a-b -----	1-3, 10-11
Y	WO 01/83155 A (HANNOVER LASER ZENTRUM ; H. LUBATSCHOWSKI ET AL) 8 November 2001 (2001-11-08) the whole document ----- -/-	1-2, 10-11
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.
<p>° Special categories of cited documents :</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>		
<p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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.</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
27 April 2004		08.09.2004
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		Jeggy, T

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE 03/03530

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 969 335 A (H. KARASAKI) 19 October 1999 (1999-10-19) column 1, lines 8-13 column 1, lines 54-65 column 5, line 63 - column 8, line 46; figures 1-4 -----	1-2, 10-11
Y	WO 02/16070 A (NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA ; O. BOURNE ET AL) 28 February 2002 (2002-02-28) page 16, line 26 - page 17, line 15; figures 11a-c -----	3
A	US 5 720 894 A (J. NEEV ET AL) 24 February 1998 (1998-02-24) column 14, line 11 - column 15, line 18; figure 7 -----	1-3, 10-11
A	WO 95/27587 A (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MICHIGAN ; G.A. MOUROU ET AL) 19 October 1995 (1995-10-19) cited in the application the whole document -----	1,11
A	WO 00/67003 A (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA ; M.Y. ISHIKAWA ET AL) 9 November 2000 (2000-11-09) cited in the application the whole document -----	1,11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see the Supplemental Sheet

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

1-3, 10-11

Remark on Protest

The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.



No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE 03/03530

Continuation of Box II

The International Searching Authority has determined that this international application contains multiple (groups of) inventions, as follows:

1. Claims 1-3 and 10-11

Method and device for the microstructured ablative processing of materials.

2. Claims 4-11

Method and device for determining the efficiency of ultra-short laser pulses for material-specific ablation.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No PCT/DE 03/03530	
---	--

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 6268586	B1	31-07-2001	AU WO	3873699 A 9955487 A1	16-11-1999 04-11-1999
DE 4320408	A	22-12-1994	DE	4320408 A1	22-12-1994
WO 0183155	A	08-11-2001	DE AU WO EP US	10020559 A1 6590001 A 0183155 A1 1284839 A1 2003110862 A1	31-10-2001 12-11-2001 08-11-2001 26-02-2003 19-06-2003
US 5969335	A	19-10-1999	JP US	10085967 A 6097020 A	07-04-1998 01-08-2000
WO 0216070	A	28-02-2002	AU WO CA EP US	8740101 A 0216070 A2 2419944 A1 1358035 A2 2004094527 A1	04-03-2002 28-02-2002 28-02-2002 05-11-2003 20-05-2004
US 5720894	A	24-02-1998	AU CA EP JP US WO WO US	1823397 A 2215060 A1 0821570 A1 11504843 T 6150630 A 9726830 A1 9967048 A1 6621040 B1	20-08-1997 31-07-1997 04-02-1998 11-05-1999 21-11-2000 31-07-1997 29-12-1999 16-09-2003
WO 9527587	A	19-10-1995	US AT AU AU CA DE DE EP JP JP JP JP WO US	5656186 A 159880 T 684633 B2 2274195 A 2186451 A1 69500997 D1 69500997 T2 0754103 A1 3283265 B2 9511688 T 2002205179 A 9527587 A1 RE37585 E1	12-08-1997 15-11-1997 18-12-1997 30-10-1995 19-10-1995 11-12-1997 30-04-1998 22-01-1997 20-05-2002 25-11-1997 23-07-2002 19-10-1995 19-03-2002
WO 0067003	A	09-11-2000	AU WO US	4980800 A 0067003 A1 6414320 B1	17-11-2000 09-11-2000 02-07-2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

P D E 03/03530

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 B23K26/03 B23K26/36 B23K26/06

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 B23K G01N

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, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^a	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 6 268 586 B1 (B.C. STUART ET AL) 31. Juli 2001 (2001-07-31) Spalte 1, Zeilen 27-30 Spalte 5, Zeilen 36-45; Abbildungen 5,6 -----	1-3, 10-11
Y	DE 43 20 408 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 22. Dezember 1994 (1994-12-22) Spalte 1, Zeilen 3-27 Spalte 3, Zeile 38 - Spalte 5, Zeile 8; Abbildungen 1,2,3a-b -----	1-3, 10-11
Y	WO 01/83155 A (HANNOVER LASER ZENTRUM ; H. LUBATSCHOWSKI ET AL) 8. November 2001 (2001-11-08) das ganze Dokument ----- -/-	1-2, 10-11

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

^a 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 Anmeldeatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchebericht 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 Anmeldeatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldeatum 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 erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher 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 Rechercheberichts

27. April 2004

08. 09. 2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
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

Bevollmächtigter Bediensteter

Jeggy, T

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PO/DE 03/03530

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 5 969 335 A (H. KARASAKI) 19. Oktober 1999 (1999-10-19) Spalte 1, Zeilen 8-13 Spalte 1, Zeilen 54-65 Spalte 5, Zeile 63 - Spalte 8, Zeile 46; Abbildungen 1-4 -----	1-2, 10-11
Y	WO 02/16070 A (NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA ; O. BOURNE ET AL) 28. Februar 2002 (2002-02-28) Seite 16, Zeile 26 - Seite 17, Zeile 15; Abbildungen 11a-c -----	3
A	US 5 720 894 A (J. NEEV ET AL) 24. Februar 1998 (1998-02-24) Spalte 14, Zeile 11 - Spalte 15, Zeile 18; Abbildung 7 -----	1-3, 10-11
A	WO 95/27587 A (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MICHIGAN ; G.A. MOUROU ET AL) 19. Oktober 1995 (1995-10-19) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1,11
A	WO 00/67003 A (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA ; M.Y. ISHIKAWA ET AL) 9. November 2000 (2000-11-09) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1,11

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHTInternationales Aktenzeichen
PCT/DE 03/03530**Feld I Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)**

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein Recherchenbericht erstellt:

1. Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche die Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich

2. Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, daß eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich

3. Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefaßt sind.

Feld II Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, daß diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.

2. Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchengebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.

3. Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.

4. Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchengebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Der internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfaßt:
1-3, 10-11

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- Die zusätzlichen Gebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt.
 Die Zahlung zusätzlicher Recherchengebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN	PCT/ISA/ 210
	<p>Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:</p>
1. Ansprüche: 1-3,10-11	<p>Verfahren und Vorrichtung zur mikrostrukturierten ablativen Bearbeitung von Material ---</p>
2. Ansprüche: 4-11	<p>Verfahren und Vorrichtung zur Erfassen der Effizienz von ultrakurzen Laserpulsen für die materialspezifische Ablation ---</p>

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/03530

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 6268586	B1	31-07-2001	AU WO	3873699 A 9955487 A1		16-11-1999 04-11-1999
DE 4320408	A	22-12-1994	DE	4320408 A1		22-12-1994
WO 0183155	A	08-11-2001	DE AU WO EP US	10020559 A1 6590001 A 0183155 A1 1284839 A1 2003110862 A1		31-10-2001 12-11-2001 08-11-2001 26-02-2003 19-06-2003
US 5969335	A	19-10-1999	JP US	10085967 A 6097020 A		07-04-1998 01-08-2000
WO 0216070	A	28-02-2002	AU WO CA EP US	8740101 A 0216070 A2 2419944 A1 1358035 A2 2004094527 A1		04-03-2002 28-02-2002 28-02-2002 05-11-2003 20-05-2004
US 5720894	A	24-02-1998	AU CA EP JP US WO WO US	1823397 A 2215060 A1 0821570 A1 11504843 T 6150630 A 9726830 A1 9967048 A1 6621040 B1		20-08-1997 31-07-1997 04-02-1998 11-05-1999 21-11-2000 31-07-1997 29-12-1999 16-09-2003
WO 9527587	A	19-10-1995	US AT AU AU CA DE DE EP JP JP JP JP WO US	5656186 A 159880 T 684633 B2 2274195 A 2186451 A1 69500997 D1 69500997 T2 0754103 A1 3283265 B2 9511688 T 2002205179 A 9527587 A1 RE37585 E1		12-08-1997 15-11-1997 18-12-1997 30-10-1995 19-10-1995 11-12-1997 30-04-1998 22-01-1997 20-05-2002 25-11-1997 23-07-2002 19-10-1995 19-03-2002
WO 0067003	A	09-11-2000	AU WO US	4980800 A 0067003 A1 6414320 B1		17-11-2000 09-11-2000 02-07-2002