

## PHYSICS

ISSN 0379-4148

CN 11-1957/O4

## 物理

第 39 卷 第 8 期 2010



- 激光发明 50 周年专题
- 物理学中的演生现象
- 拓扑绝缘体及其研究进展
- 普朗克 1923 年在华学术活动

中国物理学会 主办  
中国科学院物理研究所

主 管 中国科学院  
主 办 中国物理学会  
中国科学院物理研究所  
协 办 国家自然科学基金委员会  
数理科学部  
中国工程物理研究院  
主 编 冯世平  
出 版 《物理》编辑部  
地 址 北京 603 信箱,100190  
电 话 (010)82649470,82649266  
传 真 (010)82649029  
广告业务 (010)82649266

Email:physics@iphy.ac.cn

Http://www.wuli.ac.cn

印刷装订 北京科信印刷厂

国内统一刊号 CN 11-1957/O4

国内邮发代号 2-805

国内定价 20.00 元

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 处 全国各地邮局

国际标准刊号 ISSN 0379-4148

国外代号 M51

国外总发行 中国国际图书贸易总公司  
(北京 399 信箱 100044)

广告经营许可证 京海工商广字  
第 0335 号

出版日期 2010 年 8 月 12 日

© 2010 版权所有

## 目 次

### 激光发明 50 周年专题

|                                   |          |
|-----------------------------------|----------|
| 激光医学 .....                        | 顾 瑛(515) |
| 钙钛矿氧化物异质结的光电特性研究进展 .....          |          |
| ..... 郭海中 陆 珩 金奎娟 吕惠宾 何 萌 王 灿 杨国桢 | (522)    |
| 神光系列装置激光聚变实验与诊断技术研究进展 .....       |          |
| ..... 江少恩 丁永坤 刘慎业 张保汉             |          |
| 郑志坚 杨家敏 缪文勇 黄天暄 张继彦 李三伟 曹磊峰       | (531)    |

### 评述

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
| 物理学中的演生现象 .....                 | 张广铭 于 录(543) |
| “就像从帽子里拎出兔子”——从陈难先的一个工作说起 ..... | 王正行(550)     |

### 前沿评述

|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| 压电电子学和压电光电子学 .....                    | 王中林(556) |
| 保偏等离子元纳米光波导、等离子元纳米光子路由器和多路转接器评述 ..... |          |
| ..... 李志鹏 方蔚瑞 黄映洲 徐红星                 | (558)    |
| 利用比热手段证明氧化物超导体正常态有电子库珀对存在 .....       |          |
| ..... 牟 刚 罗会仟 闻海虎                     | (560)    |

### 前沿进展

|                   |              |
|-------------------|--------------|
| 拓扑绝缘体及其研究进展 ..... | 叶 飞 苏 刚(564) |
|-------------------|--------------|

### 今日物理撷英

|                      |                  |
|----------------------|------------------|
| 锡 132 的双幻核特性检验 ..... | 孟 杰 张 颖 陈启博(570) |
|----------------------|------------------|

### 物理学史和物理学家

|                        |              |
|------------------------|--------------|
| 普兰克 1923 年在华学术活动 ..... | 刘 娜 李艳平(572) |
|------------------------|--------------|

### 中国物理学会通讯

|  |
|--|
| 关于推荐及评选 2010—2011 年度胡刚复、饶毓泰、叶企孙、吴有训、王淦昌物<br>理奖的通知(578) 关于推荐及评选第三届中国物理学会谢希德物理奖通知<br>(578) 关于推荐评选第八届周培源物理奖的通知(579) 关于推荐及评选第<br>二届中国物理学会黄昆物理奖的通知(579) |
|--|

### 书评和书讯

|  |
|--|
| 科学出版社物理类重点书图书推荐(549) 三十年潜心研究的成果——李方<br>华著《电子晶体学与图像处理》简介(吴自勤,580) 北京大学建校 110 周年物<br>理人物图书系列(582) 《北京大学物理学丛书》书目(583) |
|--|

### 物理新闻和动态

|  |
|--|
| 观看量子现象(树华,542) 对超冷化学反应的探讨(云中客,555) 石墨烯纳<br>米丝电路(树华,577) 形状各异的气泡(云中客,577) |
|--|

### 招生招聘

|  |
|--|
| Newport 集团(光谱物理公司)招聘中国大陆区域销售和技术人员(581) 香港中文<br>大学物理系招生信息(584) 半导体超晶格国家重点实验室诚聘英才(585) 首都<br>师范大学太赫兹光电子学省部共建教育部重点实验室诚聘英才(585) 中国科学<br>院物理研究所(北京凝聚态物理国家实验室)2010 年度人才招聘启事(586) 南京<br>大学固体微结构国家重点实验室诚聘英才(586) 北京计算科学研究中心招聘海<br>内外高层次人才(587) 北京大学量子材料科学中心人才招聘启事(588) |
|--|

### 封面故事

|                |
|----------------|
| ..... 秦克诚(521) |
|----------------|

### 读者和编者

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 《中国大百科全书·物理学》(第二版)邮购信息 ..... | (579) |
|------------------------------|-------|

### 广告

|  |
|--|
| 江西连胜实验装备有限公司(封二) 宁波爱发科低温泵有限公司(封三) 美国<br>理波公司北京代表处(封底) 北京汇德信科技有限公司(插 1) 先锋科技股份有<br>限公司(插 2) 科艺仪器有限公司(插 3) Stanford Research Systems(插 4) 北<br>京优赛科技有限公司(插 5) 慕尼黑上海激光、光电展(插 6) 北京三尼阳光科<br>技发展有限公司(插 7) 北京微视凌志图像技术有限公司(插 8) 北京赛凡光电<br>仪器有限公司(倒插 1) 上海格奥光电技术有限公司(倒插 2) 北京鼎信优威光<br>子科技有限公司(倒插 3,4) 北京欧普特科技有限公司(第 557 页) |
|--|

# 压电电子学和压电光电子学

王中林<sup>1,2,†</sup>

(1 佐治亚理工学院 USA)

(2 华中科技大学 武汉国家光电实验室 武汉 430074)

压电效应是物质在应力作用下产生形变时出现的一种内部电势的现象. 压电效应已经广泛应用于微机械传感、器件驱动和能源领域. 锆钛酸铅(PZT)是目前应用最广泛的一类压电材料. 但是 PZT 是一种绝缘体, 很少使用在制备电子器件的过程中. 用来制备电子和光电子器件的压电材料需要具有半导体特性. 对于纤锌矿材料, 比如 ZnO, GaN, InN 和 ZnS 等, 它们同时具有压电和半导体性质, 然而同时利用这两个性质的耦合来制作器件的研究以前几乎没有.

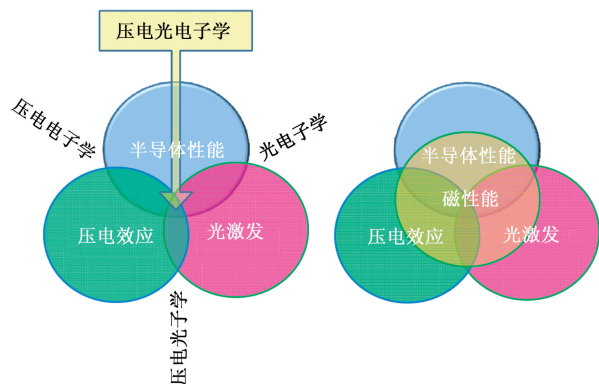


图1 压电场的引入可以产生几个新的研究领域: 压电电子学 (piezotronics), 压电光子学 (piezophotonics), 压电光电子学 (piezo-phototronics). 如果再引入磁性掺杂, 更多的效应有可能被发现. 纤锌矿材料是实现这些应用的最佳材料

在传统的基于半导体纳米线的电子器件中, 研究最多的是单沟道场效应晶体管(FET), 其中源极和漏极位于纳米线的两端, 栅极电压加在纳米线沟道上. 在源极和漏极之间加一个外加电压( $V_{ds}$ ), 半导体器件中的载流子输运过程通过栅极电压来调控或触发. 利用压电效应产生的内场, 我们首次提出了在由压电材料形成的氧化锌纳米线中, 压电势可以起到与栅极电压相似的作用, 这样 FET 中载流子的输运过程就可以通过外加在器件上的应力进行调控或触发<sup>[1,2]</sup>. 我们把这一类利用机械形变来调控或触发的电子器件叫压电电子学器件<sup>[3,4]</sup>. 另一方面, 如果器件在源极或漏极中有一端或两端是肖特基接触的, 当激光照射在源极或漏极时, 由于压电效应、光激发和半导体特

性的三相耦合, 可以产生一种新的效应, 即压电光电子学效应, 详见文献综述<sup>[5-7]</sup>.

让我们使用 ZnO 材料来阐释什么是压电势. ZnO 是一种非中心对称的晶体,  $Zn^{2+}$  正离子和  $O^{2-}$  负离子形成正四面体结构. 在无应力作用下, 正电荷和负电荷中心重合, 总偶极矩等于零. 如果有应力加在正四面体的一个顶点上, 正负离子的中心会相对错位, 从而在晶体中引入偶极矩. 所有单元偶极矩的叠加会在晶体中沿应变方向形成宏观的电势差. 这就是压电电势(压电势)<sup>[8-10]</sup>. 压电势是由非移动的不能消除的离子电荷引起的, 只要应力存在, 压电势就存在, 不过其大小受掺杂浓度影响.

半导体晶体在应力作用下, 可观察到两种效应: 压阻效应和压电效应. 压阻效应是由应力导致的禁带宽度和导带中态密度的变化引起的导电性的变化. 这种效应没有极性, 因此对 FET 器件中的源极和漏极作用相同, 即整体改变导电性. 如果该材料有压电特性, 应力还会引起压电势. 因为压电势具有极性, 它可以使源极和漏极的肖特基势垒有效高度往两个相反方向调节. 这是一种非对称效应. 使用压电势作为栅极电压的一类器件叫压电电子学器件<sup>[11-13]</sup>.

应力可有效地增加 ZnO 纳米线和金属接触处的肖特基势垒的高度, 从而精确调节器件中的电子传输特性. 相反地, 使用一束光子能量大于材料禁带宽度的激光照射结区, 可以增加局域的电子空穴浓度, 通过载流子的分离和重新分布以改变结区特性, 从而引起肖特基结有效势垒高度的降低. 通过控制应力大小和激光强度, 我们可有效地调控器件的传输特性, 实现从肖特基接触到欧姆接触或从欧姆接触到肖特基接触的转换. 对 ZnO 纳米线的机械、光学和电学性质的三相耦合的研究, 阐明了一个新的机理, 这个机理可作为压电光电子学器件的基础. 因此, 压电光电子学效应是通过应力引起的压电势来

2010-07-09 收到

† Email: zhong.wang@mse.gatech.edu

调控电光过程的效应<sup>[14-17]</sup>. 用来制备压电电子学和压电光电子学器件的材料主要是纤锌矿材料, 例如 ZnO, GaN, InN 和 CdS. 在这些材料中, ZnO 可能是唯一的一种可以通过化学方法在低于 100°C 的条件下大面积制备的纳米材料. 其他的一些纳米材料通常需要通过气相法制备, 这就需要比较高的温度. 2009 年, 美国著名的《MIT Technology Review》(《麻省理工学院技术综述》) 期刊把我们发展的压电电子学评选为十大新兴技术之一. 目前, 许多小组已经开始研究这些效应和潜在的应用<sup>[18-22]</sup>.

压电势作为栅极电压调控的电子器件显示了一种制备由应变、应力或压强驱动和控制的电子器件、传感器和逻辑电路的新方法. 压电-光电子学是压电效应、光激发和半导体传输特性三相耦合的一种效应, 它是通过应变引起的压电势来调节和控制电-光过程. 这些效应是以前在薄膜技术中基本没有探讨过的, 它们是在研究纳米线器件中首次提出来的, 因此它们可以被认为是纳米材料的一类独特应用(killer applications). 它们将来有可能是固体物理教科书中特有的一章. 我们预期压电电子学和压电光电子学将启发新的电子和光电子器件的发明, 并将在发光二极管、光电池和太阳能电池, 人和计算机界面, 纳米机器人, 微纳机电系统, 人和机器相互

作用等领域中都有广泛的应用.

### 参考文献

- [1] Wang X D, Zhou J, Song J H *et al.* Nano Lett., 2006, 6: 2768
- [2] He J H, Hsin C L, Liu J *et al.* Adv. Mater., 2007, 19: 781
- [3] Wang Z L. Adv. Mater., 2007, 19: 889
- [4] Wang Z L. Adv. Funct. Mater., 2008, 18: 3553
- [5] Wang Z L. The Journal of Physical Chemistry Letters, 2010, 1: 1388
- [6] Wang Z L, Yang R S, Zhou J *et al.* Lateral nanowire/nanobelt based nanogenerators, piezotronics and piezo-phototronics. Mater. Sci. and Engi. Reports. doi:10.1016/j.mser.2010.06.015
- [7] Wang Z L. Mater. Sci. and Engi. Report, 2009, 64 (issue 3-4): 33
- [8] Wang Z L, Song J H. Science, 2006, 312: 242
- [9] Gao Y F, Wang Z L. Nano Lett., 2007, 7: 2499
- [10] Gao Z Y, Zhou J, Gu Y D. J. Appl. Phys. Lett., 2009, 105: 113707
- [11] Zhou J, Gu Y D, Fei P *et al.* Nano Lett., 2008, 8: 3035
- [12] Zhou J, Fei P, Gu Y D *et al.* Nano Lett., 2008, 8: 3973
- [13] Fei P, Yeh P H, Zhou J *et al.* Nano Lett., 2009, 9: 3435
- [14] Hu Y F, Chang Y L, Fei P *et al.* ACS Nano., 2010, 4: 1234
- [15] Hu Y F, Zhang Y, Chang Y L *et al.* Optimizing the Power Output of a ZnO Photocell by Piezopotential, ACS Nano, 10.1021/nn1010045
- [16] Zhang Y, Hu Y F, Xiang S *et al.* Appl. Phys. Lett., in press
- [17] Lin Y F, Song J H, Yong D *et al.* Adv. Mater., 2008, 20: 3127
- [18] Liu K H, Gao P, Xu Z *et al.* Appl. Phys. Lett., 2008, 92: 213105
- [19] Yang Y, Qi J J, Liao Q L *et al.* Nanotechnology, 2009, 20: 125201
- [20] Scrymgeour D A, Hsu J W P. Nano Lett., 2008, 8: 2204
- [21] Kwon S S, Hong W K, Jo G *et al.* Adv. Mater., 2008, 20: 4557
- [22] Hong K S, Xu H F, Konishi H *et al.* J. Phys. Chem. Lett., 2010, 1: 997