

纳米电子学的最新进展*

连季春 林晓 高利 高鸿钧†

(中国科学院物理研究所纳米物理与器件实验室 北京 100080)

摘要 文章介绍了纳米电子学在自组织生长、器件构造和电学/光学器件应用等方面的最新进展,其中包括:利用流体或极性分子实现了纳米线/管的定向排列;用此方法制成了纳米线逻辑电路和新型纳米线/带薄膜晶体管;研制成功可进行高密度信息存储的单分子层面纳米线交叉电路;进行了半导体 CdS 纳米线电泵激光和碳纳米管电致发光研究.此外,还对自旋电子学的研究进展进行了简要介绍,对纳米电子学的研究与发展方向提出了建议.

关键词 纳米电子学,纳米线逻辑门,自旋电子学,自旋霍尔效应,定向组装,纳米线 TFT,光学应用

Research and development of nano-electronics

LIAN Ji-Chun LIN Xiao GAO Li GAO Hong-Jun†

(Nanoscale Physics & Devices Laboratory, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract We review the latest progress of nano-electronics, from the self-assembly of nanosystems to the applications of nano-electronic materials in devices as well as device properties. The research and development of nano-electronics is discussed.

Key words nano-electronics, self-assembly, nanowire, logic gates, NW-TFT, spintronics, spin-hall effect

1 引言

于 20 世纪 90 年代逐渐发展的纳米电子学现在已成为国际上最为活跃的研究课题之一.在过去的几年中,纳米电子学在纳米材料自组装生长、器件制造及其特性表征等方面都取得了很大的进展.本文就这些新近取得的成果作一个简要介绍.

2 纳米线和纳米管的定向排列

一般来说,人们对一维纳米材料进行排列都是先在溶液中分散,然后再用原子力显微镜进行操控.这种方法难度较大、成本高、且成品率较低. Huang 等人^[1]发展了一种利用模板进行限制的流向排列技术,可以实现纳米线/管的大面积定向排列以及各种方向的交叉排列.他们将 GaN, InP 或 Si 的纳米线在乙醇溶液中分散并形成悬浮液,然后将这种悬浮液在由 PDMS (polydimethylsiloxane) 模具制成的

通道中流通(图 1),这样在乙醇溶液的流动方向上就可以形成纳米线的有序排列.而如果利用交叉通道,再通入不同方向的悬浮液,就可以得到交叉的纳米线阵列[图 1(b)].图 2 则展示了制成的纳米线阵列的 SEM 图像.可以看出,通过这种方法制成的纳米线阵列有较好的定向性.

以上这种排列的方法,纳米线之间的间距主要依赖于模板,以及所配制悬浮液的浓度和流动的速度,这对于控制间距来说还不是很容易. Whang 等人^[2]基于 Langmuir - Blodgett (LB) 技术发展了另一种流向排列的方法,可以轻松地实现纳米线间距的控制.他们将硅纳米线在一种用表面活性剂 1-octadecylamine 制成的无极性溶液中分散并形成悬浮液,然后将液体张成一个单分子层的膜,在 LB 槽中进行压缩.在压缩的过程中,纳米线以相等的间距沿轴向进行排列,其间距可以由压缩的过程来控制.

* 国家自然科学基金(批准号:60125103, 90201036, 90101025)资助项目

2004-06-07 收到初稿, 2004-09-14 修回

† 通讯联系人. Email: hjgao@aphy.iphy.ac.cn

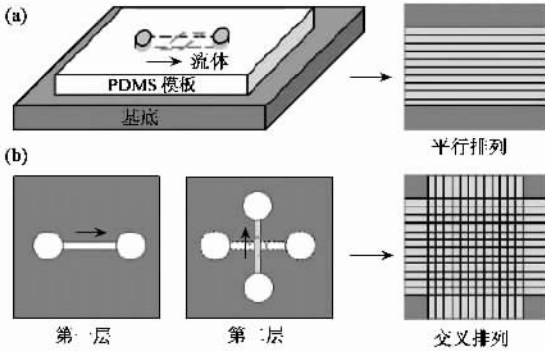


图1 流向排列的通道结构示意图 (a)PDMS 模板紧贴在基底上形成一个通道, 纳米线悬浮液以可控的流速在通道中流通一段时间, 之后去掉 PDMS 模板就可以观察到平行的纳米线阵列; (b) 利用两层模板并通入不同方向的悬浮液, 就可以得到交叉的阵列

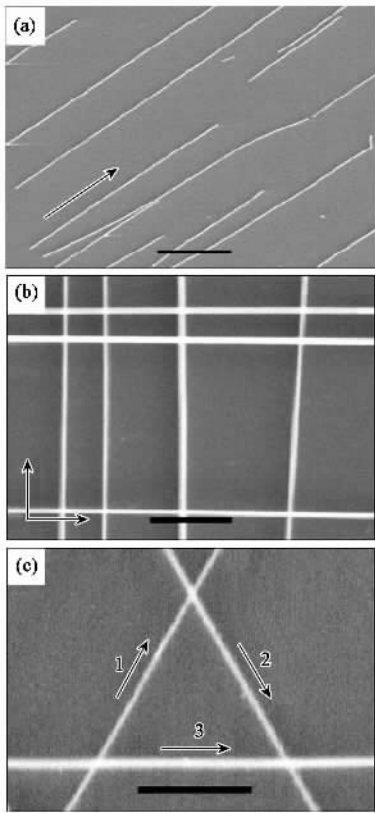


图2 利用流向排列法所得到纳米线阵列的 SEM 图像 [其中黑色箭头代表悬浮液的流向 (a) 平行的 InP 纳米线, 标尺为 $2\mu\text{m}$; (b) 交叉的 InP 纳米线 (c) 三步制成的 GaN 纳米线的等边三角形, 标尺为 500nm]

制(图 3)。这种方法的好处在于可以控制纳米线的间距, 而且可以在较大范围内形成这种定向的排列, 同时也可以形成较大面积的交叉纳米线阵列, 为将来的纳米线电路或发光管的制造提供了很有效的方

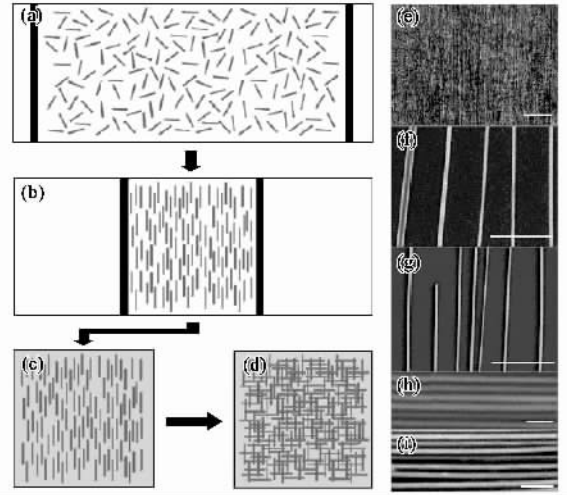


图3 液体表面纳米线 LB 压缩排列的示意图和 SEM 图像 (a) 纳米线分散在 LB 槽中 (b) 在 LB 槽中压缩 (c) 排列好的纳米线阵列移至基底上形成平行阵列 (d) 在第一层上覆盖第二层平行阵列形成交叉的纳米线结构 (e) $1\text{cm} \times 3\text{cm}$ 基底上的平行纳米线, 标尺为 $100\mu\text{m}$ (f) (g) 为移至基底后的不同 LB 压缩程度的纳米线, 标尺为 $1\mu\text{m}$ (h) (i) 为高密度的平行纳米线, 标尺为 200nm

案。Yang^[3]在其一篇综述文章中将这种方法形象地比喻为“纳米尺度的河中原木(nano - logging)”。

另外, Rao 等人^[4]先在基底的不同区域分别沉积上极性分子团(如氨基或羧基) 和非极性分子团(如甲基), 然后将该基底置于碳纳米管的悬浮液中, 纳米管就会吸附在有极性分子团的区域, 并且按照预定的图案进行自组装, 这个过程通常只需要 10s 左右。在这种方法中, 纳米管的排列不需要借助于外力如磁场或液体的流动, 它可以很快地将纳米管按照所需的结构进行排列, 并且也可以在较大的面积范围内实现。

3 纳米线组装成的逻辑门电路

上面提到的有序纳米线排列的方法为高效率地组装交叉纳米线 p - n 结以及纳米线场效应管提供了很好的实验基础, 从而使得“自下而上”制造更加复杂的基本电子器件(如逻辑门电路) 成为可能。Huang^[5]等人就是应用这种纳米线排列工艺制成了纳米线与门、或门、非门逻辑结构, 并且可以进行基本的计算(见图 4)。此后, 他们还应用这些装配好的与门、非门电路制成了异或门以及半加器, 并且进行了逻辑计算。可见, 这种“自下而上”的加工方法可以很好地制成基本逻辑电路。另外, 应用直径约为 5

nm 的纳米线,可以使器件的密度达到 $10^{12}/\text{cm}^2$,大大超过现有的“自上而下”制作工艺。

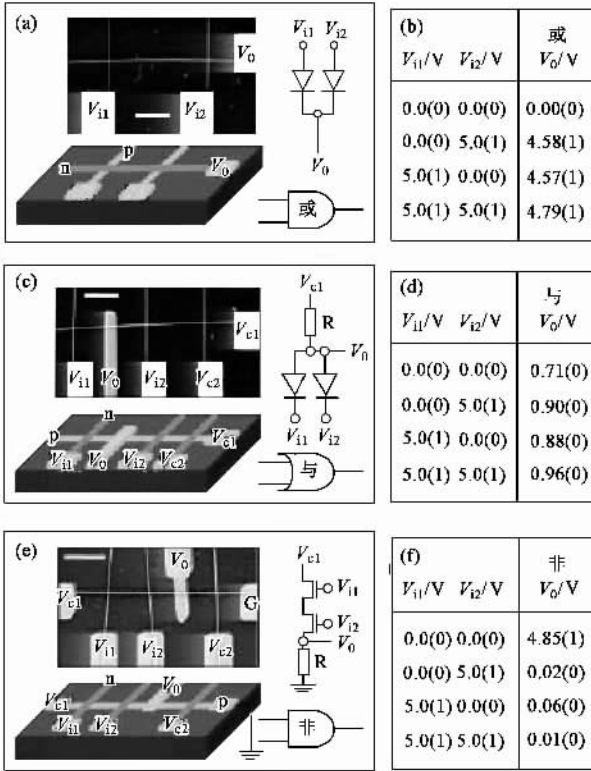


图4 纳米线逻辑门 (a)或门结构,2条 p 型硅纳米线作为输入端,n 型 GaN 纳米线作为输出端 (b)或门电路的输入与输出数据 (c)与门结构,由 1 条 p-Si 纳米线和 3 条 n-GaN 纳米线交叉组成,其中 p-Si 纳米线加 5V 的偏压,2 条 n-GaN 纳米线作输入端,另一条做栅极 (d)与门电路的输入与输出数据 (e)非门结构,由 1 条 p-Si 纳米线和 3 条 n-GaN 纳米线交叉组成纳米线场效应管阵列,p-Si 纳米线的通道加 5V 的偏压 (f)非门电路的输入与输出数据

Bachtold 等^[6]利用单壁碳纳米管制成的晶体管可以有很高的增益 (> 10) 以及很大的开关率 ($> 10^5$),能够加工成倒向器、逻辑非门、静态随机存储器、环形电路振荡器等一系列的逻辑器件,成为制作纳米电子逻辑器件的一个新方法。

4 纳米线薄膜晶体管 (TFT)

薄膜晶体管是当今微电子器件,尤其是有源矩阵液晶显示器 (AMLCD) 的重要组成部分。在传统的 AMLCD 中,主要采用的是非晶硅薄膜晶体管 (a-Si TFT) 和多晶硅薄膜晶体管 (p-Si TFT)。但是 p-Si TFT 的制作需要进行高温处理,a-Si TFT 尽管可以在低温下制成,但载流子迁移率太小,所以现行的 TFT 均不适用于塑料衬底。而将半导体纳米线和单

壁碳纳米管应用于纳米尺度的场效应管,有着与单晶材料可比的甚至更好的性能。Duan 等人^[7]应用定向硅纳米线薄膜或 CdS 纳米带作为半导体导电沟道,制成了性能优越于非晶硅或多晶硅材料的高性能 TFT。这种器件可以在塑料等多种衬底上制成,而且这种方法可以广泛地应用于多种材料(例如 InAs, InP 等高迁移率材料)中。

图 5 (a)是这种晶体管的制作过程。先合成可以控制直径的 p 型硅纳米线,然后将纳米线在溶液中分散,组装到选择好的衬底的表面,应用上一节中介绍的流向排列的方法来制成定向的纳米线薄膜。光学图像显示,薄膜是由单层的间隔为 500—1000nm 的平行纳米线组成。线间的间隔可以由溶液浓度和流动时间来控制。另外,应用上面提到过的 LB 压缩的方法,也可以得到致密的纳米线薄膜。在 4 英寸甚至更大的晶片上,可以容易地实现定向纳米线的沉积。之后再行标准的刻蚀处理,在镀上源极和漏极后,就制成了薄膜晶体管 [图 5 (c) (d)]。在此实验中,TFT 在硅衬底上有一个背栅极的设计结构 [图 5 (c)插图],用下层的硅来作为背栅极,100nm 厚的氮化硅作为栅极的电介质,Ti/Au 膜用作源极和漏极。这种方法制成的 NW-TFT 的各种管参数如跨导、迁移率、开关速率、阈值电压、亚阈值摆幅等均在一定程度上好于 a-Si TFT 和 p-Si TFT。另外,NW-TFT 一个独特的特征就是除了独立于器件制作的纳米线的合成阶段,全部 NW-TFT 的制作过程都是在室温下进行的。因此,能够很容易地制成高性能的 NW-TFT,甚至可应用低成本的玻璃和塑料衬底。这种方法在工业生产中是很有潜力的,例如可以利用高迁移率的材料来制备 TFT,从而可以制成大面积的光电器件。另外,这种方法成本低,并且可以在较低温度下处理,所以,它将大大影响现今 TFT 器件的生产及应用。

5 纳米线交叉电路

纳米电路的实现需要解决三个问题:一是要具有电流开关特性的纳米器件;二是要实现纳米器件之间、纳米器件与外部系统之间的连接,并构成具有存储或逻辑功能的纳米电路;三是电路和其他系统可以通信,同时低电平不会影响其运行。惠普实验室 Yong Chen 领导的小组^[8]设计了一种能满足以上这些要求的纳米线交叉电路。这种交叉电路 [见图 6 (a)],是由纳米印压技术 (imprint lithogra-

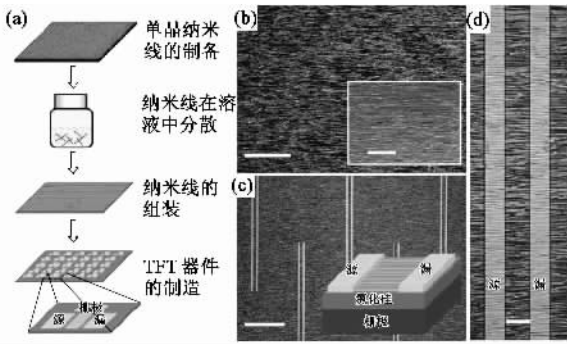


图5 纳米线 TFT 的制造 (a) 纳米线 TFT 的制作过程. 高质量的单晶纳米线由高温 CVD 的方法制成, 在溶液中分散后排列在所需的衬底上 (b) 排列好的纳米线薄膜的光学显微图像, 标尺为 80 μm. 插图为更高分辨的图像, 标尺为 20 μm. 可以看出纳米线薄膜差不多是单层的纳米线, 但有些地方也会有一些交错. 平行纳米线之间的距离约为 540 nm (c) 纳米线 TFT 的光学显微图像, 标尺为 100 μm (d) 连接源极与漏极平行纳米线清晰可见, 标尺为 5 μm

phy) 制成的, 单层 rotaxane 分子夹在下层的 Ti (3 nm)/Pt (5 nm) 纳米线与上层的 Ti (11 nm)/Pt (5 nm) 纳米线之间. 电路的基本单元是每个交叉点处的可作为可逆永久开关的 Pt/rotaxane/Ti 结, 在 1 μm² 的面积内将 64 个这样的开关闭连接在一起, 形成一个 8 × 8 的交叉电路. 图 6 (b) 显示了实验中使用的 rotaxane 分子的结构. 它的两端分别为亲水和疏水基团, 使得这种分子成为一种双极分子.

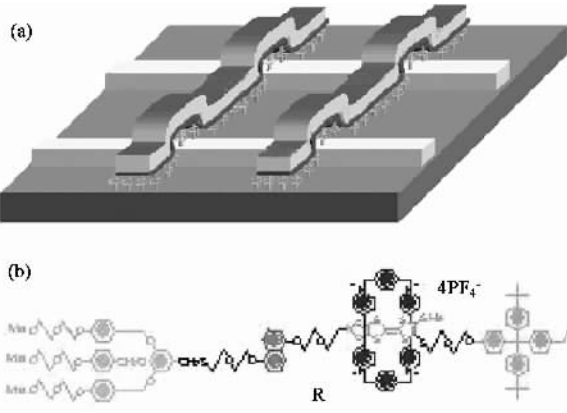


图6 (a) 交叉电路示意图 (b) 双稳态 rotaxane 分子的结构图, 其两端分别为亲水(左)和疏水(右)基团

首先, 将一个 8 × 8 的交叉电路用作 64 位的随机存储器来进行测试. 如图 7 (a) 所示, 如果要在一个交叉点, 比如 (1, A), 写入数据, 选择相应的行 A 和列 1, 在行 A 加一个大小为 V 的电压脉冲, 同时将列 1 接地. 为了防止在其他点意外写入数据, 需要同时其他行和列加一个大小为 V/2 的电压脉冲. 加

合适的电压脉冲就会使交叉点在高阻态 ($> 4 \times 10^9 \Omega$) 和低阻态 ($< 5 \times 10^8 \Omega$) 之间可逆地转换. 如图 7 (b) 所示, 如果要读取数据, 在相应的行加 0.5 V 的偏压, 其他的行和列接地. 只要测量通过某列到地的电流就可以确定某个交叉点的电阻. 图 7 (c) 显示的是在这个存储器中存入“HPinvent”对应的 ASCII 码的二进制表示. 另外, 在纳米存储器和适宜的控制电路之间需要多路转换器和多路分配器, 这样 N 对地址线就可以选择和控制在 2^N 根纳米线, 对于 1 Mbit 的交叉存储只需要 20 对地址线. 如图 7 (d) 所示, 将一个 8 × 8 的交叉电路分成一个 4 × 4 的交叉存储器和两个用作多路转换器和多路分配器的 4 × 4 译码器, 从而实现了电路和外部系统的通信.

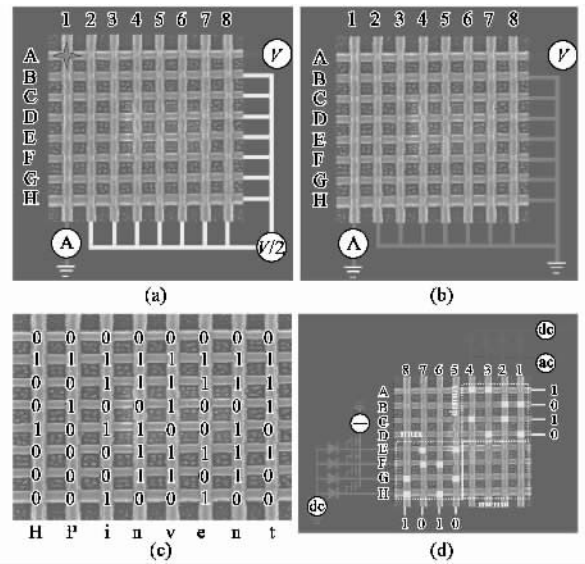


图7 (a) 写入数据 (b) 读取数据 (c) 8 × 8 存储器 (d) 多路转换器、多路分配器及存储器

6 纳米电光器件

半导体电致激光在通信、信息存储以及医学诊断与治疗等方面有着广泛的应用. 但此前的器件加工方法成本高, 而且很难与其他工艺 (如硅微电子技术) 相结合. Duan 等人^[9]研究了应用单根纳米线实现电致激光的可行性, 他们对单晶硫化镉纳米线的电学及光学测量表明, 它可以用作法布里 - 珀罗谐振腔.

这里应用的是具有纤锌矿结构、以 (001) 方向为轴向生长的单晶 CdS 纳米线, 其直径约为 80—200 nm. 一般地说, 当一个纳米管满足 $L \approx (\pi D / \lambda \chi (n_1^2 - n_0^2))^{0.5} < 2.4$ 时, 它就可以用作

一个单模式光波导[图8(a)],这里 L 代表一个下限, D 是纳米线的直径, λ 是波长, n_1 和 n_0 分别是纳米线与周围介质的折射率.对于CdS纳米线来讲,满足条件的最大直径为70nm.如果纳米线两端是解理面,它们就可以看作是法布里-珀罗谐振腔的反射镜. TEM 以及 SEM 图像[图8(b)]表明,很大一部分(>50%)的CdS纳米线都有着平整的末端,它们是沿垂直(001)生长方向解理的.这个结果表明,足够多的纳米线可以作为法布里-珀罗谐振腔.图8(c)就显示了CdS纳米管在室温下的发光图像,可以看出,光激射仅仅是从纳米线末端发出的,可见这些CdS纳米线就是光波导.

为了更好地验证纳米线的性能,应用光谱仪在不同区域进行测量.在低能情况下,在纳米线端间记录的光致发光谱有一个较宽的峰,最高点位于512nm处,其半高宽为24nm[图8(d)].在末端记录的谱有一个更宽的峰,且有着大约30nm的红移.在高能情况下,得到的光致发光谱[图8(e)]显示了CdS纳米线谐振腔的另外一些重要性质:首先,末端激发随激发能线性增强,而端间的激发只是近似线性的增强.以上这些结果都可以看出CdS纳米线可以用作法布里-珀罗谐振腔,而且可以估计,在室温下它的品质因子大约为600.之后,他们将n型的CdS纳米线激光谐振腔装配在重掺杂的p型硅基底的电极上,形成一种混合结构.室温下通电之后,就可以观察到CdS纳米线末端发出的强烈的激射.这些实验都说明,单一的半导体纳米线是可以制造激光的,而且可以制成完整的电泵发光器件.这种纳米线激光可以给诸如通信、数据存储、高性能传感器、近场光刻甚至激光外科手术等固体激光器的应用带来革命性的影响.

除了半导体纳米线在发光方面的重要应用外,碳纳米管也在光学应用的领域中占有一席之地. Misewich 等人^[10]利用碳纳米管制成的双极场效应管观察到了偏振红外光发射.电学测量表明,这种发射来源于同时注入不掺杂的纳米管中的电子与空穴的再复合.实验中使用的是半导体型的单壁碳纳米管(s-SWNTs).将这些直径大约为1.4nm的纳米管随机地分散在厚度为150nm的氧化层的p⁺硅基底上,再用刻蚀的方法将钛金属制成源极和漏极,然后用一层10nm厚的二氧化硅层覆盖,就得到了实验所使用的s-SWNT器件[图9(a)].[图9(b)]显示的是用红外线照相机拍下的整个芯片,当电极上加上电压后,电子和空穴同时注入,就会产生红外线

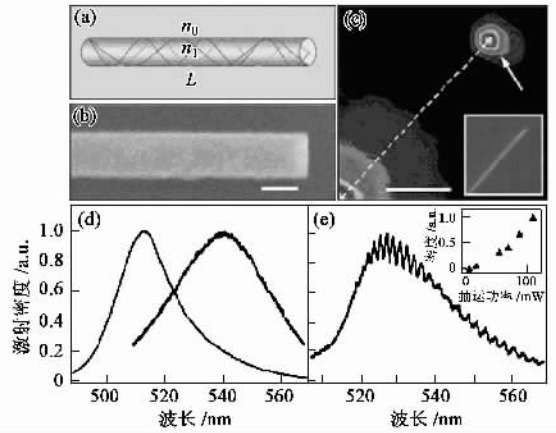


图8 纳米法布里-珀罗谐振腔 (a)纳米线作为光波导的示意图 (b)解理的CdS纳米线的SEM图像,标尺为100nm (c)室温下CdS纳米线的光致发光图像,白色的箭头以及虚线指明了纳米线的末端和轴向,标尺为5 μ m(插图)为纳米管发光的照片 (d)在低抽运功率(10mW)下,从纳米线中间(蓝色)和末端(绿色)得到的光致发光谱 (e)高抽运功率(80mW)下的光致发光谱(插图)为激射密度与抽运功率的函数)

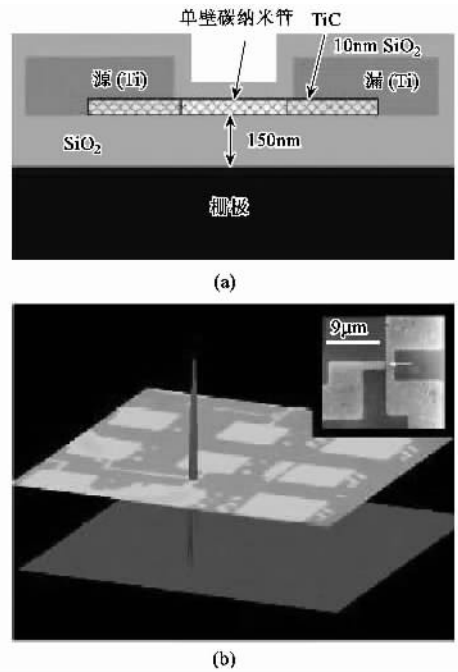


图9 (a)双极s-SWNT器件结构示意图 (b)用红外照相机观察到的双极碳纳米管FET的光激射(上层为碳纳米管FET的红外照相机照片,下面一层是电子与空穴注入碳纳米管时产生红外激射的平面图,发射集中在碳纳米管的位置,插图)为纳米管发射器区域的器件结构的SEM图像)

激射.这种发射高度集中在如[图9(b)]所示的纳米管的位置.如果电压减小到一定程度,即使电流很大,激射也会消失,可见这种激射并不是来源于热效

应。

由于碳纳米管的带隙与管径成反比,所以可以应用不同直径的纳米管来控制光激射的波长.另外,改进栅极氧化层的厚度或应用高介电常数的绝缘体都可以提高发射的效率和强度,而且可以减小工作电压.因此,碳纳米管将会是一种很好的纳米光电器件.

7 自旋电子材料与器件

在固体电子学器件中,当考虑纳米尺度内电子的输运过程时,将会发现与电子的自旋属性相关的许多新物理现象,如 GMR, TMR 效应.这是因为自旋极化电子的许多重要的物理特征长度都在纳米范围,如自旋极化电子的平均自由程、电子自旋间的交换作用长度等.纳米自旋电子学正是研究纳米尺度内自旋极化电子的输运特性,以及研制新效应引起的新器件的一门新学科.由于其丰富的新奇物理现象和巨大应用价值,所以一经诞生,便受到全世界科学工作者的广泛关注.虽只有短短几年历史,但纳米自旋电子学却已表现出广阔的应用前景,例如计算机硬盘的读出头在使用纳米磁性自旋阀材料后,密度从 60Mbit/in² 提高到 30Gbit/in²,提高了近 500 倍.

迅猛发展的纳米自旋电子材料科学使其成为人们普遍关注的焦点,近期的主要研究内容包括纳米磁性多层结构中的自旋相关输运,自旋极化、自旋注入、自旋相关界面散射、自旋迁移和自旋动力学以及纳米结构自旋电子器件的制造等方面. Xiong^[11] 等人使用有机半导体作为自旋阀的隔离层,研究了其中自旋极化子的相关性质.他们制作的有机自旋阀有三层,其中两层为铁磁体电极薄膜,一层为有机半导体的隔离层.通过设计两层铁磁体膜,使之有不同的矫顽场,在外磁场振荡时,磁化方向就会有平行或反平行的排列.在 11K 的低温下,该器件就可以观察到巨磁阻效应,而且很明显是源于自旋阀效应.这就表明,应用有机半导体也可以成功地实现自旋极化子的注入、输运和探测,从而可能会引发有机自旋电子学的多种应用.

自旋霍尔效应是新近发展起来的自旋电子学的另一个方向. Sinova 等人^[12] 发现在充满 Rashba 自旋轨道耦合的高迁移率二维电子系统中,自旋流总会伴随着电流出现.而且这种自旋流的方向是垂直于电流方向的,因此被称为自旋霍尔效应.他们还计

算出自旋霍尔系数为 $\sigma_{\text{SH}} = e/8\pi$. Xiong 和 Xie^[13] 应用无序二维格子模型证明这个系数只在无序度不高时存在,当体系的尺度超过定域化长度时,它就会迅速减小.

图 10 展示的是这种效应的基本物理图像.在平移不变的二维电子系统中,由于自旋轨道耦合,一个依赖于动量的有效磁场会使自旋垂直于动量,如图 10(a).在加入 x 方向的电场后,如图 10(b)所示,电子被加速,在动量空间中以 $\dot{p} = -eE_x$ 的速率漂移.自旋在动量空间中的运动经过磁场的的作用就会产生自旋霍尔效应.

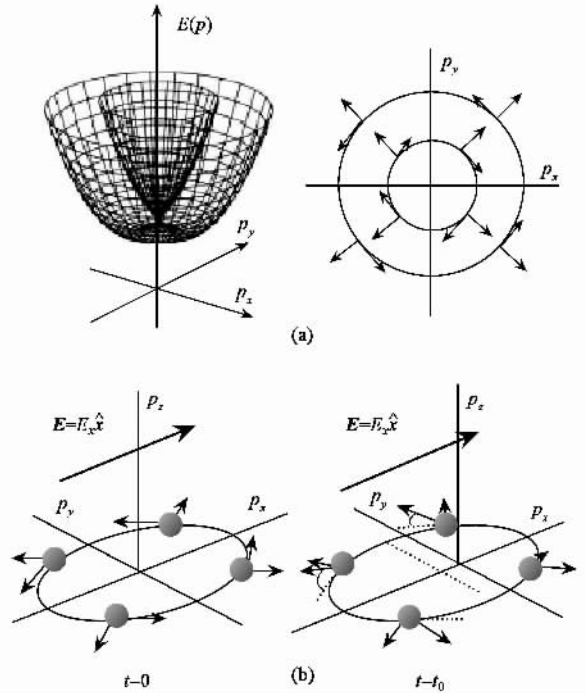


图 10 自旋霍尔效应的基本物理图像 (a)由动量标记的 Rashba 自旋轨道耦合系统中的二维电子本征态,对于每个动量,两个本征矢量是切向的 (b)加入电场后,费米面移位,电子在动量空间中运动时,一个有效扭矩使自旋倾斜,造成 y 方向上的自旋流

8 结束语

以上介绍了国际上纳米电子学领域一些方面的最新进展.我国在纳米电子器件研究方面相对落后,其重要原因是微纳米加工技术条件的限制,它制约了对纳电子器件性质的进一步研究.目前,有关部门与科研单位已加强了这方面的研究力量和投入.同时,我们应该重视纳米电子学新原理与新概念的提出,打破传统的信息传输、处理与存储框框,寻求新

的思路,实现真正意义上的电子学的突破.在不久的将来,我国将会在纳米电子学领域取得出色的成果,在国际上占据一席之地.

致谢 感谢心澄教授(X. C. Xie)、牛谦教授(Q. Niu)、贺晓波同学给予的有益讨论和建议.

参 考 文 献

[1] Huang Y , Duan X , Wei Q *et al.* Science ,2001 ,291 :630
 [2] Whang D , Jin S , Wu Y *et al.* Nano Lett. ,2003 ,3 :1255
 [3] Yang P D. Nature ,2003 ,425 :243

[4] Saleem G R , Huang L , Setyawan W *et al.* Nature ,2003 ,425 :36
 [5] Huang Y , Duan X , Lieber C M. Science ,2001 ,294 :1313
 [6] Bachtold A , Hadley P , Takeshi N *et al.* Science ,2001 ,294 :1317
 [7] Duan X , Niu C , Sahi V *et al.* Nature ,2003 ,425 :274
 [8] Chen Y *et al.* Nanotechnology ,2003 ,14 :462
 [9] Duan X , Huang Y , Agarwal R *et al.* Nature ,2003 ,421 :241
 [10] Misewich J A *et al.* Science ,2003 ,300 :783
 [11] Xiong Z H , Wu D , Vardeny V *et al.* Nature ,2004 ,427 :821
 [12] Sinova J *et al.* cond-mat/0307663 ,2004
 [13] Xiong Y , Xie X C. cond-mat/0403083 ,2004

更 正

本刊2004年(33卷)第4期第302页《粒子诗抄》中“无题”三首作者苏汝铿教授来信,这三首诗作者应为“许煜寰”。他当时曾有诗和答许,但不复留存.这些诗与苏汝铿其他诗放在一起(使主编者误作为苏汝铿之作);第302页右栏倒数第5行注(1)“色、香、味是夸克的三种量子数”应改为“色、味是夸克的两种量子数”。

2004年(33卷)第12期,第863页第8—9行排版字体应改为与第2—7行一致,第2—9行所列人员均是获奖者。

特此说明并向读者和作者致歉.

《物理》编辑部



无锡市苏威试验设备有限公司

WUXI SUWEI TESTING EQUIPMENT CO., LTD.

苏威公司是一家集科研、设计及制造各类模拟气候环境试验设备的专业性企业。本公司现已通过ISO 9001:2000质量管理体系认证。产品有：步入式恒温试验箱、高低温、高低温湿热、高低温交变湿热、恒定湿热、高温恒温、盐雾腐蚀、滴水淋雨、紫外灯(氙灯)耐气候、砂尘、霉菌、振动、跌落等试验设备。

<http://www.wxsuwei.com>



GDJS-系列

高低温交变湿热试验箱



GDJS-系列

高低温交变湿热试验箱



GDJS-系列

高低温交变湿热试验箱



YWX/Q-系列

盐雾腐蚀试验箱

地址:无锡市石塘湾工业园
电话:0510-2266882(总机)
邮编:214185

销售热线:0510-3263008 3263018
传真:0510-2266881
手机:0-13906197780

北京办事处:010-68633994 13671120840
广州办事处:020-86259303 13672423931
西安办事处:029-87441566 13689268474