

# 科研进展\*

## 模板基底上有应变岛的受控成核研究取得进展

纳米量子结构在固体表面上的控制组装与生长,是纳米量子器件及其特性研究的重要内容。物理所高鸿钧研究组最近证明了一种有机功能分子在绝缘体表面的去浸润生长模式及其生长机理(发表在 *Phys. Rev. Lett.* 上)。利用表面应力各向异性引起的金属 Au(111)表面的重构,实现了在金表面上具有固定偏心轴的单分子转子。利用 Au(111)重构表面三个不同的区域,实现了对单分子转动行为的量子调控,并且利用重构结构首次实现了单分子转子的大面积组装,为实用化单分子器件的构筑与集成提供了思路(发表在 *Phys. Rev. Lett.* 上)。为了进一步研究基底形貌对纳米量子结构在表面上外延生长的影响,该组的博士生胡昊及导师高鸿钧与美国犹他大学刘峰教授合作,对模板化基底上异质外延生长的自组装量子点的成核生长进行了研究。他们考虑了表面能各向异性效应,计算了表面能;应用 Landau 弹性格林函数方法,计算了弹性弛豫能,从而得到了系统的表面自由能。解释了大部分现有实验的主要结果,对进一步控制量子点生长的实验有重要指导意义。研究结果发表在 *Phys. Rev. Lett.* 上。

## 铁基超导体母体自旋密度波研究取得新进展

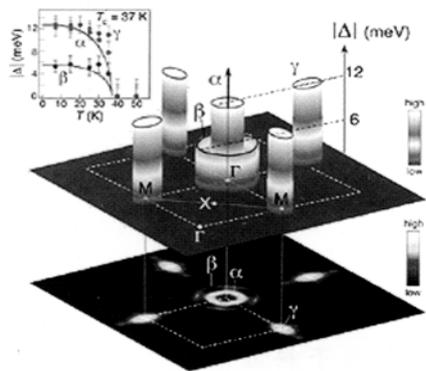
铁基超导体是目前超导和强关联电子系统研究领域关注的热点之一。物理所/北京凝聚态物理国家实验室王楠林研究组陈根富研究员生长了高品质的  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  和  $\text{SrFe}_2\text{As}_2$  母体单晶样品;胡婉铮、董静、李岗等博士生测量了样品从远红外到紫外的光反射谱并进行了细致的分析。实验结果表明,自旋密度波相变的发生使得绝大部分(近 90%)的自由载流子由于能隙打开而丢失,这意味着费米面的大部分区域都打开了能隙。然而伴随着散射通道的减少,残余费米面的载流子所受的散射率下降更快。这是直流电阻观察到更好金属性的原因。由于相变前的等离子体频率较高,且导电来源于铁的 3d 电子,说明从巡游电子图像来理解自旋密度波不稳定性是合适的。该光谱实验还表明在很高能量(约 0.6 eV)存在另一个能隙状特征,并且该特征存在于相变温度之上。这一现象表明铁基超导体在发生自旋密度波相变前并非是一个简单金属,电子间关联效应依然是需要考虑的。研究结果发表在 *Phys. Rev. Lett.* 上。

## 铁基高温超导体超导能隙对称性和轨道相关性研究的新进展

高温超导电性一直是热门的研究课题。物理所/北京凝聚态物理国家实验室丁洪研究组与日本东北大学高桥隆教授小组合作,利用高分辨角分辨光电子能谱仪对新发现的超导体  $\text{Ba}_{0.6}\text{K}_{0.4}\text{Fe}_2\text{As}_2$  ( $T_c = 37 \text{ K}$ )进行了研究。他们观察到该材料具有两个不同值的超导能隙。两个能隙都在体转变温度( $T_c$ )处同时闭合,在其各自的费米面附近无节点且几乎各项同

\* 收稿日期 2008 年 12 月 25 日

性。随着在不同能带上耦合系数  $2\Delta / K_B T_c$  从弱耦合变化到强耦合，各向同性的配对相互作用表现出强烈的轨道依赖性。这种相同且相当大的超导能隙归因于两个小费米面上的强配对作用，而这两费米面通过母系统中反铁磁自旋密度波矢量联系。这就表明配对机制源于两个相互嵌套费米面的带间相互作用。研究成果发表在 *Europhys. Lett* 上。美国阿贡国家实验室的 Michael Norman 最近在为美国物理学会 2008 年创刊的 *Physics* 杂志“trends”栏目撰写的关于铁基超导体物理研究的短评文章中，重点介绍了此项工作，同时被 *EuroPhysics News* 选作研究亮点进行报道。此外，他们还观察到了一种可能是电子配对媒介的反铁磁性玻色子模式，同时对电子结构进行了完整描述，并发现了超导能隙和费米面随掺杂浓度变化的演变。这些成果已写成 6 篇论文，即将发表在 *Physical Review Letters* 等刊物上。



### 我国高温超导大电流引线研制技术获重要进展

国际热核聚变实验堆(ITER)计划,是目前全球规模最大的国际科技合作项目之一。按照 ITER 各参与国之间采购包的划分,中国将独立承担 ITER 所有超导馈线系统的设计与制造。由于这些系统不仅涉及到低温超导和高温超导,而且还涉及到真空、低温和高压绝缘等多学科,是超导托卡马克装置关键部件之一,设计要求高,制造难度大。符合 ITER 要求的是 45—68 千安的超大电流引线型超导馈线系统。在正式开始批量化生产之前,合肥物质科学研究院等离子体所的科研人员对关键部件——高温超导大电流引线和关键技术——超导传输线的超导接头、绝缘等开展了优化设计和研发及质量认证。在 2008 年 12 月 19 日的试验中,获得了 90 千安电流的成果,是目前世界上的最好纪录。此前,日本、德国的相关科研机构曾针对 ITER 的超导馈线系统,分别研发了 60 千安和 80 千安的高温超导电流引线。值得重视的是,这次用于试验的是一个符合 ITER 要求的原型尺寸的电流引线,这也是参加 ITER 计划的七国中第一个成功通过试验的原型尺寸的部件,表明 ITER 计划在中国正在顺利推进之中。这种高温超导大电流引线的成功研制,不但使中国可以按时交付 ITER 所需的超导馈线系统,而且有利于解决聚变堆巨型超导磁体致冷节能的科学问题。ITER 国际组和德、日等国的相关科学家为本次试验的成功发来了贺信。

### 原子芯片上的玻色-爱因斯坦凝聚体在我国诞生

随着科学技术的发展,超冷原子介质在超高精度原子频率标准、原子干涉仪、量子信息存储和信息处理等方面获得了重要的应用。但是获得超冷原子气体和玻色-爱因斯坦凝聚(BEC)的实验装置过于复杂和庞大,而且价格十分昂贵,在一定程度上阻碍了向应用技术的发展。因此,研制小型化的冷原子实验装置(即原子芯片实验装置)成为国际上冷原子应用技术研究的重要发展方向。

上海光机所量子光学重点实验室王育竹院士领导的“973”冷原子系综量子信息存储技

术-原子芯片研究小组,自2003年以来,建立了我国第一套集光、机、电为一体的原子芯片实验装置,包括超高真空系统、光学系统、激光稳频系统、外磁场系统、高分辨超冷原子成像系统和计算机程序控制系统等等。提出和设计了具有创新学术思想的H型静磁阱芯片和高频势阱芯片。与浙江大学物理系光学所合作,利用半导体微加工技术和上海光机所的镀膜技术,成功地研制出国内第一块静磁阱原子芯片和高频势阱芯片。继实现国内首个磁阱BEC后,最近又实现了首个芯片BEC,取得了BEC研究的又一重大进展。为量子信息存储、量子信息“复印”和量子路由器研究打下基础,为BEC的更广泛应用打开了大门。

## 基本粒子物理弱混合角精确测量成果

描述微观粒子及其电磁、弱、强相互作用的基本理论称为“标准模型”。标准模型预言在Tevatron质子-反质子对撞机上产生的正负电子 $e^+e^-$ 对过程中,相对于入射质子方向,出射电子 $e^-$ 将趋向于小角度前向散射。这种散射电荷的前后不对称性(AFB),即为电中性Z规范粒子与费米子弱相互作用的表征,由AFB分布可以测定作为标准模型理论基本参数的弱混合角。此前,欧洲核子中心LEP实验以及Stanford直线加速器中心SLD实验,分别测量Z与3种轻子和多种夸克作用过程的前后不对称,而弱混合角的精确测量值与理论预言存在较为显著的偏离。中国科大韩良、刘衍文研究组在美国费米国家加速器实验室Tevatron对撞机D0实验上,对与LEP实验相似的逆向过程进行了研究。对高能电子重建、能量分辨、触发效率进行了细致的实验研究,从而确保获得系统误差远小于LEP同类型实验的测量结果。这意味着随Tevatron对撞机的运行,不断积累的物理数据将降低D0测量的统计误差,从而推动最为精确的标准模型检验。该研究组正在进一步分析Tevatron/D0最新积累的物理数据,以期获得对前后不对称以及弱混合角更为深入的认识。研究结果发表在*Phys. Rev. Lett.*上。审稿人对这项工作给予了很高的评价。

## GaAs基长波长激光器研究取得重要进展

由于GaAs基光电子器件具有温度稳定性好、易于实现垂直运作、易于光电子单片集成等优越性,研发近红外GaAs基光电器件是近10年来受到国际上广泛重视的热点研究课题。半导体所牛智川研究组与瑞典Chalmers理工大学合作,解决了器件制备技术困难,成功制备1.33微米InGaAs异变量子阱边发射激光器,实现室温连续激射,其阈值电流为目前已有报道的最好水平,成为国际上GaAs基近红外长波长激光器研究的最新进展而受到国际关注。英国物理学会的*Compound Semiconductor*杂志在其Technology Research Review专栏中给予报道,这是国际上GaAs基长波长激光器的又一重要进展。

## 轻元素纳米材料研究取得新进展

自1991年碳纳米管被发现以来,引起了广泛的研究兴趣。但纳米管电学性质的不可控问题依然是悬而未决的难题。物理所/北京凝聚态物理国家实验室许智、王文龙、白雪冬、王恩哥等人利用改进的等离子辅助热丝化学气相沉积(CVD)生长技术,实现了单壁碳纳米管的硼(B)、氮(N)共掺杂——即三元共价BCN化合物纳米管后,最近用这种B、N共掺杂

纳米管构筑了大量的场效应晶体管,对其电学性质进行了统计性分析研究。结果表明,通过对单壁碳纳米管的 B、N 共掺杂,样品中半导体性纳米管的比例由 67% 提升到高于 97%。为了深入理解这一重要实验发现,他们利用第一性原理,计算了掺杂对单壁碳纳米管能带结构的调制作用。在理论上解释了 B、N 共掺杂调节碳纳米管能带结构的物理机制。B、N 共掺杂是解决半导体性和金属性纳米管不可分问题的一条有效的新途径。相关研究结果发表在近期的 *Adv. Mater.* 上。*Asia Materials* 对该成果以标题“Doping carbon nanotubes”作为研究亮点进行了报道。

### 生物质制备纳米结构材料取得系列进展

中国科大合肥微尺度物质科学国家实验室俞书宏研究组在低温水热碳化生物质制备功能性碳基材料方面的研究取得显著进展,其中有关生物质水热碳化制备高活性富碳纳米功能材料的一系列工作引起国际关注。最近,该课题组应邀撰写观点透视综述论文,并以封面文章形式发表在 *Dalton Trans* 上,英国皇家化学会网站也进行了报道。

### Dalton Transactions



该课题组研究发现,由非晶态纤维素组成软质的植物组织主要产生球状碳纳米颗粒,它们的尺寸很小,孔隙主要是间隙孔隙;由固定结构的晶态纤维素组成的硬质植物组织,能够保留外部形状以及大范围内宏观和微观结构特征,在纳米尺度上产生了显著的结构变化,形成介孔网状结构。同时,利用碳水化合物能够控制合成出具有特殊形态和结构的碳基纳米材料、多孔碳材料及复合材料,诸如纳米球、纳米纤维、亚纳米线、亚纳米管、纳米电缆和核壳结构等,而且富含能显著改善其亲水性和化学活性的官能团。所制备的碳基材料和复合材料具有优异的固碳效率、催化性质和电学性质,在固碳、色谱分离、催化剂载体和电极材料、气相选择吸附剂、药物传递等领域具有潜在的应用前景。

### 空间高能电子观测领域取得重大突破

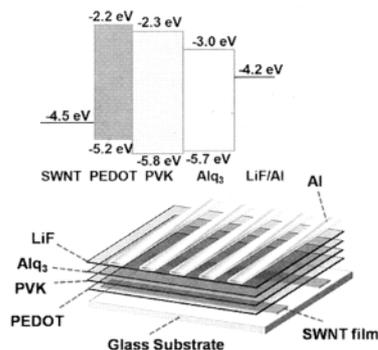
目前科学界对暗物质的存在已经有了很强的证据,但它究竟是什么?直到现在还不清楚,因此,暗物质的探测成为目前科学界最大热点之一。紫金山天文台与美国、德国、俄罗斯的有关单位合作,研制和不断改进探测器,利用美国南极长周期气球项目观测高能电子。发现,电子能谱在 3 000—8 000 亿电子伏特能量区间,与理论结果比较有一个很强的“超”,分析表明该“超”可能是暗物质粒子湮灭的产物,观测结果与暗物质理论预言的 Kaluza-Klein 粒子模型吻合得很好。该结果如果正确,不光是解决了暗物质是什么这个难题,同时暗示宇宙存在额外维,可能导致物理学方面的重大突破。研究结果发表在 2008 年 11 月 20 日出版的 *Nature* 上。该成果目前已引起国际学术界的广泛关注。*Nature* 杂志为了宣传该论文的科学意义,对论文的第一作者——紫金山天文台研究员常进作了专访并发表在同期杂志上。*Nature* 还在同期“News & View”栏目进行了专题报道。*Science* 杂志也将以“Dark Matter

Story”为题,重点介绍该成果。此外,英国的《新科学家》、美国《纽约时报》、美国航空航天局科学中心的 science@nasa 等媒体也都将在近日对该成果进行报道。评论普遍认为,该观测如果被证实,将是人类第一次发现暗物质粒子湮灭的证据。同时在天文观测中,开启了一个新的“窗口”。

## 中外合作开发出高电导透明单壁碳纳米管薄膜

透明导电的氧化铟锡(ITO)薄膜目前已广泛应用于平板显示、太阳能电池、发光二极管、特殊功能窗口涂层及其他光电领域,但由于其在价格和柔性等方面的限制,ITO 薄膜成为发展柔性电子学的障碍之一。单壁碳纳米管薄膜由于在导电、透光和柔性方面都呈现良好的特性,也引起了人们的广泛关注,现已成为碳纳米管在光电器件中应用的新的研究热点。

化学所有有机固体院重点实验室与日本索尼公司材料实验室合作,发展了一种优化碳纳米管薄膜技术,显著改善了薄膜的导电性,同时保证了良好的透光度。他们采用一种多步提纯的方法,将薄膜内一些残余物(如表面活性剂)除去,从而提供薄膜导电性。另外,结合化学修饰的方法,提出了一种三明治碳纳米管薄膜结构。结果表明,薄膜的导电性得到进一步提高。最终优化的碳纳米管薄膜代替 ITO 作为阳极,成功地制备了有机发光二极管。相关结果发表在近期的 *Adv. Mater.* 上,并申请了发明专利。《科学通报》动态栏目也报道了该结果。研究成果有望为导电透明的碳纳米管薄膜在光电器件中的应用提供新的基础。



## 大鼠 iPS 细胞最新研究结果

上海生科院生物化学与细胞生物学所博士研究生廖婧和博士后崔春在研究员肖磊指导下,成功运用病毒表达转录因子把大鼠成体细胞成功地重编程到多能干细胞状态。从数百个形态类似胚胎干细胞的细胞克隆中,建立了 22 个类似胚胎干细胞的细胞系。经过进一步筛选、鉴定,最终获得两株符合多能干细胞标准的大鼠诱导多能干细胞(iPS)系。这些细胞系形态类似小鼠胚胎干细胞,具有跟小鼠胚胎干细胞类似的干细胞标记基因的表达,而且在体外和体内都具有向内、中、外三个胚层分化的能力。上述研究结果第一次原则性地证明了 iPS 技术可以为历史上难以建立胚胎干细胞系的物种建立多能的干细胞系;而且这些多能干细胞有可能直接用于产生基因敲除动物和转基因动物。该研究结果将会促进其他物种的 iPS 研究和应用。2008 年 12 月 18 日, *Cell Stem Cell* 提前在线发表了该项工作。

## 化学合成药物研究取得系列进展

上海药物所药物发现与设计中心(DDDC)积极发展新的化学合成方法用于药物合成,取得了一系列重要进展。柳红、郭涤亮、黄河等采用廉价、环境友好的铁铜等催化体系,发展了几种快速高效的 C-C 键与 C-N 键偶联的方法,实现卤代芳烃与多种底物偶联。研究成果发表在 *Org. Lett.* 等多种国际重要期刊上。他们发展的微波促进的钯催化体系,可以使惰性

的氯代芳烃与多种底物进行快速高产率的偶联,适用于 Sonogashira、Suzuki、Heck 和 Buchwald-Hartwig 等偶联反应,具有较高的学术价值和应用价值,研究结果发表在 *J. Org. Chem.* 后,获得国际同行的高度评价,被 *Synfacts* 和 *Organic Chemistry Portal* 作为重要有机合成进展报道。在此基础上,柳红、黄河、李召广等通过微波辅助的手段,建立了液相平行合成技术平台,快速构建出具有不同母核的多样性杂环化合物库,用于多种药物中间体的合成,结果发表在 *Org. Lett.*、*J. Comb. Chem.*、*J. Comb. Chem.* 等上。

柳红指导的研究生邓光辉首次探索了 Ni(II)螯合物诱导合成手性氨基酸的方法学,王江等人对该方法进行了优化,首次采用 Ni(II)螯合物诱导,合成了  $\beta$ -氨基酸等单体、 $\beta$ 2 氨基酸、环状氨基酸、 $\alpha,\beta$ -二氨基氨基酸及其衍生物,丰富了 Ni(II)螯合物诱导合成手性氨基酸的应用范围。与其他手性氨基酸的合成方法相比较,该方法具有合成过程简洁方便、合成的氨基酸结构丰富、光学纯度高、收率好、操作步骤少、可直接得到游离氨基酸等优点,具有很高的应用价值。研究结果论文发表在 *J. Org. Chem.*、*J. Org. Chem.*、*Tetrahedron* 上。

此外,柳红指导的研究生叶德举等在合成抗流感药物 Zanamivir 及其衍生物的基础上,发展了一种双重立体选择性的 2-O-脱乙酰化和 4-胺化全乙酰基保护的唾液酸合成方法,以较高的产率得到 C-4 位环状二级胺取代的唾液酸衍生物以及 C-4 位哌嗪衍生物连接的唾液酸二聚体,为合成非天然唾液酸多聚体提供了新的途径,研究结果发表在 *Tetrahedron Lett.* 和 *Tetrahedron* 上。

## 发现迄今最原始的龟类化石

古脊椎动物与古人类所李淳及其合作者近期在贵州省关岭县发现了处于起源阶段的早期龟类化石,这批原始龟类化石在距今 2.2 亿年前的晚三叠世早期地层。研究表明,这些古代龟类具有细密的牙齿以及锥形状态的甲壳结构,故而被命名为“半甲齿龟”。三叠纪时期的龟类化石在世界上极为罕见,这些化石进一步表明,龟类的起源远较以往的认识更为复杂,年代也更为久远。该发现揭示了长期困扰学术界的“龟甲形成之谜”。2008 年 11 月 27 日出版的 *Nature* 杂志详细报道了这一重大发现,并为此配发了特约述评文章。该项研究参与者还包括加拿大自然博物馆吴肖春博士,美国菲尔德博物馆 Olivier Rieppel 博士,贵州地质调查院王立亭教授以及浙江自然博物馆赵丽君研究员。

## “创新一号 02 星”成功发射

由中科院上海微小卫星工程中心自主研制的“创新一号 02 星”搭载“长征二号丁”运载火箭最近顺利升空。该星是我国首颗 100 公斤以下微小卫星——“创新一号”的后继星,将主要用于水利、水文、气象、电力及防灾减灾等各类监测站点的数据采集和传输。此次发射采用“一箭双星”方式,被同时送入太空的还有一颗“试验卫星三号”。据地面测控中心传来的数据,运载火箭从酒泉卫星发射中心升空约 15 分钟后,“创新一号 02 星”率先与火箭分离;此后约 1 分钟,“试验卫星三号”也实现星箭分离,两颗卫星均成功进入预定轨道。上海微小卫星工程中心透露,根据已收到的卫星回传数据,“创新一号 02 星”在分离后,顺利展开太阳能帆板,目前各系统状态正常,已进入在轨测试阶段。