

a - Si:H 薄膜及 MWECR - CVD 制备技术*

阴生毅 陈光华[†]

(北京工业大学材料科学与工程学院 北京 100022)

摘要 文章回顾了 a - Si:H 薄膜的发展历程,并介绍了其近 10 年的研究状况.为提高 a - Si:H 薄膜的沉积速度,还重点介绍了一种新的微波电子回旋共振等离子体 CVD(MWECR - CVD)技术.该技术的特点是:不含电极,可避免电极溅射造成的污染;等离子区离子密度高,对硅烷能高度分解,从而可显著提高薄膜生长速率;改变磁场位形和结构,可改变等离子体分布及轰击基片离子的能量.文章还分析了其制备 a - Si:H 薄膜存在的问题,提出了今后的研究方向.

关键词 a - Si:H 薄膜,等离子体增强 CVD,微波电子回旋共振等离子体 CVD

Preparation of a - Si:H films by MWECR - CVD

YIN Sheng-Yi CHEN Guang-Hua[†]

(College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract Recent developments over the past decade in the preparation of a - Si:H films are reviewed, with emphasis on a new means to increase the deposition rate by microwave electron cyclotron resonance-chemical vapor deposition (MWECR - CVD). This method does not involve electrodes so that contamination due to sputtering of the electrodes is negligible, the high plasma density can decompose silane effectively so a higher deposition rate can be obtained, and by changing the magnetic field configuration the plasma distribution and energy of the ions bombarding the substrates can be easily changed. Current problems and future research directions are discussed.

Key words a - Si:H films, plasma enhanced CVD, MWECR-CVD

1 引言

氢化非晶硅(a - Si:H)薄膜是一种性能优异的光电子材料,在薄膜太阳能电池、薄膜晶体管和大面积平面显示器等领域起着日益重要的作用.1965年 Sterling 等人^[1]第一次采用辉光放电等离子体技术制备出了 a - Si:H 薄膜,经过 30 多年的发展,特别是薄膜太阳能电池的巨大发展,使得对 a - Si:H 薄膜的研究及应用达到前所未有的高度.伴随 a - Si:H 薄膜的发展,许多新的化学气相沉积(CVD)制备技术不断涌现出来,例如甚高频等离子体增强 CVD(VHF - PECVD)、微波电子回旋共振 CVD(MWECR - CVD)、热丝 CVD(HW - CVD)技术,光 CVD、热扩

展等离子体 CVD 等.在这些技术当中,微波电子回旋共振 CVD,由于离子能量可控、沉积速度高和薄膜光电性能优良,日益受到人们的重视.

2 a - Si:H 薄膜的发展概况及研究现状

2.1 a - Si:H 薄膜的发展概况

非晶硅(a - Si)最初的制备和研究起步于 20 世纪 60 年代初.当时采用的制备方法主要是溅射和蒸镀.采用这两种方法虽可以制备出非晶硅薄膜,但是薄膜中含有大量 5—10Å 的微孔.处于微孔内表

* 国家重点基础研究发展规划(批准号:G000028201)资助项目
2003 - 06 - 16 收到初稿,2003 - 08 - 12 修回

[†] 通讯联系人. E-mail: ghchen@bjpu.edu.cn

面的硅原子,其4个 sp^3 杂化轨道中仅3个成键,余下的1个 sp^3 成为悬键,致使薄膜的悬键密度高达 $10^{20}/\text{cm}^3$ 。过高的缺陷态密度使得当时的非晶硅不适合做任何电子器件,因而始终未能制备出n型或p型的非晶硅。

1965年, Sterling和Chittic等人^[1,2]发明了一种新的非晶硅制备方法,也就是现在广泛采用的射频辉光放电或射频等离子体增强化学气相沉积(RF-PECVD)。在这一方法中,连续不断向真空室送入硅烷(SiH_4),射频等离子体将硅烷分解,分解的硅烷即可沉积于等离子体室内任何物质的表面上,形成坚硬、透明、棕红的非晶硅薄膜。当时发现,采用这一方法制备的非晶硅薄膜具有优异的电子性能。

1975年,英国Dundee大学Spear领导的研究小组首次发现,采用射频辉光放电的方法,可以获得低缺陷态密度的非晶硅并可实现对非晶硅掺杂^[3]。很快,他们利用射频辉光放电的方法第一个获得了非晶硅的p-n结^[4]。

1976年,美国的Paul意识到,射频辉光放电之所以能获得低缺陷态密度非晶硅,可能是由于采用这一技术,使得非晶硅中含有一定量的氢,是氢起到了补偿硅悬键的作用^[5]。后来将氢气引入到溅射法中,也获得了缺陷态密度低的非晶硅薄膜,这从另外一个角度证实了氢的作用。这种含氢的非晶硅,后来称为“氢化非晶硅”,并用“a-Si:H”表示。

1976年,美国RCA公司实验室的Carlson和Wronski利用射频辉光放电的方法制成世界上第一个非晶硅薄膜太阳能电池(电池面积 3.5cm^2 ,效率 1.1%)^[6]。迄今为止,射频辉光放电仍然是非晶硅光伏电池制备的主导技术。

1977年, Staebler和Wronski发现了a-Si:H薄膜的可逆光致变化(Staebler-Wronski效应)^[7]。即a-Si:H薄膜在强光(通常是一个标准太阳的光强, $100\text{mW}/\text{cm}^2$)下照射数小时,光电导逐渐下降,光照后暗电导可下降几个数量级并保持相对稳定;光照的样品在 160°C 下退火,电导可恢复原值。由于这一效应严重地影响了非晶硅薄膜太阳能电池的性能,因此如何降低a-Si:H薄膜的光致衰退效应一直是研究的焦点之一。

对a-Si:H薄膜的可控性掺杂导致了非晶硅薄膜太阳能电池的出现。而非晶硅薄膜太阳能电池由于制造成本较低,且适于大面积制备,在过去的20多年中获得了极大的发展。非晶硅薄膜太阳能电池的发展极大地促进了对a-Si:H薄膜的研究,也促

进了相应制备技术的不断发展。

2.2 a-Si:H薄膜的研究现状

近10年来,国内外对a-Si:H薄膜的研究主要集中在以下四个领域:

一是探索新的a-Si:H薄膜制备技术。这些新的制备技术有,甚高频等离子体增强CVD(VHF-PECVD),微波电子回旋共振CVD(MWECR-CVD),热丝CVD(HW-CVD),光CVD,热扩展等离子体CVD等。

二是在射频辉光放电制备技术的基础上探索新的制备工艺。新工艺有:化学退火法^[8-10]、氢稀释法^[10,11]、掺氟^[12]、本征层掺痕量硼法、采用乙硅烷(Si_2H_6)等。所谓化学退火就是在逐层生长a-Si:H薄膜的间隔,用原子氢或激活的Ar、He原子来处理薄膜,使表面结构弛豫,以减少缺陷和刻蚀过多的氢,在保证低缺陷态密度的同时,降低光致衰退效应;氢稀释法则采用大量(数十倍)氢稀释硅烷作源气沉积a-Si:H合金薄膜。实际上,一边生长薄膜一边对薄膜表面作氢化学退火处理。原理一样,方法更简单,效果基本相当。在制备a-Si:H的源气中加入适量的四氟化硅就可实现a-Si:H掺氟。掺氟使硅网络结构更稳定。本征a-Si:H呈弱n型,掺入痕量硼可将费米能级移向带隙中央,既可提高光灵敏度又可减少光致衰退。采用 Si_2H_6 ,可大幅度提高沉积速率。

三是续研究光致衰退机理及模型。如Branz提出了氢原子碰撞模型^[13,14],该模型认为,光生电子相互碰撞产生两个可动的氢原子,氢原子的扩散形成两个不可动的Si-H键复合体,亚稳悬键出现在氢被激发的位置处,此模型可定量地说明光生缺陷的产生机理,并可解释一些主要的实验现象。

四是探索由非晶和少量微晶(或纳米晶)组成的新的a-Si:H薄膜。1999年Kamei等人^[15]认为,少量的微晶嵌入到a-Si:H的矩阵中可抑制适度光照下缺陷的产生。2001年张世斌等人^[16]报道纳米尺寸的微晶晶粒镶嵌于非晶的母体中,改善了薄膜的中程有序度,提高了薄膜抗光致衰退的能力。由于这种两相材料兼具微晶硅的高稳定性和非晶硅优良的光敏性,因而受到广泛的重视并成为研究的热点。

上述研究都是围绕提高a-Si:H薄膜的性能和制备效率这两个核心展开的,而其中新的制备技术由于可显著改善a-Si:H薄膜的性能和制备效率,因此备受关注。

3 微波电子回旋共振等离子体 CVD 技术

3.1 微波电子回旋共振等离子体 CVD 技术

微波电子回旋共振等离子体 CVD 技术所利用的等离子体,属于电磁波激发而产生的等离子体。就电磁波频率而言,射频等离子体增强 CVD(RF-PECVD)所用频率为 13.56MHz,增加频率至 30—300 MHz,得到甚高频等离子体增强 CVD(VHF-PECVD)继续增加频率,得到微波电子回旋共振等离子体 CVD(MWECR-CVD),其常用频率为 2450 MHz。电磁波频率的大小决定着激发等离子体的电磁波光子能量^[17]。改变电磁波光子能量可直接改变使气体分解的粒子的能量和生存寿命,从而对薄膜的生成及对膜表面的处理机制产生重大影响,并从根本上决定生成膜的结构、电子特性及稳定性。微波电子回旋共振等离子体 CVD 技术之所以得到研究人员的重视,从根本上讲,在于其可以获得较高的电磁波光子能量。

迄今为止,射频等离子体增强化学气相沉积,仍然是 a-Si:H 薄膜研究和大规模工业应用所普遍采用的制备方法。这一方法的主要优点是:可以用较低的衬底温度(200℃左右),重复制备大面积均匀的薄膜,制得的 a-Si:H 薄膜无结构缺陷、台阶覆盖良好、隙态密度低、光电子特性符合大面积太阳能电池的要求。

但是,射频等离子体增强化学气相沉积存在的缺点也是十分突出的,一是薄膜工业化生产时的沉积速度偏低,只有 1—2Å/s;二是制备的 a-Si:H 膜含氢量高,通常有 10%—15% 氢含量,这使得光致衰退比较严重。为了改变这种状况,人们进行了各种尝试,包括采用高功率、高气压,改变反应室的几何尺寸;引入附加离子轰击;采用 Si₂H₆ 气体等等。这样做的结果是,沉积速度得到了提高,但 a-Si:H 薄膜的性能却下降了。

对传统的射频等离子体增强 CVD 技术进行质的改进,根本还在于提高其电磁波频率。当将激发频率从 13.56 MHz 增加至 30—300 MHz 后,甚高频等离子体增强 CVD(VHF-PECVD)技术随之出现。甚高频等离子体增强 CVD 技术^[18—23],其沉积速度可比传统的 RF-PECVD 的数据(1—2Å/s)提高一个量级。不仅大幅度提高 a-Si:H 薄膜的沉积速度,而且薄膜性能也有所改善。另外由于沿用了 RF-

PECVD 的平行板放电方式,也有利于保证大面积成膜的均匀性。

然而,由于甚高频等离子体增强 CVD 技术制备 a-Si:H 薄膜仍在单室内进行。根据射频等离子体增强 CVD 的经验,单室沉积系统生长薄膜时的离子轰击,在一定条件下可能会降低 a-Si:H 薄膜的电子性能^[24]。

在射频基础上大幅度提高频率,成功地实现了 a-Si:H 的高速沉积。这一实践促使人们尝试更高的频率,频率处于更高的微波等离子体逐步受到人们的关注。与此同时,人们已经意识到,射频等离子体和甚高频等离子体,都是在单一且空间狭窄的区域既产生等离子体,又进行薄膜沉积,由于所加偏压较高,薄膜表面承受高能量离子的轰击损伤较为严重。

考虑到要减少单室沉积造成的轰击损伤,研究人员想到应在远离生长薄膜表面的一个单独的区域,产生沉积用的微波等离子体。双室结构的微波电子回旋共振等离子体 CVD 技术(MWECR-CVD),正是在这种背景下得到了发展。图 1 为目前普遍采用的双室结构 MWECR-CVD 装置示意图。

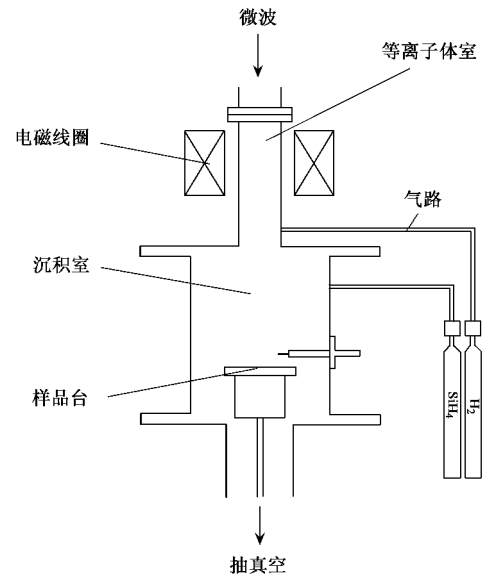


图 1 双室结构的 MWECR-CVD 装置示意图

微波电子回旋共振等离子体 CVD 的工作机理为,频率为 2.45GHz 的微波耦合进入谐振腔(图 1 中的等离子体室),在谐振腔中磁感应强度为 $8.75 \times 10^{-2} \text{T}$ 的区域,电子的回旋频率等于微波频率,从而产生电子回旋共振,有效吸收微波能量,产生高能电子。这时通入反应气体,高能电子对其作用,即可使气体迅速产生电离并形成高度活化的等离子体。

在发散磁场的作用下,产生的等离子体可被导入沉积室,从而对沉积室内的基片进行沉积。

1987年 Kobayashi 和 Hayama 等人^[25,26]报道了采用双室结构的 MWECD - CVD 沉积 a - Si:H 薄膜的情况:薄膜沉积速度达到 28 Å/s,材料光敏性为 5×10^4 。以后,又有许多研究小组开展了类似的工作^[27,35]。文献 [26] 和 [27] 采用光发射谱对 a - Si:H 薄膜沉积进行在线监测,得到 Si/SiH₄ 和 H 的发射强度明显高于 RF - PECVD,证明了 MWECD - CVD 是利用高活性粒子和基团来实现高速沉积的。1997年,韩国的 Moonsang Kang 等人^[31]用 MWECD - CVD 技术制备了 a - Si:H 薄膜,并研究了其特性随 H₂/SiH₄ 变化的关系,他们在较高的沉积速率下获得了高光敏性的 a - Si:H 薄膜。2000年日本的 Itagau, Fuliucla 等人^[35],将脉冲调制微波输入 $\phi 290\text{mm} \times 1100\text{mm}$ 的单谐振腔内,在不加热基片的情况下,获得了光敏性为 2.5×10^5 ,沉积速度为 14 Å/s 的结果。为了配合 a - Si:H 制备工作, Kawai、Itagaki 等人^[34,35]还测试了 ECR 分解硅烷时沉积室的等离子体能量分布。

由上看出,与传统的 RF - PECVD 相比, MWECD - CVD 不仅使 a - Si:H 薄膜的沉积速度显著提高,而且薄膜的光电性能也同成熟的 PECVD 技术制备出的 a - Si:H 相当。

3.2 优势

与射频及甚高频等离子体增强 CVD 相比,微波电子回旋共振等离子体 CVD 的优势是非常突出的,这些优势包括:

(1) ECR 是无内电极放电,与 RF - PECVD 相比,可避免电极溅射对薄膜的污染。

(2) 基片区离子密度高,比相同功率下的射频等离子体增强 CVD 高一个量级。

(3) 低气压,离子自由程较长,沉积向基片的离子能量可通过调节等离子体电位和磁场位形进行控制。

(4) 工艺温度低,可在 50—200℃ 沉积出具有良好物理、化学性质的薄膜。而传统射频等离子体增强 CVD 的温度往往高于 300℃。

(5) 低离子能量, $V_i = 10—50\text{V}$ 。这一能量的离子对于沉积具有良好物理及机械性能的薄膜是极为重要的。

(6) 气体高度分解、高激发态物种和高浓度基团参与薄膜形成。这有利于提高气体利用率和显著增加生长速度。

(7) 等离子体形成与薄膜沉积分室进行,可独立控制轰击样片带电粒子的能量。

(8) 可通过改变磁场位形及结构控制轰击基片离子的能量。

这些优势一旦被充分利用起来,其应用潜力巨大。

3.3 存在问题

利用微波电子回旋共振等离子体 CVD 技术制备 a - Si:H 薄膜已有很多报道,但是通过比较可以看出,各研究小组报道的情况相差非常悬殊。例如,虽然采用类似的沉积装置,文献 [26] 报道的 a - Si:H 薄膜沉积速度为 28 Å/s,而文献 [31] 得到的沉积速度为 7 Å/s;文献 [39] [40] 认为采用纯硅烷等离子体可获得光电性能良好的 a - Si:H 薄膜,而文献 [33] 采用高氢稀释 ($\text{H}_2/\text{SiH}_4 = 15$) 的硅烷等离子体,制备出了高光电性能和高稳定性的 a - Si:H 薄膜和电池。有的采用矩形波导向谐振腔耦合微波,有的采用天线向谐振腔耦合微波;有的采用两个磁场线圈,有的采用 6 个线圈。所用的工艺参数也相差很大,等等。

我们认为,之所以出现上述情况,原因可能在于 (1) 微波能源的传输方式较为复杂。微波的传输方式与射频及甚高频电磁波已完全不同,为防止辐射,微波通常要用特殊波导管传输,并存在各种电磁模式,而射频和甚高频电磁波通过线缆即可传输; (2) MWECD - CVD 要实现强的电子回旋共振,在设计 and 调节上均存在一定的复杂性。对于 2450MHz 的微波,应使磁感应强度为 $8.75 \times 10^{-2}\text{T}$ 的区域与微波电场强度最大的区域相吻合,若两个区域偏离较多,将使微波转换效率、等离子体能量及稳定性急剧下降。但是由于微波电场十分复杂,实现这种匹配的难度较大; (3) 影响微波等离子体的因素较多。这些因素分为四个方面,第一是属于宏观可控的因素,如微波输入模式和功率、工作气压、气体混合比、流量等;第二是几何因素,如微波馈入位置、磁场布置、谐振腔形状及尺寸等。第三是样片控制方面的因素,如样片制备、样片台温度等;改变其中如何一个因素,都会使等离子体发生变化。正是由于这些原因,使得应用微波电子回旋共振等离子体 CVD 沉积 a - Si:H 薄膜非常复杂,出现相差悬殊的情况甚至相反的趋势也就不足为奇。

3.4 今后的研究方向

针对微波电子回旋共振等离子体 CVD 沉积 a - Si:H 存在的上述现象及原因,我们认为,要充分

利用微波电子回旋共振等离子体 CVD 的优势,今后的研究应在现有基础上进行系统的比较优化设计,并实现等离子体参数的计算机自动化控制.为此,应完善以下研究工作:

(1)研究微波各种电磁模式、等离子体室几何形状及尺寸对获得大面积均匀强微波电场的影响.

(2)研究新型的磁场位形,在保证等离子体产生及薄膜沉积正常的条件下,尽可能使系统简约紧凑.

(3)研究沉积工艺条件与 a-Si:H 薄膜性能的关系,建立相应的数据库.

(4)研制高效大面积制备高质量 a-Si:H 薄膜的自动化控制系统.

根据这一思路,我们开展了初步的研究工作,并取得了一些有益的成果.例如,在矩形微波波导中引入铜三角形均分片,使进入等离子体室的微波电场强度明显增加,微波转换效率由约 60% 提高到 90% 以上,实现了对微波的强电子回旋共振吸收,在等离子体室获得了高电离密度的等离子体;另外通过在沉积室引入永磁体,使其与外部的单个磁场线圈组合,获得了一种新型的发散-收敛型轴向磁场,使样片台上方的等离子体密度大幅度提高,从而使得 a-Si:H 薄膜沉积速度比未引入之前提高一倍以上.有关内容将另文发表.

4 结束语

自从 a-Si:H 薄膜诞生以来,经过 30 多年的发展,人们对它有了越来越多的了解,也发展了许多新的制备技术和新的工艺.但是,对于 a-Si:H 薄膜的认识目前仍处于探索之中.之所以出现这种状况,一方面是因为 a-Si:H 薄膜既为非晶,又为薄膜(其厚度仅为亚微米或几百纳米),而非晶和薄膜这两个领域都还存在很多复杂的问题没有解决;另一方面, a-Si:H 薄膜的成分、结构及性能与制备技术及工艺密不可分,许多新的高精尖制备技术和工艺的出现,又为氢化非晶硅(a-Si:H)薄膜带来了新的研究内容和领域.

就 a-Si:H 薄膜的制备而言,通过提高电磁波的频率,可有效地增加电磁波光子能量,故甚高频等离子体增强 CVD 和微波电子回旋共振等离子体 CVD,都能够实现对 a-Si:H 薄膜的高速沉积.

作为目前频率最高的电磁波激活的等离子体增强 CVD 技术,微波电子回旋共振等离子体 CVD 在沉积 a-Si:H 薄膜方面,具有其他方法不可比拟的优势.但是由于这一技术的复杂性,还有许多研究工

作要做.今后应在系统的优化设计、等离子体参数的计算机自动化控制等方面进行重点研究.

参 考 文 献

- [1] Sterling H F, Swann R C G. *Solid State Electron*, 1965, 8 : 653
- [2] Chittic R C, Alexander J H, Sterling H F. *J. Electrochemical Soc.*, 1969, 116 : 77
- [3] Spear W E, LeComber P G. *Solid State Communications*, 1975, 17 : 1193
- [4] Spear W E, LeComber P G. *Philos. Mag.*, 1976, 33 : 935
- [5] Paul W. *Proc. 7th ALSC Eidingburgh*, 1977, 334
- [6] Carlson D E, Wronski C R. *Amorphous Silicon Solar Cell. Appl. Phys. Lett.*, 1976, 28 : 671
- [7] Staebler D L, Wronski C R. *Appl. Phys. Lett.*, 1977, 31 : 292
- [8] Jang J, Kim T, Koh S *et al.* *Mat. Res. Soc. Proc.*, 1991, 219 : 775
- [9] Yoshino K, Futako W, Wasai Y *et al.* *Mat. Res. Soc. Proc.*, 1996, 420
- [10] Hong W, Zhong F, Mendez V. *Mat. Res. Soc. Proc.*, 1996, 420 : 393
- [11] Srinivasan E, Lloyd D, Fang M *et al.* *Mat. Res. Soc. Proc.*, 1996, 420 : 399
- [12] 陈光华,张仿清. *半导体学报*, 1983, 4 : 149 [Chen G H, Zhang F Q. *Chinese Journal of Semiconductors*, 1983, 4 : 149 (in Chinese)]
- [13] Branz H. *Solid State Commun.*, 1998, 105(6) : 387
- [14] Branz H. *Phys. Rev.*, 1999, B 59, 5498
- [15] Kamei T, Stradins P, Matsuda A. *Appl. Phys. Lett.*, 1999, 74, 12 : 1707
- [16] 张世斌,廖显伯,安龙等. *物理学报*, 2002, 51 : 1811 [Zhang S B, Liao X B, An L *et al.* *Acta Physica Sinica*, 2002, 51 : 1811 (in Chinese)]
- [17] 赵华侨. *等离子体化学与工艺*. 北京:中国科学技术出版社, 1993. 2 [Zhao H Q. *Plasma chemistry and technology*. Beijing: Chinese Scientific and Technical Press, 1993, 2 (in Chinese)]
- [18] Ziegler Y, Curtins H, Baumann J *et al.* *Mat. Res. Soc. Proc.*, 1989, 149 : 81
- [19] Chatham H, Bhat P. *Mat. Res. Soc. Proc.*, 1989, 149 : 447
- [20] Oda S, Yasukawa M. *J. Non. Cryst. Solids*, 1991, 137&138 : 677
- [21] Shah A, Dutta K, Wyrsh N *et al.* *Mat. Res. Soc. Proc.*, 1992, 258 : 15
- [22] Zedlitz R, Heintze M, Bauer G. *Mat. Res. Soc. Proc.*, 1992, 258 : 147
- [23] Hautala J, Saleh Z, Westendorp J *et al.* *Mat. Res. Soc. Proc.*, 1996, 420 : 83
- [24] Cabarrocas P, Morrin P, Conde J *et al.* *Mat. Res. Soc. Proc.*, 1990, 192 : 745
- [25] Kobayashi K, Hayama M, Kawatomo S *et al.* *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1987, 26 : 202

[26] Hayama M , Kobayashi K , Kawamoto S *et al.* J. Non. Cryst. Solids , 1987 , 97&98 : 273

[27] Kitagawa M , Setsune K , Hirao T. Jpn. J. Appl. Phys. , 1988 , 27 , 11 : 2026

[28] kitagawa M , Hirao T. Jpn. J. Appl. Phys. Part - 2(Lett) , 1990 , 29 , 10 : L1753

[29] Zhang M , Nakayama Y , Nonoyama S *et al.* J. Non. Cryst. Solids , 1993 , 164—166 : 63

[30] Jagannathan B , Wallace R L *et al.* Conf. Record of 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference - 1997. New York : IEEE 1997 , 1451 : 675

[31] Kang M S , Kim J Y. Mater. , Chem. Phys. , 1997 51 : 152

[32] Kang M S , Kim J Y. J. Non-Cryst. Solids , 1997 , 221 : 103

[33] Dalal V L , Maxson T , Han K *et al.* J. Non - Cryst. Solids , 1998 , 227—230 : 1257

[34] Kawai Y , Veda Y. J. Mater. Proc. Tech. , 1999 , 92—93 : 230

[35] Itagui N , Fuliucla A , Yoshizawa T *et al.* Tech. 2000 , 131 : 54



· 读者和编者 ·

2004 年第 5 期《物理》内容预告

<p>研究快讯</p> <p>能量与空间分辨的单分子显微术——透过碳笼“看”富勒烯包合物内的金属原子(王炜华等);</p> <p>绝对测量 He 原子快电子碰撞双激发的电子关联动力学(刘小井等).</p> <p>评述</p> <p>半导体量子点及其应用(Ⅱ)(赵凤瓊等).</p> <p>前沿进展</p>	<p>光子晶体光纤及其应用(赵玲慧等);</p> <p>GeSbTe 与 AgInSbTe 体系相变光盘的研究进展(张广军等).</p> <p>“神舟”飞船与物理学专题</p> <p>“神舟”号飞船的微重力测量(薛大同等);</p> <p>“神舟”五号的空间环境保障(刘四清等).</p> <p>实验技术</p> <p>材料化学分析的物理方法(Ⅱ)(曹则贤).</p>
--	--

· 书评和书讯 ·

科学出版社物理类新书推荐

书 名	作(译)者	定价	出版日期	发行号
现代声学理论基础	马大猷	¥48.00	2004 年 3 月	O - 1830
计算电磁学要论	盛新庆	¥32.00	2004 年 1 月	O - 1900
医用加速器	顾本广	¥110.00	2003 年 10 月	R - 1192
非均匀材料力学	王保林 韩杰才等	¥39.00	2003 年 10 月	
软 X 射线与极紫外辐射的原理和应用	张 杰	¥59.00	2003 年 9 月	O - 1682
磁性液体理论及应用	李德才	¥45.00	2003 年 8 月	O - 1711
超导理论	章立源	¥40.00	2003 年 9 月	O - 1640
非线性随机动力学与控制	朱位秋	¥48.00	2003 年 5 月	O - 1725
应用力学对偶体系	钟万勰	¥42.00	2003 年 3 月	O - 1542
广义相对论和引力场理论	胡 宁	¥15.00	2003 年 3 月	O - 1157
激光的衍射及热作用计算	李俊昌	¥34.00	2003 年 3 月	O - 1553
高激发原子	詹明生	¥35.00	2003 年 2 月	O - 1683
微米纳米尺度传热学	刘 静	¥23.00	2002 年 3 月	O - 1289
半导体光谱和光学性质	沈学础	¥88.00	2003 年 4 月	O - 0507
粉末衍射法测定晶体结构	梁敬魁	¥68.00	2003 年 4 月	O - 1697

欢迎各界人士邮购科学出版社各类图书. 如果您有出版意向, 请和我们联系. 凡购书者均免邮费, 请按以下方式和我们联系:
 电 话 : 010 - 64017957 64033515 电子邮件 : mlhukai@ yahoo. com. cn 或 dpyan@ cspg. net
 通讯地址 : 北京东黄城根北街 16 号 科学出版社 邮政编码 : 100717 联系人 : 胡凯 鄢德平
 欢迎访问科学出版社网址 <http://www.sciencep.com>