

新型薄膜电子材料——氢化非晶硅

韩大星

当今最重要的电子材料是半导体单晶硅，用它不但可制做各种二极管、三极管还可将成千上万个元件集成在一个小硅片上。从大型计算机到家用电器、儿童玩具，其核心部分都是用单晶硅做的集成电路。市场上需求多少半导体集成电路已经成为一个国家现代化水平的标志。单晶硅器件技术的发展一方面是不提高单位芯片上的元件集成度，另一方面是向薄膜器件的新领域开拓。特别是在七十年代分子束外延技术出现以后，制做原子尺度的单晶薄膜已成现实，但分子束外延设备昂贵，而且薄膜器件仍需做在单晶衬底上，对材料的晶格匹配要求严格，故至今只有砷化镓为基的器件成为产品。

有没有其它途径制做薄膜半导体器件？除单晶半导体器件外，什么是未来最有市场的电子材料及器件？从

近十年国际电子材料及器件发展情况已可看清非晶硅薄膜及其器件的生命力。

介绍非晶硅之前先说几句非晶材料的家族史。从原子结构特点看，固态材料可分为单晶、多晶、微晶、非晶。单晶材料的原子在整个空间呈周期性规则排列，而非晶材料只保持了第一近邻原子排列有序，从整体看其原子是混乱无规地排列的。非晶体是一种既古老而又年青的材料。说它古老，登月宇航员带回的月球熔岩已有上亿年历史，数百年前人类就会烧制的玻璃也是非晶体。说它年青，作为固体物理的研究对象并开发它的广阔用途只是近二十余年的事。非晶态固体材料按其性能划分为非晶金属(又叫金属玻璃)、非晶磁性材料及非晶半导体等，应用前景最广阔、物理现象最丰富的是非晶半导体，其中的佼佼者要数氢化非晶硅。它是一种厚度为微米左右的薄膜材料，可以用蒸发、溅射或化学气相沉积制备到任意衬底上。例如可在玻璃衬底或不锈钢衬底上淀积非晶硅太阳能电池。

对非晶半导体的探索始于二十年前，当时一位只有高中毕业程度的美国技师在他的工作中需要开关器件，经过许多实验他发明了一种新的开关，叫做“玻璃半导体”开关。这一发明打破了人们认为只有用晶态半导体才能制做电子器件的传统观念，开辟了非晶半

表1 国际市场上出售的非晶硅产品(1986-1987)

器件名称	产品名称	生产厂家
太阳能电池	计算器、手表、充电器等	三洋、富士、夏普、Arco、Chronar等
光接收器	电光图象机、复印机、发光二极管	佳能、三洋
光电导体	彩色传感器、光传感器等	三洋
成像传感器	接触型成像传感器	富士-施乐
阳光控制膜	热反射浮标玻璃	Pilkington
减反射/抗静电膜	电视屏幕	松下
薄膜场效应管	显示屏、电视屏、逻辑电路	三洋、东芝、佳能、西铁城、GF、Thomson、CSE、CNET等
位置灵敏探测器	电子书写图象传感器	ECD 公司

导体研究的新领域。这个发明家就是现在的美国能源转换器公司经理奥弗辛斯基。当时他制做开关的材料是硫系玻璃，它是非晶半导体材料的一类，本文将着重介绍非晶半导体的另一类——非晶硅基材料。

至1975年，对非晶硅薄膜材料的研究取得重大突破，在英国丹迪大学斯皮尔教授的实验室中制出了可以控制掺杂的非晶硅薄膜，这就为制作各种薄膜电子器件开辟了道路。不到一年的时间，在丹迪大学和美

表2 非晶硅可能的新产品(1987预测)

摄像靶	无源层
气敏传感器	电荷耦合器件
快速探测器和调制器	存储器
二极管	应力计
双极晶体管	光刻掩膜版
光波导	平板型电视
光纪录	大屏幕显示器
发光二极管阵列	

国的 RCA 实验室就分别做出了非晶硅太阳能电池，在八十年代，非晶硅电池已经在许多民用商品中取代了单晶硅电池。由于非晶硅成本低、工艺简单、有很高的光敏性，可以制成大面积器件，可与不同材料衬底匹配，又与原有的半导体集成电路工艺部分兼容，所以世界上各大电子公司都看准了这一方向，激烈竞争推出新的产品以优先占领市场。表1、表2分别列出国际市场上已有的非晶硅产品及近期内可能推出的产品。其中已有大量产品的是太阳能电池，有巨大潜在市场的是平板显示器、图象传感器等。

国内在非晶半导体材料及应用研究方面发展也较迅速。1978年全国第一届非晶态材料及物理会议上，全国只有二、三个小组报导了硫系玻璃和多晶硅研究。但现在研究小组已发展到三十多个(大部分研究非晶硅)。国家已安排了“七、五”重点科技攻关太阳能电池

表 3

	单晶硅 (c-Si)	非晶硅 (a-Si:H)
原子结构	硅原子在整个空间中周期性排列, 四面体键合	硅原子在薄膜中无序排列, 第一近邻四面体键合.
制备方法	液-固反应如区熔法, 提拉法	气-固反应如等离子增强化学气相沉积
物性及特点	光吸收系数在可见光区为 10^3 cm^{-1} 电子迁移率高 可以掺杂制做器件 器件面积 < 单晶直径, 如 5 吋只能与相同晶格匹配, 需外延生长. 制做器件工艺复杂, 成本高	光吸收系数在可见光区为 $10^4 \sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 电子迁移率低 可以掺杂制做薄膜器件 器件面积不受限制, 已可做 10 吋大小可与各种衬底匹配, 如玻璃、金属、陶瓷、塑料. 工艺简单、成本低

项目及非晶态综合的应用研究和基础研究项目。哈尔滨-克罗拉太阳能电池公司引进了美国的设备和技术, 将批量生产非晶硅太阳能电池。

为什么非晶硅材料和器件在国际科技界和工业界受到重视和发展迅速, 从这种新材料的基本特点来分析便可找出其原因。表 3 给出非晶硅与单晶硅的比较。

由表看出非晶硅器件在高的光敏性能、高的光吸收、大面积、不同衬底匹配性、低成本等都优于单晶硅器件, 当然, 在高速器件方面单晶有绝对优势。

有趣的是, 尽管非晶硅已能制成很多种器件, 但人们对它的许多基本物理问题尚不清楚。非晶半导体物理仍是凝聚态物理中一个十分活跃的前沿分支。二十年前奥弗辛斯基发明了第一个非晶半导体器件后, 引起固体物理学界一次震动, 吸引了不少知名物理学家的注意。Mott 和 Anderson 曾因无序系统电子理论的研究而获诺贝尔物理学奖。十余年前, 人们还以为非晶半导体材料中缺陷态太高, 不可能掺杂。太阳能电池的制造成功改变了这个观点。物理学家们细心探索才发现了非晶硅能够掺杂的奥秘——适当含量的氢原子在无规网络中补偿了硅悬键, 从而大大降低了缺陷态密度, 也松弛了薄膜的内应力。这就是今天大量用于制造薄膜器件的 a-Si:H (被称为氢化非晶硅)。1986 年芝加哥大学 Fritzsche 教授和 Exxon 公司的 Ables 博士分别制备出了非晶半导体超晶格材料。在一个微米的薄层中可以包含数百子层, 每一子层的厚度可控制在几个原子尺度。对于本来原子就是混乱无序排列的网络, 这几乎是不可思议的事。两年后的今天, 世界上已有许多实验室都可以生长非晶半导体的超晶格材料, 并且可以测量它的量子尺度效应。总之, 非晶硅基薄膜, 提供了一个新奇有趣又有实用价值的研究课题。新的现象、新的模型、新的性能、新的材料及新的应用总是出乎意料的诞生出来。难怪诺贝尔奖金获得者 Mott 至今还在说: 我对非晶半导体还一无所知。

现代物理知识

1989 年第 2 期

目 录

- 北京正负电子对撞机和高能物理……叶铭汉 (1)
 一九八八年诺贝尔物理奖和杰克·斯坦博格……
 ……………吴为民 (3)
 三分裂变的发现……郭奕玲、沈慧君 (6)
 高临界温度氧化物超导体……管惟炎 (8)
 高能天体物理前沿鸟瞰(下)……方励之 (10)
 物理世界的空间尺度和时间尺度……熊光炯 (13)
 核乳胶与核层次粒子研究……艾若 (14)
 相图及应用……车广灿 (17)
 生命世界中的磁——介绍生物磁学及其应用……
 ……………李国栋 (20)
 冲破量子极限——光压缩态……吴令安 (22)
 你听说了吗? ——来自 24 届国际高能物理会议的消息……张肇西 (24)
 分子光谱家族的新成员——表面增强喇曼光谱……
 ……………吕大军 张鹏翔 (25)
 分子电子学简介……张道中 编译 (27)
 核电站和核潜艇的“核”……王连璧 (29)
 新型薄膜电子材料——氢化非晶硅……韩大星 (31)
 北京正负电子对撞机彩色照片……
 ……………高能所摄影组 封一 封四
 杰克·斯坦博格……吴为民、本刊记者 封二
 钱三强、何泽慧在居里实验室……郭奕玲供稿 封三

主 办 中国科学院高能物理研究所
 编 辑 《现代物理知识》编辑部
 邮政编码 100039 北京 918 信箱

主 编 黄 涛
 出 版 科 学 出 版 社
 北京东黄城根北街 16 号

印刷装订 中国科学院印刷厂
 总发行处 北京市 邮 政 局
 订购处 全 国 各 邮 电 局
 国外总发行 中国国际图书贸易总公司
 (中国 国际 书店)

北京 2820 信箱

一九八九年三月出版

国内统一刊号: CN 11-2441