

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2012 年 12 月 27 日 (27.12.2012)



(10) 国际公布号
WO 2012/174768 A1

- (51) 国际专利分类号:
C23C 24/04 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2011/077738
- (22) 国际申请日: 2011 年 7 月 28 日 (28.07.2011)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201110172436.5 2011 年 6 月 24 日 (24.06.2011) CN
- (71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。中国人民解放军空军工程大学 (AIR FORCE ENGINEERING UNIVERSITY OF THE CHINESE PEOPLE'S LIBERATION ARMY) [CN/CN]; 中国陕西省西安市长乐东路甲字一号, Shaanxi 710038 (CN)。
- (72) 发明人: 及
- (75) 发明人/申请人 (仅对美国): 张永康 (ZHANG, Yongkang) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 202013 (CN)。李应红 (LI, Yinghong) [CN/CN]; 中国陕西省西安市长乐东路甲字一号, Shaanxi 710038 (CN)。戴峰泽 (DAI, Fengze)

[CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 202013 (CN)。任旭东 (REN, Xudong) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 202013 (CN)。汪诚 (WANG, Cheng) [CN/CN]; 中国陕西省西安市长乐东路甲字一号, Shaanxi 710038 (CN)。楚维 (CHU, Wei) [CN/CN]; 中国陕西省西安市长乐东路甲字一号, Shaanxi 710038 (CN)。何卫峰 (HE, Weifeng) [CN/CN]; 中国陕西省西安市长乐东路甲字一号, Shaanxi 710038 (CN)。周鑫 (ZHOU, Xin) [CN/CN]; 中国陕西省西安市长乐东路甲字一号, Shaanxi 710038 (CN)。阮亮 (RUAN, Liang) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 202013 (CN)。皇甫喆卓 (HUANGFU, Yongzhuo) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 202013 (CN)。张田 (ZHANG, Tian) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 202013 (CN)。

(74) 代理人: 南京经纬专利商标代理有限公司 (NANJING JINGWEI PATENT & TRADEMARK AGENCY CO.,); 中国江苏省南京市鼓楼区中山路 179 号 12 楼 B 座, Jiangsu 210005 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,

[见续页]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR MICRO-NANO PARTICLE IMPLANTING WITH LASER SHOCKWAVE INDUCTION

(54) 发明名称: 一种激光冲击波诱导的微纳米颗粒植入的方法和装置

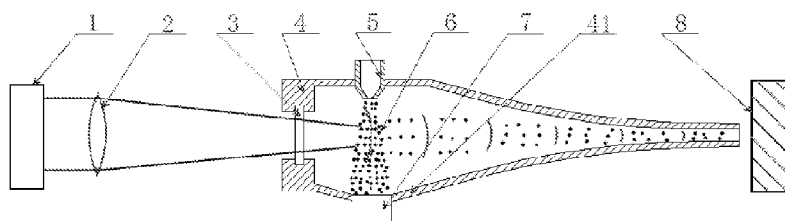


图 1 / Fig. 1

(57) Abstract: An apparatus for micro-nano particle implanting with laser shockwave induction comprises a laser (1), a focusing lens (2), a piece of optical glass (3), a Laval tube (4), a powder spraying system (5), a powder recycle system (7), and a nozzle (9). The laser (1) is aligned with the focusing lens (2). The optical glass (3) is mounted on the Laval tube (4) and the focal point thereof is located at the end with the larger diameter in the tube. The end with the smaller diameter of the Laval tube (4) is opened. The tube wall at the end with the larger diameter of the Laval tube (4) is provided with a local recession (41), and the powder recycle system (7) is mounted at the bottom of the local recession. The powder spraying system (5) is mounted opposite to the tube wall of the powder recycle system (7). The nozzle (9) is mounted at a 90-degree position of the tube wall, and the nozzle (9) points to the optical glass (3).

(57) 摘要: 一种基于激光冲击波诱导的微纳米颗粒植入装置, 包括激光器 (1)、聚焦透镜 (2)、光学玻璃 (3)、拉法尔管 (4)、喷粉系统 (5)、粉末回收系统 (7)、喷嘴 (9)。激光器 (1) 对准聚焦透镜 (2), 光学玻璃 (3) 安装于拉法尔管 (4) 上并且其焦点位于管内较大直径端, 拉法尔管 (4) 较小直径端开放, 拉法尔管 (4) 较大直径端管壁开设有局部凹陷 (41), 在局部凹陷底部安装有粉末回收系统 (7), 正对着粉末回收系统 (7) 的管壁处安装有喷粉系统 (5), 在管壁 90 度位置处安装有喷嘴 (9), 喷嘴 (9) 指向光学玻璃 (3)。



BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

(84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

说明书

发明名称：一种激光冲击波诱导的微纳米颗粒植入的方法和装置

技术领域

- [1] 本发明涉及一种金属材料表面改性的方法和装置，特指一种基于激光冲击波的微纳米颗粒植入的方法和装置，特别适用于在复杂工件表面局部进行表面强化的场合。

背景技术

- [2] 金属的表面性能对于结构件的硬度、耐磨和耐腐蚀性能至关重要，微纳米颗粒增强金属复合材料具有一系列优点，可以大大提高摩擦磨损性能，在金属表面原位生成微纳米颗粒增强复合材料一直以来都是材料科学研究热点，常用的方法主要有搅拌摩擦焊和激光熔覆等，这些方法都涉及高温融化过程，会对金属表面造成气孔、裂纹等缺陷，或者造成原有表面状态的变化。因此，发展一种新型的金属表面原位生成颗粒增强复合材料的方法具有重要意义和广阔的应用前景。

对发明的公开

技术问题

- [3] 本发明的目的在于提供一种激光冲击波诱导的微纳米颗粒植入的方法和装置，实施本发明的装置包括激光器、聚焦透镜、拉法尔加速管、喷粉系统、粉末回收系统和待处理金属，其原理是：高重复频率高能量超短脉冲激光与喷粉系统喷出的微纳米颗粒相互作用，使微纳米颗粒击穿形成等离子体，等离子体爆炸形成冲击波（等离子体内部可产生数个 GPa 的压强），冲击波推动部分微纳米颗粒沿拉法尔管轴线方向高速运动，后续的高重复频率脉冲激光不断辐照微纳米颗粒流，由于拉法尔效应，其产生的冲击波在拉法尔管中对前方运动的微纳米粒子不断加速，最后以极高的速度撞击待处理金属表面，使金属表面材料溅射，使微纳米颗粒植入待处理金属表面。

技术解决方案

- [4] 所述的高重复高能量超短脉冲激光器，其聚焦后能使工作介质击穿，重复频率

能达到数十赫兹。

[5] 所述的拉法尔管，其轴线处于水平位置，防止微纳米颗粒从管口散落；管壁具有较小粗糙度，以利于微纳米颗粒沿管壁加速；拉法尔管较大直径端安装有光学玻璃密封，用来透过激光束，使微纳米颗粒不会散落在环境中；拉法尔管管壁安装有喷嘴，喷嘴喷出压缩空气，用来保护光学玻璃不受微纳米颗粒的污染；拉法尔管管壁开设有局部凹陷特征，使未喷出的微纳米颗粒集中于局部凹陷特征底部；拉法尔管较小直径端开放，并指向待处理金属表面，其管壁安装有喷粉系统和粉末回收系统。正对于粉末回收系统（7）的管壁处安装有喷粉系统

[6] 所述的粉末回收系统，安装于局部凹陷特征底部，利于回收未喷出微纳米颗粒；粉末回收系统还对拉法尔管内部提供一定的负压，使初速度不够的微纳米颗粒在负压作用下被回收，而速度足够的微纳米颗粒沿轴线方向运动。

[7] 所述的喷粉系统，安装于正对粉末回收系统的管壁，用来喷出微纳米颗粒。

[8] 所述的微纳米颗粒，包括碳化钨、碳化硅、氧化铝等硬质颗粒，其尺度为1~100纳米或0.1~100微米。

[9] 本发明的优点是：

[10] 1) 激光等离子体产生的冲击波能量极高，能推动微纳米颗粒以很高速度运动。

[11] 2) 由于拉法尔效应，管中前方运动的微纳米颗粒由后方经聚焦的冲击波不断加速，可以达到极高的速度。

[12] 3) 由于拉法尔管管路足够长，而沿管路方向始终有微纳米颗粒，因此，激光的利用率几乎为100%。

[13] 4) 对速度不够的微纳米颗粒具有一定的筛选作用，从而获得动能足够的微纳米颗粒撞击待处理金属表面

[14] 5) 可以对复杂工件表面任何区域进行微纳米颗粒植入。

附图说明

[15] 下面结合附图对本发明作进一步说明：

[16] 图1为本发明激光冲击波诱导的微纳米颗粒植入装置的结构示意图，图2为图1

的俯视图。

- [17] 1-激光器2-聚焦透镜3-光学玻璃4-拉法尔管5-喷粉系统 6-微纳米颗粒7-粉末回收系统41-局部凹陷特征 8-待处理金属 9-喷嘴

本发明的实施方式

- [18] 下面结合附图详细说明本发明提出的具体装置的细节和工作情况。

- [19] 如图1所示，拉法尔管4处于横置状态；喷嘴9喷出压缩空气；喷粉系统5喷出微纳米颗粒6，粉末回收系统7在拉法尔管4的局部凹陷特征41处回收未喷出的微纳米颗粒6；激光器1发出高重复频率高能量超短脉冲激光，经聚焦透镜2聚焦，透过光学玻璃3，与微纳米颗粒流6相互作用，使微纳米颗粒6击穿，产生等离子冲击波（等离子体内部可产生数个GPa的压强），冲击波推动部分微纳米颗粒6沿拉法尔管4高速运动，后续的脉冲激光跟微纳米粒子6作用，产生脉冲激光冲击波，不断推动前方微纳米颗粒6向前运动，在拉法尔效应作用下，前方微纳米颗粒6得到不断加速，最后以极高的速度撞击待处理金属8表面，使待处理金属表面8的材料溅射，微纳米颗粒6植入到待处理金属8表面，形成微纳米颗粒表面强化层。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种激光冲击波诱导的微纳米颗粒植入的方法和装置，其特征为：
包括激光器（1）、聚焦透镜（2）、光学玻璃（3）、拉法尔管（4）、喷粉系统（5）、微纳米颗粒（6）、粉末回收系统（7）、待处理金属（8）及喷嘴（9）；激光器（1）对准聚焦透镜（2）；光学玻璃（3）安装于拉法尔管，其焦点位于拉法尔管（4）内，（4）较大直径端，拉法尔管（4）较小直径端开放，并指向被处理金属（8）；拉法尔管（4）较大直径端管壁开设有局部凹陷特征（41），在局部凹陷特征底部安装有并且装有粉末回收系统（7），正对于粉末回收系统（7）的管壁处安装有喷粉系统（5），在管壁90度位置安装有喷嘴（9），喷嘴指向光学玻璃（3）；微纳米颗粒（6）从喷粉系统（5）喷出。
- [权利要求 2] 根据权利1所要求激光冲击波诱导的微纳米颗粒植入的方法和装置，其特征为：拉法尔管（4）轴线处于水平位置，防止微纳米颗粒从管口散落；拉法尔管（4）管壁具有较小粗糙度，以利于微纳米颗粒（6）沿管壁加速；拉法尔管（4）较大直径端安装有光学玻璃（3）密封，用来透过激光束，使微纳米颗粒（6）不会在散落在环境中；拉法尔管（4）管壁安装有喷嘴（9），喷嘴（9）喷出压缩空气，用来保护光学玻璃（3）不受微纳米颗粒（6）的污染；拉法尔管（4）管壁开设有局部凹陷特征（41），使未喷出的微纳米颗粒（6）集中于局部凹陷特征（41）底部；拉法尔管（4）较小直径端开放，并指向待处理金属（8）表面。
- [权利要求 3] 根据权利2所要求拉法尔管（4），其特征为：拉法尔管（4）的长度足够长，在聚焦后的激光束前方始终有微纳米颗粒（6）存在，因此激光的利用率高。
- [权利要求 4] 根据权利1所要求激光冲击波诱导的微纳米颗粒植入的方法和装置，其特征为：激光器（1）为高重复频率高能超短脉冲激光器；微纳米颗粒（5）包括碳化钨、碳化硅、氧化铝等硬质颗粒，其尺度

为1~100纳米或0.1~100微米。

[权利要求 5]

根据权利1所要求的激光冲击波诱导的微纳米颗粒植入的方法和装置，其特征为：微纳米颗粒（6）在激光冲击波作用下，在拉法尔管（4）内由于拉法尔效应被不断加速，并高速冲向待处理金属（8）的表面，在撞击区域引起材料的溅射，使微纳米颗粒（6）焊接在工件表面，获得纳米颗粒植入强化层。

[权利要求 6]

根据权利1所要求激光冲击波诱导的微纳米颗粒植入的方法和装置，其特征为：粉末回收系统（7）对拉法尔管（4）内部提供一定的负压，使初速度不够的微纳米颗粒（6）在负压作用下被回收，而速度足够的微纳米颗粒沿轴线方向运动。粉末回收系统（7）安装于局部凹陷特征（41）底部，利于微纳米颗粒（6）的回收。

附 图

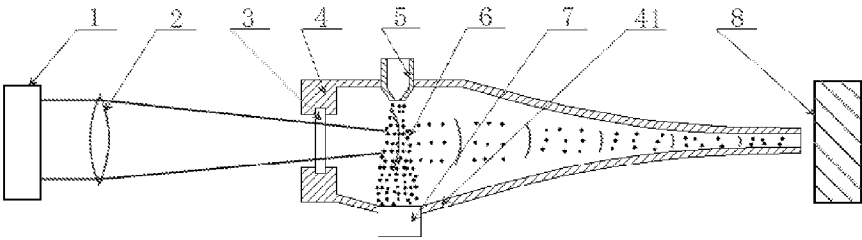


图 1

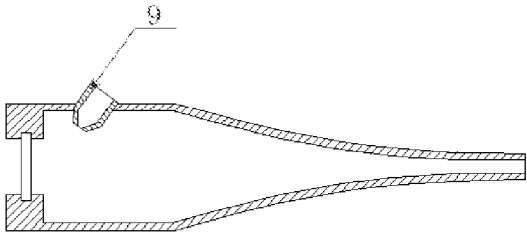


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2011/077738**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

C23C 24/04 (2006.01) i

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: C23C

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)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: power injection, nanocrystallization, laser, shock, peen, induc+, pipe, tube, duct, conduit, tubing, nozzle, jet, spray, glass, lens, powder, particle

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6713716 B1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY), 30 March 2004 (30.03.2004), claims 1-3 and 7, column 3, line 48 to column 4, line 23, and figure 1	1-6
A	US 3756344 A (CORNELL AERONAUTICAL LABORATORY), 04 September 1973 (04.09.1973), column 1, line 61 to column 2, line 39, and figure 1	1-6
A	CN 101701282 A (JIANGSU UNIVERSITY), 05 May 2010 (05.05.2010), claims 1-6, and figure 1	1-6
A	EP 0549747 B1 (PLASMAINVENT AG), 28 August 1996 (28.08.1996), the whole document	1-6
A	US 6649866 B2 (JENOPTIK AUTOMATISIERUNGSTECH GMBH), 18 November 2003 (18.11.2003), the whole document	1-6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 13 March 2012 (13.03.2012)	Date of mailing of the international search report 29 March 2012 (29.03.2012)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer LI, Jiagang Telephone No.: (86-10) 62084094

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2011/077738

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
US 6713716 B1	2004-03-30	EP 1481753 A1	2004-12-01
		EP 1481753 B1	2011-08-03
		JP 2004360072 A	2004-12-24
		JP 4656861 B2	2011-03-23
		CN 1572891 A	2005-02-02
		CN 100406586 C	2008-07-30
US 3756344 A	1973-09-04	None	
CN 101701282 A	2010-05-05	CN 101701282 B	2011-09-14
EP 0549747 B1	1996-08-28	WO 9300171 A1	1993-01-07
		DE 4120790 A1	1993-01-14
		EP 0549747 A1	1993-07-07
		JPH 06503040 A	1994-04-07
		US 5321228 A	1994-06-14
		AT 141833 T	1996-09-15
		DE 59207001 G	1996-10-02
US 6649866 B2	2003-11-18	EP 1256413 A1	2002-11-13
		EP 1256413 B1	2006-05-03
		JP 2002336986 A	2002-11-26
		JP 3989278 B2	2007-10-10
		US 2002179582 A1	2002-12-05
		DE 10123097 A1	2002-12-19
		DE 10123097 B4	2005-06-09
		DE 10123097 B8	2006-05-04
		DE 50206621 G	2006-06-08
		AT 324959 T	2006-06-15

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2011/077738

A. 主题的分类

C23C 24/04 (2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: C23C

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 激光, 冲击, 管, 透镜, 玻璃, 喷嘴, 喷粉, 颗粒, 粉末, 纳米化, laser, shock, peen, induc+, pipe, tube, duct, conduit, tubing, nozzle, jet, spray, glass, lens, powder, particle

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	US6713716 B1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 30.3 月 2004 (30.03.2004) 权利要求 1-3 和 7, 第 3 栏 48 行至第 4 栏 23 行, 图 1	1-6
A	US3756344 A (CORNELL AERONAUTICAL LABORATORY) 04.9 月 1973(04.09.1973) 第 1 栏 61 行至第 2 栏 39 行, 图 1	1-6
A	CN101701282 A (江苏大学) 05.5 月 2010 (05.05.2010) 权利要求 1-6, 图 1	1-6
A	EP0549747 B1 (PLASMAINVENT AG) 28.8 月 1996 (28.08.1996) 全文	1-6
A	US6649866 B2 (JENOPTIK AUTOMATISIERUNGSTECH GMBH) 18.11 月 2003 (18.11.2003) 全文	1-6

☐ 其余文件在 C 栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期
13.3 月 2012 (13.03.2012)

国际检索报告邮寄日期
29.3 月 2012 (29.03.2012)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:
中华人民共和国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088
传真号: (86-10)62019451

受权官员

李家刚
电话号码: (86-10) **62084094**

国际检索报告

关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2011/077738

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
US6713716 B1	2004-03-30	EP1481753 A1	2004-12-01
		EP1481753 B1	2011-08-03
		JP2004360072 A	2004-12-24
		JP4656861 B2	2011-03-23
		CN1572891 A	2005-02-02
		CN100406586 C	2008-07-30
US3756344 A	1973-09-04	无	
CN101701282 A	2010-05-05	CN101701282 B	2011-09-14
EP0549747 B1	1996-08-28	WO9300171 A1	1993-01-07
		DE4120790 A1	1993-01-14
		EP0549747 A1	1993-07-07
		JPH06503040 A	1994-04-07
		US5321228 A	1994-06-14
		AT141833 T	1996-09-15
		DE59207001 G	1996-10-02
US6649866 B2	2003-11-18	EP1256413 A1	2002-11-13
		EP1256413 B1	2006-05-03
		JP2002336986 A	2002-11-26
		JP3989278 B2	2007-10-10
		US2002179582 A1	2002-12-05
		DE10123097 A1	2002-12-19
		DE10123097 B4	2005-06-09
		DE10123097 B8	2006-05-04
		DE50206621 G	2006-06-08
		AT324959 T	2006-06-15