

·成果简介·

“几种新型薄膜材料基础研究”取得重要进展

吴全德^{*} 吴锦雷

(北京大学电子学系,北京 100871)

[关键词] 成膜技术,光电薄膜,磁性薄膜,硬质膜

新型薄膜材料对当代高新技术起着重要的作用,是国际上科学技术研究的热门学科之一。开展新型薄膜材料的基础研究直接关系到信息技术、微电子技术、计算机科学等领域的发展方向和进程。新型薄膜的发展取决于人们对先进薄膜材料、先进的成膜技术和薄膜结构的控制,以及对薄膜的物理、化学行为的深入研究。目前,对薄膜材料的研究正在向多种类、高性能、新工艺等方面发展,其基础研究也在向分子层次、原子层次、纳米尺度、介观结构等方向深入,新型薄膜材料的应用范围正在不断扩大。

国家自然科学基金重大项目“几种新型薄膜材料基础研究”于1994年开始启动,1997年底结束。全国8个单位的科研人员参加,研究取得了重要进展。

1 新的成膜技术研究

(1)首次制备出调制波长在深亚微米级的 $\text{In}/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 两种调制结构膜,并实现了10 GHz 超声谐振输出,从而为制备超高频电声换能器开辟了新的途径;利用紫外脉冲激光晶化技术在很低的衬底温度下获得了完全钙钛矿结构的 PT, PZT 铁电膜,此技术有重要应用价值。(2)制备了 BNN/KTP, RTP/KTP 等外延光波导膜,提出光波导膜中二次谐波发生“非临界位相匹配”的概念。(3)利用激光分子束外延技术,生长了高质量的 BaTiO_3 和铁电薄膜, YBCO 超导膜和 $\text{BaTiO}_3/\text{YBCO}$ 多层膜,并探索制备了 $\text{BaTiO}_3/\text{SrTiO}_3$ 和 $\text{BaCuO}_2/\text{CaCuO}_2$ 等新型人工超晶格薄膜。结果表明,激光分子束外延薄膜比普

通激光淀积薄膜的表面光滑,无明显颗粒,薄膜质量有明显提高。(4)研究和制备了多种磷脂 LB 分子膜以及用于检测 IgG 和原发性肝癌 AFP 的免疫分子自组装功能膜,并研制成功 LB 膜仿生嗅乙醇传感器,能在室温下工作,灵敏度高,可逆性好,响应快,能定量检测。此项工作已通过中国科学院的鉴定,具有国际先进水平。(5)首次用 ICB 法在 GaAs 衬底上外延生长 N 掺杂的 P-ZnSe 单晶薄膜,发现 ZnSe 的晶格常数随 N 掺杂浓度的增加而增加,这一现象与 MBE 方法的情况相反。

2 光电薄膜研究

(1)从理论上得到超微粒子金属薄膜的光电发射时间响应约 50 fs,论证了该材料可应用于超快光电器件中。(2)对可经历暴露大气的 Ag-O-Ba 薄膜的特性进行了深入研究,测量到它的量子产额要比相同条件下的金属薄膜高两个数量级。这说明 Ag-O-Ba 薄膜在应用于红外超短激光脉冲检测方面具有很大的优点。(3)对埋藏于介质中的金属超微粒子薄膜的光学瞬态响应进行了研究,发现这类薄膜具有很好的光学瞬态响应,响应时间仅为 200 fs,有可能在高速光学和光电器件方面得到应用。这些现象在国际上是首次报道。(4)在研究用于高亮度电子注入器的光电转换薄膜方面取得了氧化物阴极和 Na_2KSb 阴极可以在激光驱动下被支取每平方厘米几百安培大电流的成果。

3 磁性膜研究

(1)对铁磁金属/非磁金属多层膜和铁磁金属/

* 中国科学院院士
国家自然科学基金“八五”重大项目,批准号 59392800。
本文于 1998 年 3 月 13 日收到

非金属隧道结的层间耦合(IEC)及巨磁电阻(GMR)进行了理论研究,提出了单带紧束缚电子模型,研究了GMR阻值与温度关系,并给出经验公式,提出了新的非共线层间耦合理论和随层厚变化而振荡的自治理论,预言了电子自旋极化共振隧穿和高GMR现象。(2)在Co/Cu多层膜中,首次观察到耦合作用随缓冲层厚度的周期变化;首次用Cu核磁共振方法在Fe/Cu多层膜中初步验证了层间耦合引起Cu膜中的自旋极化及其空间振荡分布。(3)系统研究了Pd基多层膜的结构和性质,发现多层膜的饱和磁化强度、有效各向异性常数、交换劲度系数、有效g因子等参量均随层厚的变化发生自治的振荡,这样的研究工作在国际上少见。(4)巨磁电阻薄膜研制有很大进展,研究了几种新型多层结构和自旋阀膜的磁性和GMR,在GaAs/Mn/Co/Mn/Co/Mn多层结构中观察到室温下GMR为正值,达15%,是目前国际上已知最大的正GMR;在Fe/Si多层膜中观察到国际上在该系统中最高的磁电阻。(5)研究了Mn基磁光膜的应用特性,在三层膜Co/Al/Co和Fe/Ag/Fe中,发现磁光效应与光学常数随Al和Ag层厚度变化而振荡,与交换耦合振荡相似。(6)研究了FeCrSiB纳米晶薄膜和FeNiCrSiB非晶薄膜的巨磁阻抗效应,分别获得了110%和38%的巨磁电感比和巨磁阻抗比,这是目前国际上已知的最好结果,具有很大的应用价值。(7)研究了钙钛矿结构的氧化物的巨磁电阻和机理,对居里温度 T_c 移动较大的原因提出了解释。

4 硬质膜研究

(1)进行了对于自由空间热丝法气相生长金刚石温度场和流场模拟计算及实验研究,揭示了其温度场不均匀性、热阻塞和热绕流现象是膜层质量波动和生长速率低的重要原因。(2)生长金刚石薄膜多种工作模式流场模拟,和形核、生长及膜层质量实验研究表明,通过合理选择反应器结构和生长条件,可以控制反应状态参数空间场,实现大面积高速生长,为设计工业型气相生长金刚石反应器提供了依据,展示了生长金刚石膜新的发展前景。(3)在非平衡热力学研究金刚石气相生长方面,在国际上首次提出激活低压金刚石热力学耦合模型,还进一步提出非平衡定态相图的新概念,证实和展示了利用非生命体系的负熵反应制备新材料可能性的宽广前景。

5 其他

本项目进行中,开展了多方面的国际合作交流活动,使我们了解到国际最新学术动态,能把研究工作瞄准国际上最先进的水平。例如,中国科学院金属研究所与德国夫朗和费涂层和表面技术研究所合作,得到关于分离送入反应气体生长金刚石的一些结果。硬质薄膜课题组成员在1996年8月访问欧洲时与诺贝尔物理奖获得者I. Prigogine对非平衡热力学相图问题进行了讨论,很有收获。中国科学院物理研究所和美国Nebraska大学合作,利用对方对薄膜制备和高灵敏磁滞回线测量条件,又结合自己的研究思想和过去的研究结果,在低矫顽力La-Co磁性膜和高矫顽力SmFeSiC磁性膜方面共同合作做出了非常好的结果,对Fe/Mo多层磁性膜等研究也与他们进行了合作。物理研究所还与美国Wayne州立大学建立合作关系,请对方制备样品,共同发表了论文。他们在1995年组织了国际暑期讲座“现代磁学”,邀请了磁性薄膜、多层膜、巨磁电阻效应、自旋阀等方面著名的理论和实验学者来华讲学,这些交流对我们的研究工作很有帮助。又例如,北京大学光电薄膜课题组与英国King's College, London University合作,将自己制备的薄膜材料用于英国的“超光速现象”的实验,使我们的科研层次提高到国际前沿水平。中国科学院物理研究所成膜技术课题组从第三世界科学院争取到5000美元资助,先后派出2名访问学者到德国和日本从事与该课题有关的研究,共同发表论文。南京大学曾3人次参加欧洲的材料学会年会和韩国的材料学术会议,并邀请中国留美博士回国开展合作研究。

在本项目执行期间,共发表学术论文476篇,其中在国际3种著名学术刊物《Phys. Rev. Lett.》,《Phys. Rev. A, B》和《Appl. Phys. Lett.》上发表31篇;论文被三大检索系统检索298篇次,其中SCI收录204篇次。参加国际学术会议共41人次;举办国际学术会议3次,举办双边学术讨论会1次。获得省部级科技奖励3项。被批准的专利有5项,申请中的专利9项。

在人才培养方面,培养博士生50名,其中28名已获得学位;培养硕士生50名,其中30名已获得学位;接收博士后14名;1人获国家杰出青年基金;一批中青年学术骨干得到培养和锻炼。

FUNDAMENTAL RESEARCH ON SOME NEW-TYPE THIN FILM MATERIALS

Wu Quande Wu Jinlei

(Department of Electronics, Peking University, Beijing 100871)

Key words growth technology of thin films, photoelectronic thin films, magnetic thin films, thin films having special hardness

(上接 68 页)

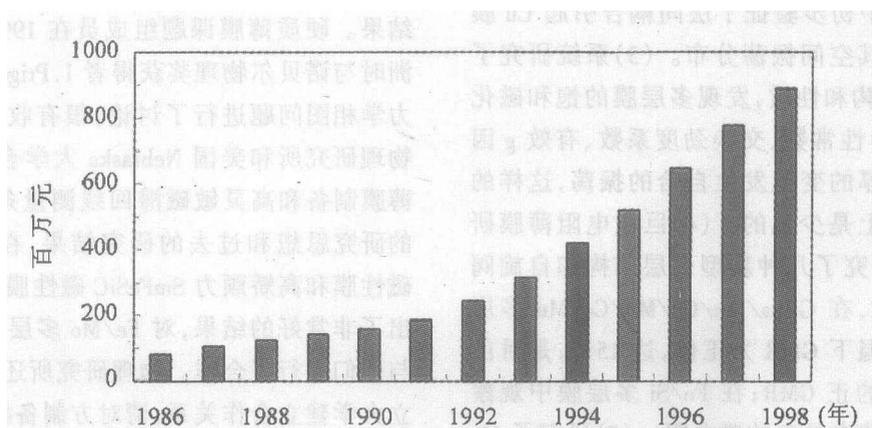


图1 1986—1998年度国家自然科学基金委员会年度经费情况

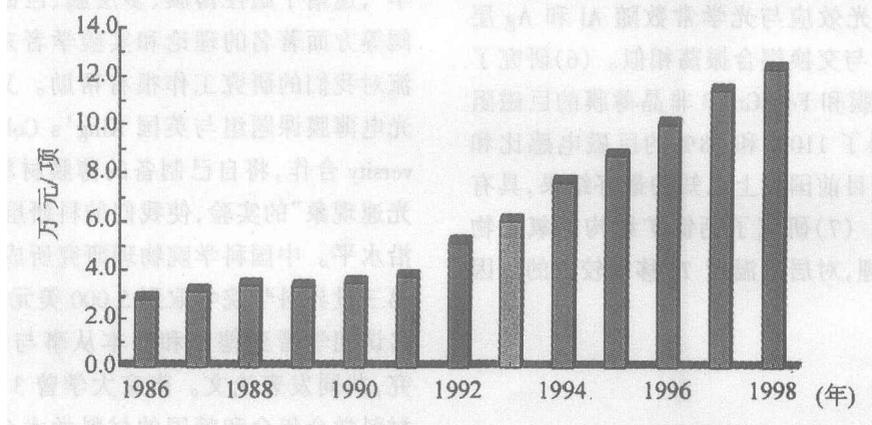


图2 国家自然科学基金面上项目平均资助强度

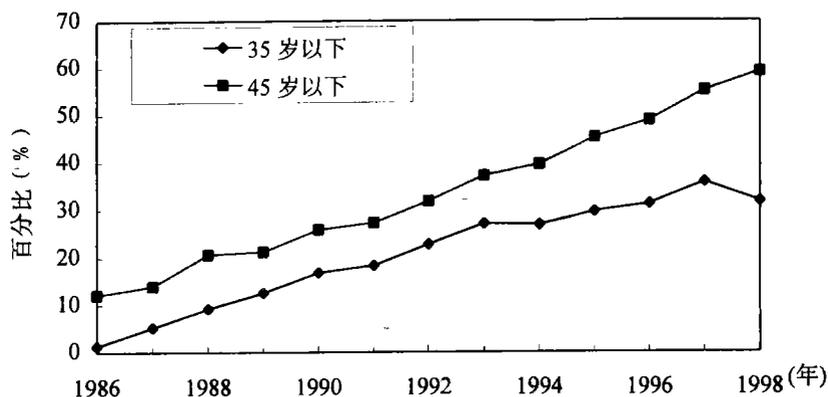


图3 国家自然科学基金面上项目负责人情况

(综合计划局 供稿)