

(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 10 月 26 日 (26.10.2012)



(10) 国际公布号
WO 2012/142781 A1

- (51) 国际专利分类号:
H01L 29/78 (2006.01) *H01L 29/43* (2006.01)
H01L 29/36 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2011/074686
- (22) 国际申请日: 2011 年 5 月 26 日 (26.05.2011)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201110098730.6 2011 年 4 月 20 日 (20.04.2011) CN
- (71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): 北京大学 (PEKING UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国北京市海淀区颐和园路 5 号, Beijing 100871 (CN)。
- (72) 发明人; 及
- (75) 发明人/申请人 (仅对美国): 黄如 (HUANG, Ru) [CN/CN]; 中国北京市海淀区颐和园路 5 号北京大学微电子研究所, Beijing 100871 (CN)。 詹瞻 (ZHAN, Zhan) [CN/CN]; 中国北京市海淀区颐和园路 5 号北京大学微电子研究所, Beijing 100871 (CN)。 黄芊芊 (HUANG, Qianqian) [CN/CN]; 中国北京市海淀区颐和园路 5 号北京大学微电子研究所, Beijing 100871 (CN)。 王阳元 (WANG, Yangyuan) [CN/CN]; 中国北京市海淀区颐和园路 5 号北京大学微电子研究所, Beijing 100871 (CN)。
- (74) 代理人: 北京君尚知识产权代理事务所 (普通合伙) (BEIJING JOYSHINE INTELLECTUAL

PROPERTY OFFICE); 中国北京市海淀区北四环西路 68 号左岸工社 1316-1317 室, Beijing 100080 (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, 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。

(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, 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)。

根据细则 4.17 的声明:

— 发明人资格(细则 4.17(iv))

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

(54) Title: TUNNELING CURRENT AMPLIFYING TRANSISTOR

(54) 发明名称: 隧穿电流放大晶体管

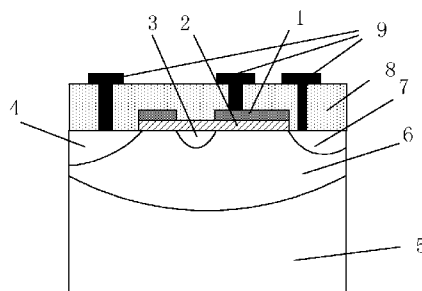


图 1 / Fig.1

(57) Abstract: Provided is a tunneling current amplifying transistor, and the transistor belongs to the field of a field-effect transistor (FET) logic device of the complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) ultra-large scale integrated circuit (ULSI). The tunneling current amplifying transistor comprises a semiconductor substrate (5), a gate dielectric layer (2), an emitter (4), a drain electrode (7), a floating tunneling base (3) and a control gate (1); the drain electrode, the floating tunneling base and the control gate constitute a conventional tunneling FET (TFET) structure; the doping type of the emitter is opposite to that of the floating tunneling base, and the location of the emitter relative to the drain electrode is on the other side of the floating tunneling base; and the type of the semiconductor between the emitter and the floating tunneling base is the same as that of the floating tunneling base. Compared with the existing TFET, the tunneling current amplifying transistor of the present invention can effectively improve conduction current and driving ability of the device.

[见续页]



(57) 摘要:

提供了一种隧穿电流放大晶体管，该晶体管属于互补型金属氧化物半导体（CMOS）超大规模集成电路（ULSI）中场效应晶体管（FET）逻辑器件领域。该隧穿电流放大晶体管包括半导体衬底（5）、栅介质层（2）、发射极（4）、漏极（7）、浮空隧穿基极（3）和控制栅（1）；漏极、浮空隧穿基极和控制栅构成一个常规的隧穿 FET（TFET）结构；发射极的掺杂类型和浮空隧穿基极相反，发射极的位置相对于漏极在浮空隧穿基极的另一侧；并且发射极与浮空隧穿基极之间的半导体类型与浮空隧穿基极相同。与现有的 TFET 相比，本发明隧穿电流放大晶体管可以有效地提高器件的导通电流和器件的驱动能力。

隧穿电流放大晶体管

技术领域

本发明属于 CMOS 超大规模集成电路 (ULSI) 中场效应晶体管逻辑器件领域，具体涉及一种利用 PN 结放大带带隧穿电流的场效应晶体管——隧穿电流放大晶体管。

背景技术

集成电路50多年来的发展可以以摩尔总结的规律来描述，而未来集成电路产业与系统发展的驱动力应当是降低功耗，即不以提高集成度为技术节点，而以提高性能/功耗比为标尺。当集成电路的功耗成为不可忽视的问题的时候，以低功耗设计为宗旨的绿色纳米器件便应运而生。传统MOSFET，因为受到热电势的限制，亚阈值斜率理论极限是60mV/dec，而且随着器件尺寸的降低，阈值电压降低，器件的静态漏泄电流不可避免地恶化，引起静态功耗增加，因此已经不能满足以后低功耗设计的需要。TFET (Tunneling FET)通过栅电极控制沟道能带位置，利用带带隧穿为TFET提供导通电流。这种不同于MOSFET的载流子产生机制克服了源端载流子费米分布对亚阈值特性的限制，可以进一步降低器件亚阈值斜率，降低器件静态漏泄电流进而降低器件静态功耗。但是由于存在隧穿势垒，隧穿效率的低下始终是一个难以克服的难题。窄禁带半导体的应用虽然克服了隧穿电流大小的问题，但是随之而来的漏泄电流，以及新材料带来的成本的提高都是其大规模应用的屏障。

发明内容

本发明的目的在于提供一种隧穿电流放大晶体管，该器件同时具备低漏泄电流、陡直亚阈斜率、高导通电流等优点。

本发明提供的隧穿电流放大晶体管，包括半导体衬底、栅介质层、发射极、漏极、浮空隧穿基极以及控制栅，其中：所述漏极、浮空隧穿基极和控制栅构成一个常规的 TFET 结构，而发射极的掺杂类型与浮空隧穿基极相反。这样发射极可以提供另一种载流子来放大浮空隧穿基极的电流。

所述发射极位置一般相对于漏极在浮空隧穿基极的另一侧。一般来说发射极与浮空隧穿基极之间的半导体类型需要与浮空隧穿基极相同，这可以通过选择合适的半导体衬底类型，也可以通过阱注入来实现，掺杂浓度一般不超过 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 。

所述浮空隧穿基极一般采用重掺杂以提供高的隧穿效率，发射极也采用重掺杂以提供高

的电流放大能力。

所述栅介质层材料为二氧化硅或其他绝缘材料。

本发明可以应用于硅基半导体材料，也可以应用于其他半导体材料，比如锗、砷化镓、磷化铟。也可以在器件的某一块采用其他半导体材料来形成异质结。

本发明隧穿电流放大晶体管是利用 PN 结放大带带隧穿电流，以 N 型器件为例，随着栅电压的增加，浮空隧穿基极与沟道之间电场增加，在强场作用下，浮空隧穿基极价带中的电子开始向沟道导带隧穿。这种隧穿过程向浮空隧穿基极注入空穴电流，同时向沟道注入电子电流。在隧穿电流比较小的时候，向浮空隧穿基极注入的空穴电流在发射极被复合，空穴电流再次被转换成电子电流。当隧穿电流比较大的时候，浮空隧穿基极注入的空穴会在发射极引入一定放大倍数的电子电流。放大倍数大致等于发射结两端的掺杂浓度之比。引入的电子电流会漂移到漏极被漏极收集，从而增加了导通电流大小。当栅电压归零的时候，隧穿电流被抑制，从而浮空隧穿基极注入空穴电流被截断，器件立即进入关态。

与现有的 TFET 相比，本发明隧穿电流放大晶体管可以有效的提高器件导通电流，提高器件的驱动能力。

附图说明

图 1 为本发明提出的隧穿电流放大晶体管结构示意图。

图 2a~图 2f 为制备本发明隧穿电流放大晶体管的主要工艺步骤，其中：

图 2a 显示了有源区阱注入并推进的工艺过程；

图 2b 显示了发射极与漏极注入的工艺过程；

图 2c 显示了光刻浮空隧穿基极注入窗口工艺过程；

图 2d 显示了刻蚀多晶硅并且进行浮空隧穿基极注入；

图 2e 显示了结激活过程；

图 2f 为最终形成的隧穿电流放大晶体管结构示意图。

图中，1——多晶硅栅；2——栅氧化层；3——浮空隧穿基极；4——发射极；5——半导体衬底；6——阱；7——漏极；8——二氧化硅层；9——金属接触电极；10——光刻胶。

具体实施方式

以下结合附图，通过具体的实施例对本发明所述的隧穿电流放大晶体管的实施方法做进一步的说明

具体实施步骤如图 2a~图 2f 所示：

- 1, 在半导体衬底 5 上生长栅氧化层（即栅介质层）2，淀积氮化硅光刻有源区，然后进行阱注入，接着进行阱推进，形成阱 6，如图 2a 所示（阱的目的是提供发射极与浮空隧穿基极之间所需要的半导体材料，如果半导体衬底本身满足需要，那么可以省略阱注入这一工艺步骤）。
- 2, 淀积多晶硅，多晶硅注入，然后光刻并刻蚀多晶硅，形成发射极与漏注入窗口，以多晶硅栅 1 为硬掩膜进行发射极 4 与漏极 7 的注入，如图 2b 所示。
- 3, 涂光刻胶 10，然后光刻出浮空隧穿基极的注入窗口，如图 2c 所示。
- 4, 刻蚀多晶硅栅 1，然后进行浮空隧穿基极 3 注入，如图 2d 所示。
- 5, 去胶，然后高温激活发射极 4、漏极 7 以及浮空隧穿基极 3 掺杂的杂质，如图 2e 所示。
- 6, 全片淀积二氧化硅层 8，光刻接触孔，然后溅射金属，光刻出发射极、漏极、栅接触电极 9，最终形成隧穿电流放大晶体管，如图 2f 所示。

虽然本发明已以较佳实施例披露如上，然而并非用以限定本发明。任何熟悉本领域的技术人员，在不脱离本发明技术方案范围情况下，都可利用上述揭示的方法和技术内容对本发明技术方案作出许多可能的变动和修饰，或修改为等同变化的等效实施例。因此，凡是未脱离本发明技术方案的内容，依据本发明的技术实质对以上实施例所做的任何简单修改、等同变化及修饰，均仍属于本发明技术方案保护的范围内。

权 利 要 求 书

1、一种隧穿电流放大晶体管，其特征在于，包括半导体衬底、栅介质层、发射极、漏极、浮空隧穿基极和控制栅，所述漏极、浮空隧穿基极和控制栅构成一个 TFET 结构，而发射极的掺杂类型与浮空隧穿基极相反。

2、如权利要求 1 所述的隧穿电流放大晶体管，其特征在于，发射极的位置相对于漏极在浮空隧穿基极的另一侧。

3、如权利要求 2 所述的隧穿电流放大晶体管，其特征在于，发射极与浮空隧穿基极之间的半导体类型与浮空隧穿基极相同，该发射极与浮空隧穿基极之间的半导体的掺杂浓度不高于 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 。

4、如权利要求 1 所述的隧穿电流放大晶体管，其特征在于，该器件采用硅基、锗基、砷化镓基或磷化铟基半导体材料实现。

5、如权利要求 1 所述的隧穿电流放大晶体管，其特征在于，所述栅介质层采用二氧化硅。

1/3

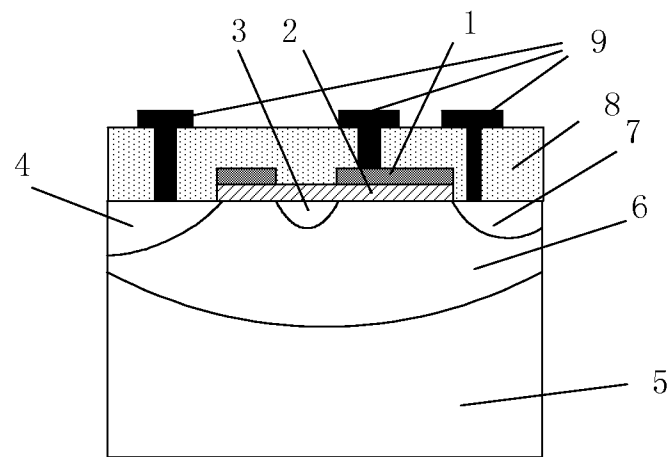


图 1

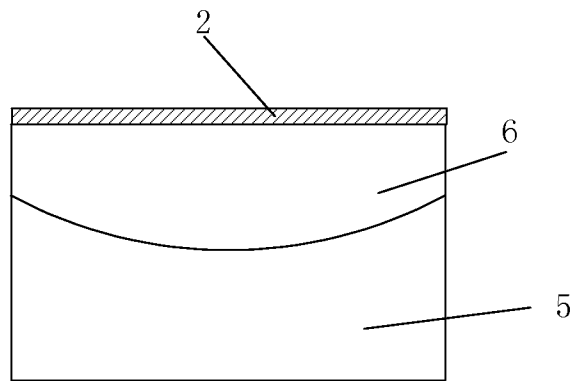


图 2a

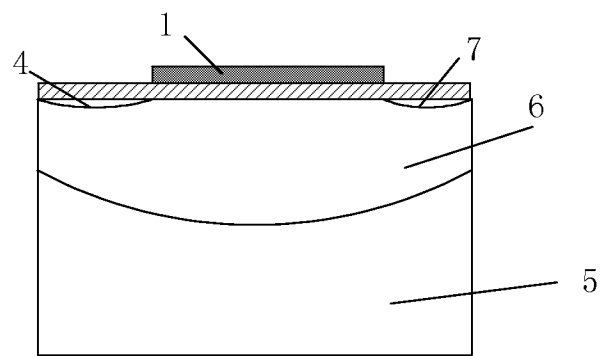


图 2b

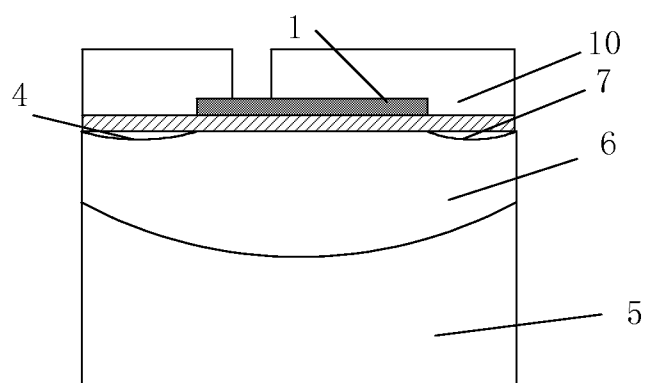


图 2c

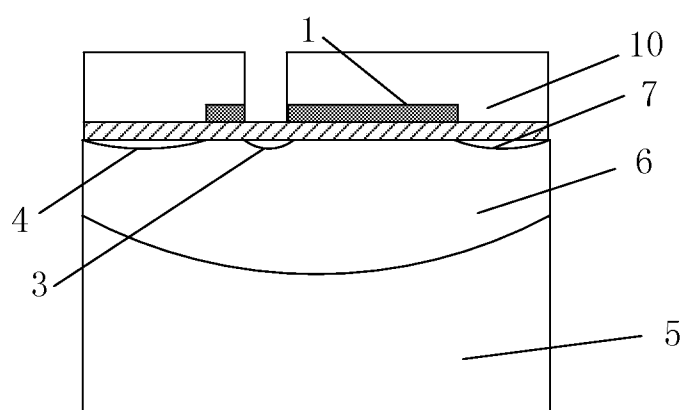


图 2d

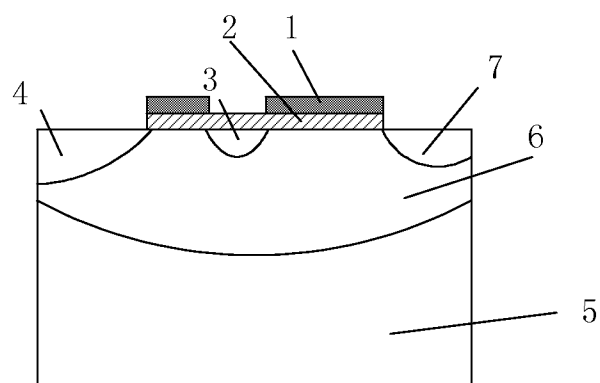


图 2e

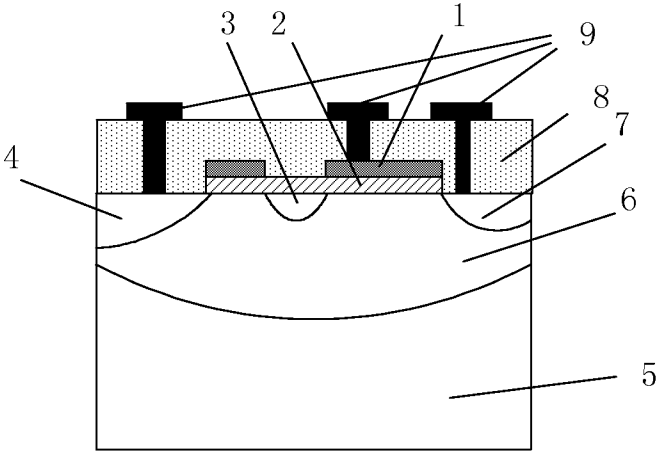


图 2f

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2011/074686

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

See extra sheet

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: H01L21/-, H01L 29/-

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: TFET, FET, TUNNEL+, FIELD+, EFFECT, TRANSISTOR, CURRENT, AMPLIFY+, PN, JUNCTION, BIPOLAR, EMITTER, BASE, DRAIN, GATE

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US5898613A (CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 27Apr.1999 (27.04.1999)	1-2, 4-5
A	claim 1, column 6 line 34 to column 8 line 16 of the specification, figures 6A-6B	3
X	US2008/0175050A1 (ALBERTO PESAVENTO, et al.) 24 Jul.2008(24.07.2008)	1-2, 4-5
A	claim 1, paragraphs [0035] and [0039] of the specification, figure 1B	3

☐ 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 20 Jan.2012 (20.01.2012)	Date of mailing of the international search report 01 Mar. 2012 (01.03.2012)
---	--

Name and mailing address of the ISA/CN
The State Intellectual Property Office, the P.R.China
6 Xitucheng Rd., Jimen Bridge, Haidian District, Beijing, China
100088
Facsimile No. 86-10-62019451

Authorized officer

WANG Yan

Telephone No. (86-10)62411800

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2011/074686

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
US5898613A	27.04.1999	US5825063A	20.10.1998
		US5875126A	23.02.1999
		US5914894A	22.06.1999
		US5986927A	16.11.1999
		US5990512A	23.11.1999
		US6125053A	26.09.2000
		US6144581A	07.11.2000
		US6452835B	17.09.2002
		US2003206437A	06.11.2003
		US6965142B	15.11.2005
		US2005099859A	12.05.2005
		US7098498B	29.08.2006
		US2005104118A	19.05.2005
		US7548460A	16.06.2009
		US2005104119A	19.05.2005
US2008/0175050A1	24.07.2008	US2005063235A	24.03.2005
		US7221596B	22.05.2007
		WO2005109437A	17.11.2005
		US2006023550A	02.02.2006
		US7283390B	16.10.2007
		US2008205150A	28.08.2008

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2011/074686

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 29/78 (2006.01) i

H01L 29/36 (2006.01) n

H01L 29/43 (2006.01) n

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2011/074686

A. 主题的分类

参见附加页

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: H01L21/-, H01L 29/-

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: 隧穿、穿隧、隧道、晶体管、晶闸管、TFET、基极、发射极、漏极、栅、双极、PN
 WPI,EPODOC:TFET, FET, TUNNEL+, FIELD+, EFFECT, TRANSISTOR, CURRENT, AMPLIFY+, PN, JUNCTION,
 BIPOLAR, EMITTER, BASE, DRAIN, GATE

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
X	US5898613A (CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 27.4 月 1999 (27.04.1999) 权利要求 1、说明书第 6 栏 34 行至第 8 栏 16 行、附图 6A-6B	1-2, 4-5
A		3
X	US2008/0175050A1 (ALBERTO PESAVENTO, et al.) 24.7 月 2008 (24.07.2008)	1-2, 4-5
A	权利要求 1、说明书第[0035]和[0039]段、附图 1B	3



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

20.1 月 2012 (20.01.2012)

国际检索报告邮寄日期

01.3 月 2012 (01.03.2012)

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

王燕

电话号码: (86-10) 62411800

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2011/074686

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
US5898613A	27.04.1999	US5825063A	20.10.1998
		US5875126A	23.02.1999
		US5914894A	22.06.1999
		US5986927A	16.11.1999
		US5990512A	23.11.1999
		US6125053A	26.09.2000
		US6144581A	07.11.2000
		US6452835B	17.09.2002
		US2003206437A	06.11.2003
		US6965142B	15.11.2005
		US2005099859A	12.05.2005
		US7098498B	29.08.2006
		US2005104118A	19.05.2005
		US7548460A	16.06.2009
		US2005104119A	19.05.2005
US2008/0175050A1	24.07.2008	US2005063235A	24.03.2005
		US7221596B	22.05.2007
		WO2005109437A	17.11.2005
		US2006023550A	02.02.2006
		US7283390B	16.10.2007
		US2008205150A	28.08.2008

A. 主题的分类

H01L 29/78 (2006.01) i

H01L 29/36 (2006.01) n

H01L 29/43 (2006.01) n