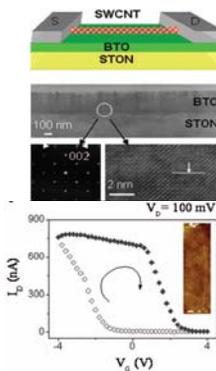


## 国内进展

### 碳纳米管铁电场效应晶体管的本征记忆功能

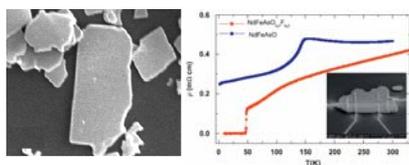
碳纳米管独特的结构和电学性质为其电子器件应用提供了巨大潜力。中科院物理所表面实验室白雪冬研究员小组与微加工实验室合作，借助电子束光刻技术，研制成功以外延铁电薄膜为栅介质的单壁碳纳米管场效应晶体管，开发了一种基于碳纳米管的铁电场效应晶体管存储器件单元。它利用铁电薄膜的极化对碳纳米管导电通道电流进行调制。实验表明，通过在漏极/栅极施加脉冲信号，能够向铁电薄膜写入不同方向的极化状态；而测量通过器件的电流，就能够非破坏性地读取事先写入铁电薄膜中的极化状态，从而实现了铁电场效应晶体管的存储功能。器件可以进行大量多次的可重复性操作，存储器可以在小于1伏的操作电压下工作。该成果发表在 *Nano Lett.* **21** (2008) **105018** 上，得到科技部、基金委和科学院的资助。



CNT-FeFET 器件结构与记忆特性

### 单晶NdFeAs (O<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub>) 的常压生长及输运特性

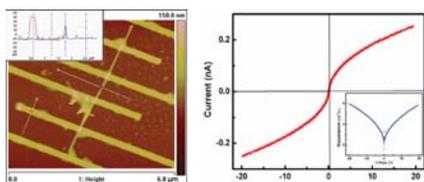
最近，铁基超导体的出现掀起了人们对新型高温超导材料及超导机制的研究热潮。继前期在这方面开创性的研究成果后，中科院物理所超导实验室闻海虎研究员小组与微加工实验室合作，在常压下生长的单晶NdFeAs(O<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub>)上，利用FIB沉积的Pt四电极接触结构，对其超导输运特性进行了测试。结果表明，该生长方法制备的铁基超导体易于控制，重复性好，生长的单晶晶粒大小为20-70 μm，超导临界转变温度约为50 K。该成果发表在 *Journal of Crystal Growth* **311** (2009) **358** 上，得到基金委、科技部和科学院的资助。



单晶NdFeAs (O<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub>) SEM 照片及超导特性

### ZnO纳米线的生长与电学特性

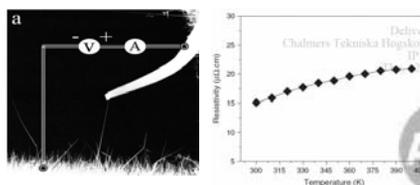
ZnO是直接宽带隙半导体，具有优越的光学与电学性质。ZnO纳米线结构丰富多彩，应用十分广泛。因此很有必要采用不同的生长方法来对材料的特性进行调制，拓展其应用领域。中科院物理所先进材料实验室的周维亚研究员小组和纳米中心孙联峰研究员小组与微加工实验室合作，在铜网栅上通过热蒸发Zn粉末的化学气相转移与沉积的简单方法生长了单晶ZnO纳米线。采用电子束相关工艺制作了单根纳米线器件。I-V 特性显示了此方法生长的ZnO纳米线呈半导体电学特性。该结果发表在 *J. Nanosci. & Nanotechnol.* **9** (2009) **1119** 上，得到基金委、科技部的资助。



ZnO纳米线、电极结构及电学特性

### Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>纳米线的电学与场发射性质

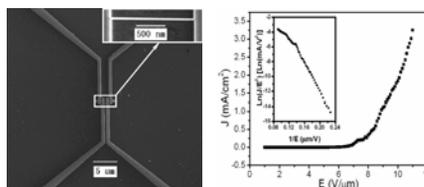
氧缺陷β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>具有许多新异性能，可用于半导体光电器件、自旋隧道结及高温气体传感等领域。但有关β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>一维纳米线阵列的可靠生长工艺及特性研究报导仍缺少。日本NIMS的黄阳博士与中科院物理所微加工实验室合作，在黄铜网孔上利用VSL法生长了半对准的Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>纳米线。研究了单根Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>纳米线的电学及阴极场发射特性。结果表明Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>纳米线与黄铜网格表面具有很好的物理及电学接触，其开启场较低，场发射性能稳定，具有制作显示器件的潜力。该结果发表在 *J. Phys. Chem. C* **113** (2009) **1980** 上，得到基金委、科技部的资助。



单根Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 纳米线的场发射特性

### NiSi纳米线自上而下的制作方法及电性能

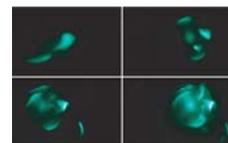
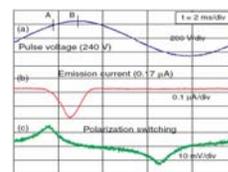
金属硅化物的电阻率及载子平均散射长度低、热稳定性好，且生长工艺与传统的平面硅工艺兼容，在微纳电子器件制作上应用广泛。其中NiSi由于其生长时硅耗量与形成温度均很低且线宽不受限制而备受欢迎。自下而上自组装生长的纳米线在生长位置及尺寸上很难与目前的集成电路工艺兼容。为此，中科院物理所微加工实验室的罗强等人利用EBL和FIB等相关微加工工艺，在SOI衬底上的任意区域成功制作了电阻率为15 μΩcm 的金属性NiSi纳米线，其电特性在一定温度范围内很稳定。此工艺有望在微纳器件集成中得到广泛应用。该成果发表在 *J. Nanosci. & Nanotechnol.* **9** (2009) **1548** 上，得到基金委和国家纳米中心的资助。



NiSi 纳米线四电极结构及热稳定性

### 纳米晶PVDF-TrFE的铁电电子发射特性

与无机铁电材料相比，PVDF-TrFE薄膜具有较低的介电常数、较大的磁矫顽力场、更好的绝缘性、轻巧且柔展性好，但与之相关的电子发射特性研究却较少报道。中科院物理所微加工实验室的李俊杰等人与日本静岡大学合作，利用旋转敷涂PVDF-TrFE混合溶液的方法，获得了纳米晶PVDF-TrFE薄膜，并研究了它们的铁电电子发射特性。实验结果表明此材料轻质可延展铁电电子发射显示器件上具有较好的应用前景。该结果发表在 *J. Nanosci. Nanotechnol.* **9** (2009) **832** 上，得到基金委、SRF for ROCS, SEM的资助。

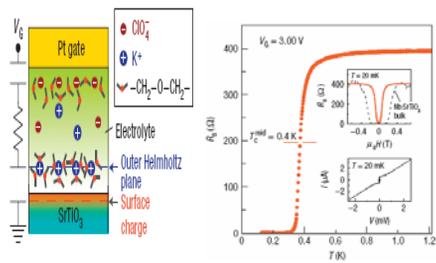


PVDF-TrFE 的电子发射曲线与图像

# 国外进展

## 绝缘体中的场致超导现象

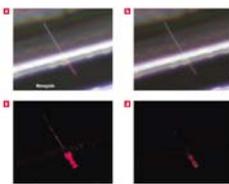
在现代半导体工业中，通常采用外加电场控制电荷的浓度来调节材料与器件的物理性能。此技术的挑战之一是怎样最大可能的提高场效应晶体管结构中沟道的载流子浓度，使之产生超导现象。日本东北大学的 K. Ueno 等将具有源漏栅极的 SrTiO<sub>3</sub> 绝缘体沟道结构置于有机电解质中，通过栅控外加电场形成双电层来调制 SrTiO<sub>3</sub> 绝缘体沟道中的载流子浓度。低温下，外场使绝缘沟道产生了二维的超导态并获得了 0.4K 的超导临界转变温度。该成果发表在 *Nature Materials* 7 (2008) 855 上。



电解质-SrTiO<sub>3</sub>双电层、晶体管示意图及双电层晶体管 SrTiO<sub>3</sub> 沟道的低温超导特性

## 银纳米线等离激元波导与光子集成

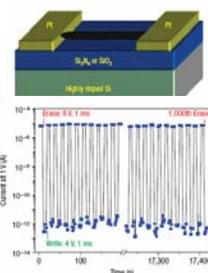
未来的光集成数据传输模块需要数亿的输入输出通道集成，这个要求在受衍射极限限制的传统光集成电路上很难实现。近日，美国华盛顿大学的 Anna L. Pyayt 等人利用溶胶凝胶以及紫外光刻技术，制备出一种利用银纳米线与 SU-8 介质波导集成的新器件，可以使光子从介质波导中延沿纳米线“分出”，形成一条新的输出通道。这项技术对未来高集成密度的纳米光子器件的开发提供了一条可靠的途径。该工作发表在 *Nature Nanotechnology* 3 (2008) 660 上。



集成在介质波导上的银纳米线

## 两端双稳石墨存储器

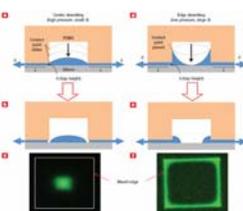
做为三端器件的晶体管是当前电子开关及存储器的基本单元，其开关比可以达到 10<sup>4</sup> - 10<sup>5</sup>，而基于非线性电流-电压响应的两端器件目前也得到了人们的广泛关注。美国莱斯大学的 Y.B. Li 等人等在纳米线及平面氧化硅上利用 VCD 方法生长了不连续的 5-10nm 厚的石墨薄膜，并利用电子束曝光的方法制备了两端器件。研究发现该两端器件在室温下具有双稳的电流-电压特性，存在高电导态和低电导态，这两个电导态在室温下稳定，可以通过脉冲电压的控制进行可逆的读写功能，并且该存储器的开关比高达 10<sup>7</sup>。该成果发表在 *Nature Materials* 7 (2008) 966 上。



两端器件示意图及利用脉冲电压实现双稳态开关特性

## 模制微滴形成自组装的纳米颗粒超点阵

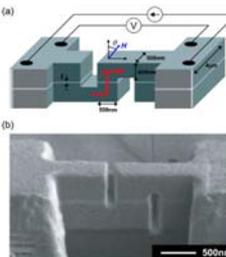
高度有序的纳米颗粒的许多特性使其超点阵图案的形成成为目前的研究热点。而传统的纳米颗粒超点阵图案的形成是一种非平衡的过程。美国康奈尔大学的 Dan Luo 等人提出了一种简单有效的方法，利用曝光、RIE 等微加工方法制 PDMS 模板，压制含有纳米颗粒的微滴溶液，控制其干燥过程，形成了不同的纳米颗粒超点阵结构。同时研究了模板尺寸和纳米颗粒浓度对超点阵的影响。此方法能够方便、快速地在较大尺寸的晶体材料上成图，提供一种优化的自下向上的器件特性研究手段。该成果发表在 *Nature Nanotechnology* 3 (2008) 682 上。



限制在模板中微滴的中心和边缘干燥的横截面示意图

## 第二类超导体中的涡旋破缺和相交

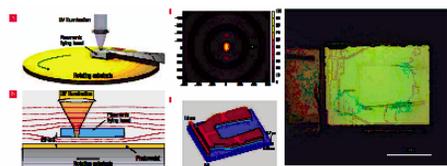
表面电流、点钉扎、晶界等导致高温超导体中存在大量磁通涡旋的非均匀钉扎。理论预言在强钉扎中心之间的弱钉扎区域，涡旋会相交和交叉连接，但由于高温超导体中钉扎中心呈空间分布，难以将计算与实验的结果进行直接对比。目前对涡旋的纠缠、相交、交叉连接等问题知之甚少。英国剑桥大学的 A. Palau 等人制作了 Nb/Mo<sub>82</sub>Si<sub>18</sub>/Nb 三明治异质结构来模拟高温超导体中晶界或两个强钉扎中心之间的弱钉扎平面，通过 FIB 切割限制电流垂直于弱钉扎平面流过，测量了不同磁场角度时的临界电流密度。对结果作定量模型分析表明，临界电流受限于单个涡旋的变形，而与涡旋的交叉连接过程无关。该成果发表在 *Phys. Rev. Lett.* 101 (2008) 097002 上。



聚焦离子束切割后的 Nb/Mo<sub>82</sub>Si<sub>18</sub>/Nb 三明治超导结构

## 利用近场等离激元透镜实现高速纳米光刻

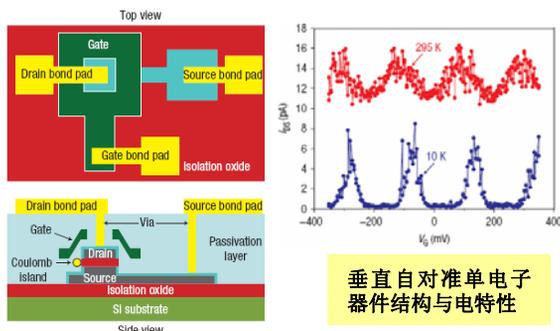
无掩模纳米光刻技术，如电子束或扫描探针光刻，能提供纳米加工所需的精确度，但往往效率较低且成本高昂。近日，美国加州大学伯克利分校的 W. Srituravanich 等人利用能突破衍射极限的近场等离激元透镜开发出一种高效且成本很低的高速无掩模光刻系统，能够利用波长 365nm 的紫外曝光方式实现 80nm 线宽的图形。这套系统的核心部件是利用 FIB 等微加工技术所制备的，包括等离激元透镜以及飞速转动中气流流动控制系统的浮动刻写头。该工作发表在 *Nature Nanotechnology* 3 (2008) 733 上。



近场等离激元透镜光刻系统及其浮动刻写头

## 与 CMOS 工艺兼容的常温单电子器件

单电子器件由于其极低的功耗，超高的载子灵敏度及较小的尺寸，有望成为未来超大规模集成电路的主要器件。但纳米尺度几何尺寸的精确控制技术是目前单电子器件制作工艺的瓶颈。美国德克萨斯大学材料科学与工程学院的 Vishva Ray 等人提出了一种新型的源漏垂直自对准单电子器件结构；此结构中源漏间距由两者间电介质层的厚度决定，纳米颗粒库仑岛位于电介质层暴露的侧壁上。此工艺途径与传统的 CMOS 工艺完全兼容。转移特性及传输特性的测试表明器件在常温下就具有单电子器件的输运特性。该成果发表在 *Nature Nanotechnology* 3 (2008) 603 上。



垂直自对准单电子器件结构与电特性