



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102709332 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 06

(21) 申请号 201210153652. X

CN 102386296 A, 2012. 03. 21,

(22) 申请日 2012. 05. 17

CN 102412352 A, 2012. 04. 11,

(73) 专利权人 北京大学

审查员 季茂源

地址 100871 北京市海淀区颐和园路 5 号

(72) 发明人 叶天扬 魏子钧 任黎明 赵华波

傅云义 黄如 张兴

(74) 专利代理机构 北京万象新悦知识产权代理

事务所(普通合伙) 11360

代理人 贾晓玲

(51) Int. Cl.

H01L 29/861(2006. 01)

H01L 29/06(2006. 01)

H03K 19/08(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2011/0186805 A1, 2011. 08. 04,

WO 2009/129194 A2, 2009. 10. 22,

CN 101859858 A, 2010. 10. 13,

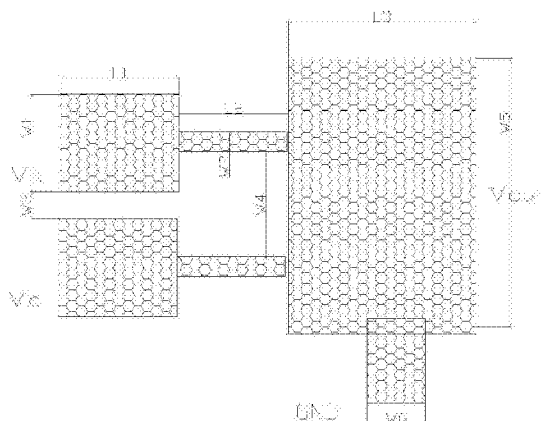
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54) 发明名称

基于石墨烯的二极管器件及其逻辑单元的结构

(57) 摘要

本发明提供了一种基于石墨烯的二极管器件及其逻辑单元的结构,属于纳米尺度器件的结构以及加工方法。本发明二极管结构为一宽度沿延展方向渐变的三角形单层石墨烯纳米结构,或宽度沿延展方向一宽一窄两个矩形相连的单层石墨烯纳米结构,对该单层石墨烯纳米结构进行 n 型或 p 型掺杂。本发明可根据所需要的器件的功能设计石墨烯图形以实现特定的能带结构。本发明进一步提供了二极管器件组成的基本的逻辑门进而可以形成整个逻辑电路。



1. 一种二极管结构,其特征在于,为一宽度沿延展方向渐变的三角形单层石墨烯纳米结构,其中单层石墨烯纳米结构的宽的一端禁带宽度为零,类似金属;单层石墨烯纳米结构的窄的一端禁带宽度不为零,类似半导体;将单层石墨烯纳米结构宽的一端进行n型或p型掺杂;或宽度沿延展方向一宽一窄两个矩形相连的单层石墨烯纳米结构,其中宽的单层石墨烯纳米结构的禁带宽度为零,类似金属;窄的单层石墨烯纳米结构的禁带宽度不为零,类似半导体;将宽的单层石墨烯纳米结构进行n型或p型掺杂。

2. 如权利要求1所述的二极管结构,其特征在于,三角形单层石墨烯纳米结构,其尖角的角度范围为0到60°,侧面的边的长度在1.4nm和500nm之间。

3. 如权利要求1所述的二极管结构,其特征在于,宽度沿延展方向一宽一窄两个矩形相连的单层石墨烯纳米结构,宽矩形的长度在50nm到10 μ m之间,宽度为50nm到10 μ m,窄矩形的长度在50nm到1 μ m之间,宽度为2Å到20nm。

4. 如权利要求1所述的二极管结构,其特征在于,单层石墨烯纳米结构在衬底上放置,或在有限支持下悬空,或者与衬底垂直放置。

5. 一种二极管逻辑门,其特征在于,若干个如权利要求1-4所述的任意一种二极管结构与作为导线和电阻的不同宽度的纳米带相连。

6. 如权利要求5所述的二极管逻辑门,其特征在于,所述二极管结构间距在100nm到10 μ m之间。

7. 如权利要求5所述的二极管逻辑门,其特征在于,所述作为导线的纳米带的宽度为100nm到10 μ m。

基于石墨烯的二极管器件及其逻辑单元的结构

技术领域：

[0001] 本发明属于纳米尺度器件的结构以及加工方法，具体是一种石墨烯结构和由此结构衍生的功能器件。

背景技术：

[0002] 石墨烯，即单层石墨，是迄今为止最薄的二维电子气薄膜材料，它发现于 2004 年并于 2010 年获得诺贝尔物理学奖。石墨烯的电子迁移率极高，高达 $10^5 \text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ 数量级，约为硅中电子迁移率的 140 倍。理论上，石墨烯中所有 sp^2 杂化的碳原子均饱和成键，结构稳定，其所能承载的电流密度高、抗电击穿能力强；利用石墨烯制作场效应晶体管，可使沟道厚度降低至单原子尺度，其沟道长度也可以缩短至纳米尺寸，而且不存在类似于硅基器件中的短沟效应，故石墨烯在高速电子器件领域将具有巨大的应用潜力。

[0003] 由于石墨烯的二维结构能够与传统的 CMOS 工艺兼容，它又拥有高迁移率等优良的电学性能，基于石墨烯的晶体管很快成为学术界和工业界所共同追求的目标。但由于石墨烯是零禁带半导体，即使在狄拉克点下其导电性仍然很好，使石墨烯逻辑器件的开关比很低，性能不好。近几年的研究发现石墨烯纳米带(nanoribbon)具有与大面积石墨烯所不同的电学性质，其中关键点的一点是，随着石墨烯纳米带宽度的减小其禁带宽度展宽了，开关比显著提高，这一点已经得到了理论(Son, Y. and M. L. Cohen, et al. (2006). " Energy Gaps in Graphene Nanoribbons. " Physical Review Letters 97(21) :216803.) 和实验(Li, X. L. and X. R. Wang, et al. (2008). " Chemically derived, ultrasMOOTH graphene nanoribbon semiconductors" SCIENCE 319(5867) :1229-1232; Han, M. Y. and B. Özyilmaz, et al. (2007). " Energy Band-Gap Engineering of Graphene Nanoribbons. " Physical Review Letters 98(20) :206805) 两方面的证实。但是目前对于石墨烯纳米带的应用都集中在传统 MOS 结构的器件。

发明内容：

[0004] 本专利目的在于提出一种宽度改变的石墨烯纳米结构，用于二极管和逻辑门电路。

[0005] 本发明提供一种二极管结构，如图 3 所示，为一宽度沿延展方向渐变的三角形单层石墨烯纳米结构，或宽度沿延展方向一宽一窄两个矩形相连的单层石墨烯纳米结构，将上述单层石墨烯纳米结构进行 n 型或 p 型掺杂。

[0006] 参考图 4，一宽一窄两个矩形相连的单层石墨烯纳米结构，宽矩形的长度 L_1 在 50nm 到 $10 \mu\text{m}$ 之间，宽度 W_1 为 50nm 到 $10 \mu\text{m}$ ，窄矩形的长度 L_2 在 50nm 到 $1 \mu\text{m}$ 之间，宽度 W_2 为 2\AA (单碳环的宽度) 到 20nm。

[0007] 宽度沿延展方向渐变的三角形单层石墨烯纳米结构，其尖角 α 的角度范围为 0 到 60° ，侧面的边 L_0 的长度在 1.4nm (十个碳环) 和 500nm 之间。

[0008] 本发明纳米结构可以平行衬底放置，也可以在有限支持下悬空，甚至与衬底垂直

放置。

[0009] 由于石墨烯的晶格长度在 0.4Å ,而石墨烯纳米结构在 20nm 以下均有显著的能带随宽度调制效应,因此在保持石墨烯完整的晶格结构的前提下仍可以认为此结构的石墨烯器件宽度连续变化,因此能带也连续变化。此结构的石墨烯边界可以为 armchair 型, zigzag 型以及两者的混合型。

[0010] 本发明利用上述结构设计并加工成所需要的二极管逻辑门如下:

[0011] 利用结构构件还可以在一块完整的石墨烯上仅利用图形化方式制作出整个二极管逻辑门乃至整个逻辑电路。由于石墨烯纳米导电性随纳米结构的宽度改变,因此在同一块石墨烯上刻出与上述二极管结构相连的不同宽度的纳米带可以分别用作导线和电阻,与上面的结构构件形成的二极管结合便组成二极管逻辑门电路,将二极管逻辑门组合起来便可以组成整个逻辑电路。例如,对下面两个结构的石墨烯进行 p 型掺杂后,就分别为一个二极管或门电路和一个二极管与门电路。

[0012] 参考图 5,其尺寸要求为:W1 在 50nm 到 $10\mu\text{m}$ 之间,保证其金属性;W2 在 20Å 到 20nm 之间,保证其半导体性;L1 为 100nm 到 $5\mu\text{m}$,L2 为 50nm 到 $1\mu\text{m}$;W3,W4 在 100nm 到 $10\mu\text{m}$ 之间;L3 为 100nm 到 $10\mu\text{m}$,W5 为 100nm 到 $10\mu\text{m}$;W5 为 20nm 到 100nm ,保证其电阻较大而又没有禁带展宽效应。

[0013] 二极管与门的尺寸要求与二极管或门相同。

[0014] 以二极管组成的逻辑与门和逻辑或门作为基础模块,可以仅通过在石墨烯上图形化的方式形成整个逻辑电路,实现逻辑运算的功能。

[0015] 本发明将石墨烯纳米结构制作成一宽一窄两个矩形相互连接或者一端宽一端窄的三角形结构,纳米带较宽的一端禁带宽度为零类似金属,纳米带较窄的一端有一定禁带宽度类似半导体,完整的结构就是一个金属半导体接触。将金属性的石墨烯纳米带进行 n 型(p 型)掺杂,由于两者的载流子浓度不同,载流子扩散会造成半导体性石墨烯纳米带的能带弯曲,此结构平衡的能带图 1 所示。当在这两者上加上偏压的时候,可以调节金属到二极管一侧的电子(空穴)势垒,进而调节电子(空穴)电流,从而实现了整流的功能,如图 2 所示。

[0016] 发明优点:

[0017] 本发明根据所需要的器件的功能设计石墨烯图形以实现特定的能带结构。本发明进一步提供了二极管器件组成的基本的逻辑门进而可以形成整个逻辑电路。本发明是一种纳米尺度器件,尺寸非常小,且结构简单,制作方便,由于此结构利用的是完整的一片石墨烯,缺陷少电学性能好,它可以成为未来碳基集成电路的基本构件。

附图说明

[0018] 图 1 本发明二极管平衡能带示意图;

[0019] 图 2 本发明二极管偏压能带示意图;

[0020] 图 3 本发明单层石墨烯纳米结构示意图;

[0021] 图 4 本发明单层石墨烯纳米结构尺寸示意图;

[0022] 图 5 为本发明二极管逻辑或门示意图。

具体实施方式:

[0023] 实施实例一：二极管逻辑或门

[0024] (1) 制备单层石墨烯

[0025] 制备单层石墨烯的方法包括：机械剥离(mechanical exfoliation), CVD 生长再转移, 在 SiC 上外延生长, 将氧化石墨还原, 用多层石墨减薄等。可以直接在衬底上制作石墨烯也可以在其他地方(溶液, 金属表面等)合成石墨烯再转移到衬底上。衬底上的石墨烯可以为悬空态, 也可以贴着衬底。衬底材料可以为硅, 二氧化硅, 石英, 玻璃等刚性材料以及 PMMA 等柔性材料。

[0026] (2) 对单层石墨烯进行图形化

[0027] 对单层石墨烯图形化的方式包括：光刻, 纳米压印, 导电 AFM 图形化等。利用上述图形化手段将单层石墨烯加工为结构构件, 本实施例用电子束曝光的方式使石墨烯图形化：将器件部分用 PMMA 保护起来, 而将要刻蚀掉的部分曝光去胶后露出, 然后用氧等离子体轰击, 用反应离子刻蚀(ICP)刻蚀石墨烯, 最终将石墨烯形成为如图 5 所示的形状, 其关键尺寸为：输入的宽石墨烯纳米带宽度 W1 为 $1\ \mu\text{m}$, 长度 L1 为 $1\ \mu\text{m}$, 中间的窄石墨烯纳米带宽度 W2 为 20nm, 长度 L2 为 $1\ \mu\text{m}$; W3 的宽度为 100nm, W4 的宽度为 $1\ \mu\text{m}$; L3 为 $2\ \mu\text{m}$, W5 为 $3.5\ \mu\text{m}$, W6 为 100nm。

[0028] (3) 电极制备

[0029] 用电子束曝光的方式定义金属电极, 通过电子束蒸发金属和剥离的过程形成电极。两个输入的电极都淀积 25nm 厚的 Au, 使两个金属电极通过接触掺杂的方式将宽的金属性的石墨烯纳米带掺杂为 P 型。(关于金属电极对应的掺杂有文献报导 Huard, B. and N. Stander, et al. (2008). "Evidence of the role of contacts on the observed electron-hole asymmetry in graphene." *Physical Review B* 78(12):121402) 输出的电极和接地的电极也用同种方式同种金属制作。

[0030] (4) 以金属电极作为电学引出即可以做二极管逻辑或门的电学测试。

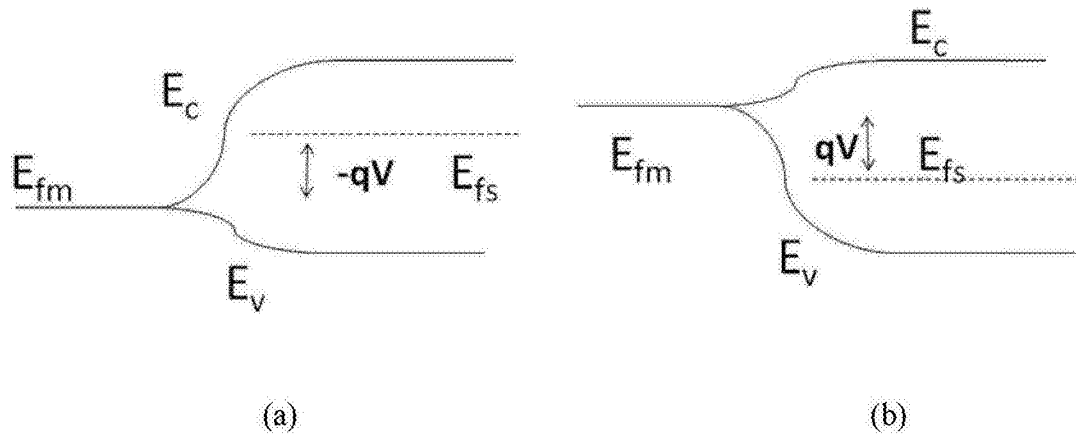


图 1

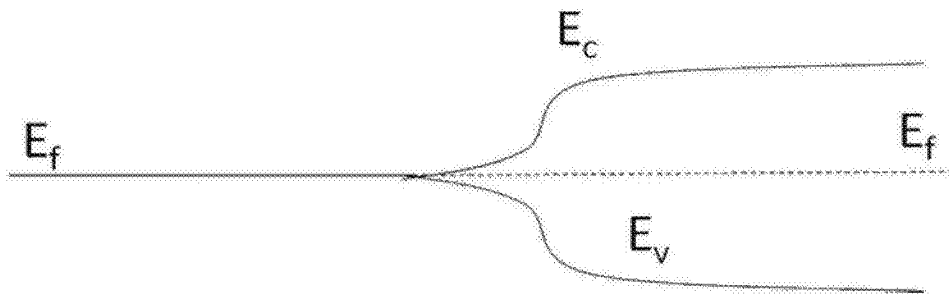


图 2

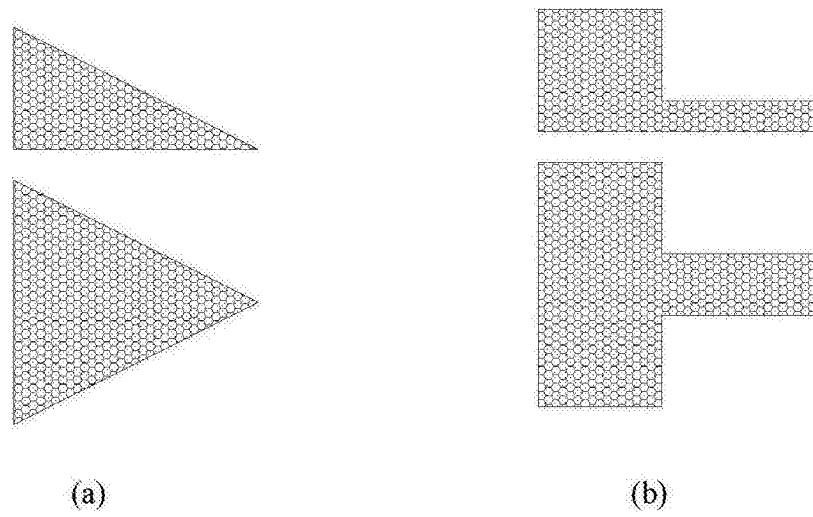


图 3

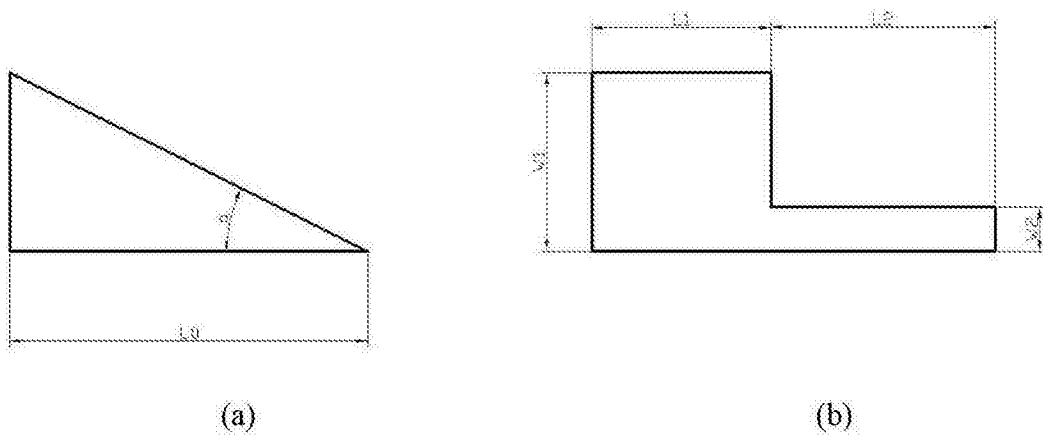


图 4

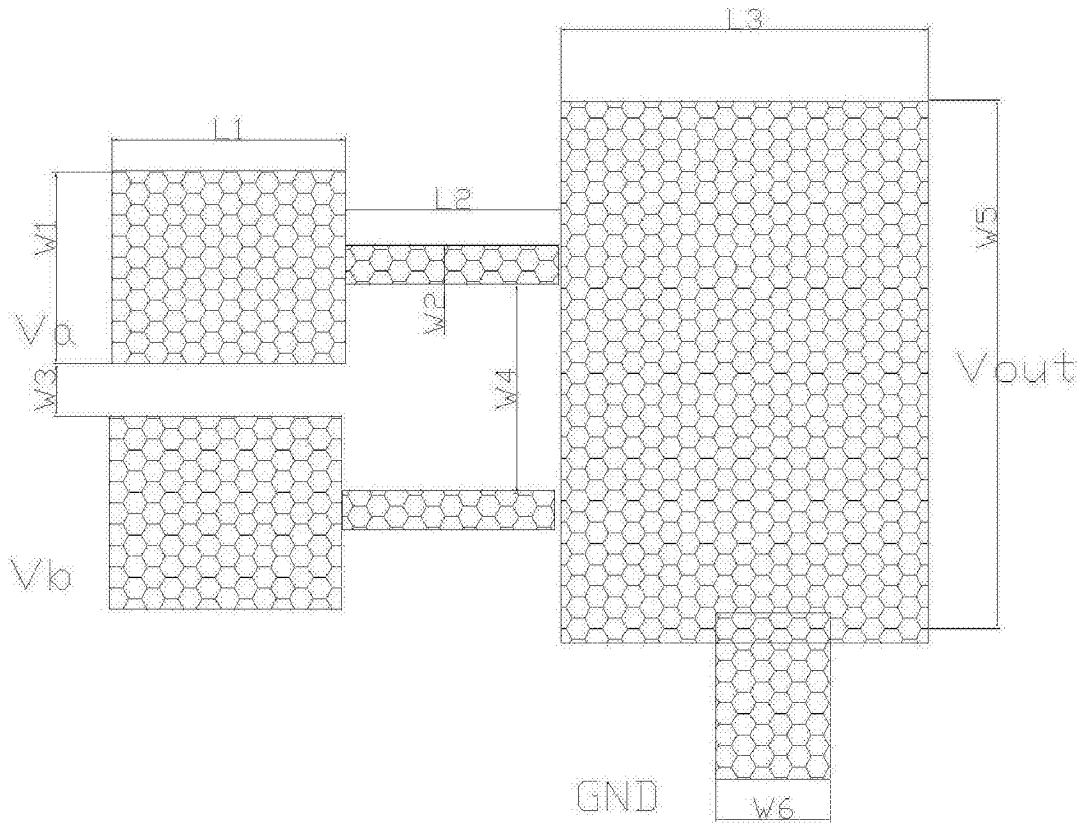


图 5