

物理学与材料科学结合的机遇与挑战^{*}

马纪东 朱逢吾[†]

(北京科技大学材料物理系 北京 100083)

摘要 物理学,特别是凝聚态物理学与材料科学的交叉在近几十年已取得丰硕的研究成果.文章分四部分:(1)简要介绍了材料与材料科学的基本概念;(2)回顾近代历史上物理学与材料科学交叉的一些典型例子;(3)介绍在表面和界面、缺陷、理论和模型、微结构表征、新材料以及新工艺等领域物理学与材料科学交叉的简况及材料研究的一些前沿问题;(4)讨论物理学在纳米材料发展中的作用.

关键词 材料科学,物理学与材料科学的交叉,纳米材料

INTERFACE BETWEEN PHYSICS AND MATERIALS SCIENCE

MA Ji-Dong ZHU Feng-Wu[†]

(*Department of Materials Physics, University of Science and Technology of Beijing, Beijing 100083, China*)

Abstract The interface between materials science and physics, especially condensed-matter physics, has been a fruitful area of scientific research throughout the modern history of both disciplines. This paper is divided into four sections: (1) The definition materials as well as materials science and engineering are briefly introduced. (2) Selected highlights in recent history of the interaction between physics and materials science are reviewed. (3) Some latest developments in the interaction between physics and materials science e.g. in the areas of surfaces and interfaces, defects, theory and modeling, microstructure characterization, new materials and new processes are briefly reviewed. (4) The effect of physics on the development of nanomaterials is discussed.

Key words materials science, interface between physics and materials science, nano-materials

材料科学与物理学有着密切的联系,一方面,物理学作为一门基础科学总是向人类的智慧提出一些最深刻的挑战;另一方面,材料科学中不断遇到的难题又吸引着物理学家去解答,而且新材料、新工艺和各种微结构分析方法的研究又涉及到物理学的各个领域.它们的有机结合,就发展成为一门交叉学科——材料物理.本文通过材料与材料科学的基本概念的介绍、物理学与材料科学交叉历史的回顾、交叉的一些主要领域及纳米材料的介绍,简述了物理学与材料科学交叉的特点和材料物理研究的一些前沿问题.

1 材料与材料科学

广义上说,材料是指能为人类制造有用器件的物质.但随着社会的发展,自然资源和能源的减少,材料的定义必须考虑其经济和社会因素,因此材料的定义发展为:材料是人类社会所能接受的、经济地制造有用器件的物质.在上述定义中,定语“人类社会所能接受的”包括资源、能源和环境因素.

历史学家曾用“材料”来划分时代,例如,石器时代、陶器时代、铜器时代和铁器时代等.材料的发展标志着人类文明的进步.现代科学技术的发展更离不开材料.因此,可以说材料是人类物质文明的基础.

材料按实用性大致可分为金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料.早期,这三类材料的发展几乎是互不关联的,分属不同的工业部门.在高等院校中有关专业也分别设在不同的系.后来,在学术交流中,人们发现这三类材料中的基本科学问题,例如,微结构与性能关系,合金化,缺陷,表面与界面,裂纹的萌生与生长,断裂等,有许多相似之处.于是在20世纪五六十年代,冶金学,化学和陶瓷工程学中与凝聚态物理概念密切相关的部分逐渐融合在一起,发展成为一门独立的学科——材料科学.

材料科学与工程的研究领域更广泛.材料是以

^{*} 国家自然科学基金重大项目(批准号:19890310)
2001-03-09 收到

[†] 通讯联系人. E-mail: fwzhu@public.fhnet.cn.net

其各种各样的性能(properties)服务于人类.实验表明,材料的性能与其各层次的微结构密切相关.在原子尺度上,微结构是指材料中有哪几种原子,以及这些原子是如何排列的.各种微结构是由材料的制备工艺或合成工艺决定的.最终,材料制成器件后是在一定的综合条件下服役.因此,上述的四个要素:性能、结构与成分、加工与合成工艺和服役性能(performance)以及它们相互间的紧密的关系,就是材料科学和工程的研究领域,可用图1中四面体的四个顶点和六条线形象地表示^[1].

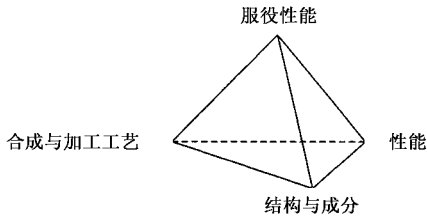


图1 材料科学与工程的研究领域,四个要素和它们相互间的密切关系

需要指出的是,这里的性能一般是指在实验室中简单条件下测量得到的各种指标,而服役性能是指做成器件(或工件)的材料在复杂的服役条件下的响应.显然服役性能对材料质量的要求更为严格.

一般来说,对传统材料,材料科学侧重于研究材料的性能、结构以及它们之间的相互关系,材料工程则侧重于研究材料的制备或合成工艺和材料的服役性能.但是随着科学技术的发展,各种先进材料,尤其是低维材料的制备工艺本身就有不少科学问题要解决,材料科学与材料工程之间的界限愈来愈模糊.

2 物理学与材料科学交叉的历史回顾

在物理学,特别是凝聚态物理学与材料科学的交叉领域,重大的科学研究成果层出不穷.一方面物理学的新成就大大推动了材料和材料科学的发展,另一方面,材料和材料科学中难题的挑战又吸引着物理学家.这样一种互动的过程,使得这个交叉领域一直生机勃勃.

下面我们举一些近代历史上物理学与材料科学交叉的典型的例子.

金属在拉伸过程中会发生形变和断裂.20世纪30年代,利用量子物理已能计算出晶体中原子间的结合力.但是理论计算出来的金属强度比实际强度要高2个数量级.这一尖锐的矛盾使物理学家提出

位错的概念,提出金属形变是由位错的运动造成的,在较小的应力作用下开始运动.位错的存在及其运动规律,不但为金属材料强度的提高指明了方向,也为其他材料(如半导体、金属间化合物)有关性能的改进提供了思路.

1947年,晶体管的发明是物理学与材料科学交叉的范例.这一非凡的发明是直接基于晶体中电子的量子理论,这种量子概念的具体化是一个材料问题.只有人们能够制备出具有足够纯度和晶格完整性的半导体材料后,晶体管才成为现实的器件.在晶体管的基础上,后来半导体器件不断小型化、集成化,不仅对材料生长技术、加工技术提出更高的要求,而且也使物理学家面临建立新的理论体系的挑战,如表面、界面的结构,能带的弯曲,表面态的分布等成为科学研究的新热点.半导体超晶格概念最初是物理学家的设想,但很快就得以实现,并开辟了人工设计材料的新纪元,而人工设计材料的多样化发展也为物理学由研究天然材料转向人工材料创造了物质基础.半导体超晶格、量子阱、量子线及量子点的低维半导体量子体系成为半导体物理学和半导体材料科学的重要交叉领域.

激光的发现,最初完全是出于科学上的好奇心,而不是出于技术上的刻意创新.激光的发明是基于对量子物理的深刻理解.如今激光技术已在许多领域,例如测量学、制造业、医学和光学通信中得到广泛应用.激光技术所以得到如此迅速的发展,完全依赖于物理学家与材料科学家之间紧密的合作,从初期阶段,制备出均匀掺杂的红宝石单晶,直到现在发展新型半导体激光材料和结构.反过来激光可以作为探测新材料光学性能的有力手段,其实验结果将有利于促进量子电子学的进一步发展.

20世纪70年代,重整化群理论应用到临界现象,对材料的研究产生了深远的影响.例如,当铁磁体加热到居里点附近,或者液体加热和加压到气相和液相无法区分的临界点时,体系序参量产生巨大涨落.临界点在相变理论中起着独特的作用.当体系从高温趋近其临界点时,它开始在微观水平上调整,产生巨大的涨落.到临界点时,出现序参量,某些热力学量变成无限大.临界点在种类繁多的系统中出现,例如铁磁体中的居里点,超导体的临界温度 T_c ,合金中的有序-无序转变温度,以及反铁磁体的Neel温度等.在趋近临界点时,这些不同体系的行为显示出巨大的相似性.因此在物理学中形成了致力于临界现象的研究领域,取得重要成果.物理学家开

始系统地探讨在多元系中相平衡的复杂形式,包括解释合金相图中的多临界点,以及仅利用合金组元的原子性质进行数值计算以预言上述相图.与此相关,上述研究成果有助于对材料中相变动力学过程(例如脱溶沉淀过程和凝固过程)更深入的理解^[2].

3 物理学与材料科学的交叉

近几十年来,人们愈来愈多地需要从分子、原子尺度来研究和控制材料,这使得物理学家加深理解物理世界的愿望和材料科学家制备和控制材料的愿望联系在一起.许多重大的发展都取决于物理学家和材料学家紧密的合作.物理学家对新现象给予解释,材料科学家制备出相应的新型材料.对材料中物理现象的深刻理解,经常导致对材料的新认识,从而使这些材料能在一些不可预料的方面得到应用.在许多情况下,物理学和材料科学之间的界限是无法严格划分的,即使给出了某种界限也只是定义或个人的偏爱.

物理学和材料科学的研究范围都十分广阔.由于篇幅限制我们不可能讨论所有的交叉领域,下面仅介绍当前十分活跃的一些交叉领域,如表面和界面、缺陷、理论和模型、微结构表征、新材料和新工艺等几个方面,然后再讨论物理学在纳米材料发展中的作用.我们介绍过去和现在相互促进的一些领域,也介绍一些材料科学中尚待解决的问题,这无疑在今后需要研究的课题.

3.1 表面和界面

表面和界面科学是物理学和材料科学交叉的一个重要的领域.许多相互作用都发生在材料的表面和界面,体状态的性质决定材料的热力学过程,而表面和界面通常控制着动力学过程.材料表面和界面的研究已成为近年来物理学和材料科学研究很活跃的一个领域.

物理学的新进展为材料的表面和界面的理论与应用研究提供了可能.例如,离子束是物理学的一个重大发现,人们从20世纪60年代开展了用离子束注入材料表面以改变表面特性的研究.而70年代中期应用于半导体材料表面改性,用离子注入精细掺杂取代热扩散工艺,发展了平面集成.70年代末,离子注入、离子刻蚀和电子束曝光技术的结合,形成集成电路微细加工新技术,为半导体材料的发展奠定了基础.当前离子束、电子束和激光束的发展也在其他多种材料表面加工中得到广泛的应用.

表面和界面只占材料很少的体积,物理学为研究只有几层原子的结构和成分,发展了许多特殊技术,如扫描探针显微镜(SPM)、电子能量损失谱(EELS)、扩展X射线吸收精细结构谱(EXAFS)、X射线光电子能谱(XPS)、俄歇电子能谱(AES)、紫外线光电子能谱(UPS)、低能电子衍射(LEED)、高分辨透射电镜(HREM)和原子探针-场离子显微镜(AP-FIM)等方法,它们对理解表面与界面作出了重要贡献.

催化和腐蚀是人们经常提到的由表面控制的两个过程.遗憾的是,到目前为止,催化(每年为化学工业创造数十亿美元的财富)和腐蚀(每年造成数百亿美元的损失)的机理还不十分清楚.为研究它们的动力学过程,物理学家、材料科学家和化学家正在通力合作,其中物理学家提供了实验工具和电子态的理论,材料科学家集中研究结构、晶粒大小和表面、界面偏聚在这些过程中的作用;化学家提出了化学反应的知识和应用.

近年来,薄膜功能材料成为研究的热点材料,其中表面和界面所占的相对比重增大,相应的物理效应也更为突出.例如,光的干涉效应引起选择性透射和反射;电子与表面碰撞发生非弹性散射会使电导率、霍尔系数、电流磁场效应等发生变化;当薄膜厚度比电子的平均自由程小得多且与德布罗意波长相近时,在膜的两个表面之间往返运动的电子就会发生干涉,与表面垂直运动相关的能量将取分立值,由此会对电子输运产生影响;在表面,原子周期性中断,因而将产生表面能级,表面态数目与表面原子数有同一量级,对于半导体等载流子少的物质将产生较大影响,表面磁性原子的近邻原子数减少,引起表面原子磁矩增大等都是当前理论和应用研究的课题.

表面和界面在微电子学方面也是极为重要的.半导体和金属界面,半导体和氧化物界面的性质对器件有重大的影响,但是人们对界面的电性能,如肖特基势垒知之甚少.晶界是一类重要的内界面,它对材料的性能产生重要的影响.要有效地提高太阳能转换效率,必须控制多晶太阳能电池的晶粒大小.晶界也影响材料的物理和化学特性,因此研究晶界原子和电子结构,杂质偏聚,解释晶界与掺杂复合的量子效应,探索材料强度及脆性的微观机制是当前晶界电子理论研究的重要内容.

总之,表面和界面的研究不断地在理论上和实验上对物理学家提出巨大的挑战,而每一关键问题

的解决都可能具有巨大的实际应用价值。

3.2 缺陷

许多先进材料均为单晶,但没有一种单晶是完美的,其性质往往由晶体缺陷所决定。这些缺陷可能是点缺陷,如空位或杂质原子,它们会影响原子运动和扩散过程,这对时效沉淀、受损伤晶体的退火等现象有重要的作用;这些缺陷也可能是线缺陷,如位错,它们决定了固体的力学性能,而且对于结晶过程、相沉淀、相转变也起了重要作用。半导体中的缺陷会影响材料的电学性质,甚至会使器件失效。因此在单晶材料的应用中,缺陷的控制是绝对必要的。

物理学家已经在原子水平上建立模型,解释缺陷如何影响材料的宏观性质,分析它们的来源,这些都加深了人们对缺陷结构和性质的理解。材料科学家在对缺陷深入认识的基础上,在实践中不但提出了减少缺陷的方法,如在半导体硅材料研究中相继提出无位错硅单晶生长方法,还提出利用缺陷的方法,如在集成电路用的硅片中广泛采用“缺陷工程”等措施,大大改善了材料的使用性能,提高了器件的成品率,并为材料发展开辟了新路。

对硅中缺陷的研究比较详细,但仍存在许多问题有待解决。如硅中不同缺陷的成因和本质,它们对材料和器件性能的影响,以及与缺陷相关联的杂质的行为和控制,仍是要继续深入研究的课题。对其他半导体材料中的缺陷了解得更少,控制更难,例如降低砷化镓、磷化铟单晶的位错密度,研究位错与点缺陷、微沉淀物间的关系就是十分重要的课题。

在非单晶材料中,缺陷同样十分重要。例如,反应堆内壁材料受辐照后点缺陷的产生与湮灭规律及其对材料性能的影响,还有不少课题要研究。此外如在准晶、薄膜等材料中缺陷的形态及其对性能影响的研究。

3.3 理论和模型

理论和模型对材料科学的贡献是大量的而且是多方面的,一些是直接的,但有許多是间接的。

计算物理学是材料科学家广泛应用的新工具,并促进了计算材料学的诞生。定量模型的发展是物理学和材料科学交叉的另一个主要部分,物理学家已提出了许多详细的材料工艺模型,如非晶和无序材料中努力改善模型和使用计算机模拟。物理学的一些新概念也常常在材料科学中得到应用,如分形是一个重要的理论概念,它在相变、断裂和微结构演化方面有很多应用前景。统计力学方法,例如重整化理论在临界现象和微结构演化中也是非常重要

的。对微电子工业十分重要的晶体生长曾经是相当大的模型和计算机模拟课题,该课题的研究使人们能在原子水平上相当详细地了解这个复杂的生长过程。渗流概念也已用于相分离和玻璃结构。液晶中的相变理论已经与生物功能膜的活动相关联^[2]。

物理理论和模型促进了材料科学的发展,但是现在也仍然有许多挑战。例如,非晶态的结构和弛豫性质还很不清楚,对非晶半导体的电子性质知之甚少。在前面提到的许多材料中,缺陷结构和电子性质还需要从理论上深入探讨,在材料科学中还需开展微观与宏观之间相互关联机制和相互跨越问题的理论和模型的研究。这对物理学家来说,存在着许多诱人的机遇和挑战。

3.4 微结构表征

过去几十年中,基于近代物理学原理的测定材料微结构的仪器不断涌现,其中影响最大的要数1986年获诺贝尔物理学奖的电子显微镜(被誉为20世纪最重大的发明之一)和扫描隧道显微镜(被认为是20世纪80年代世界十大科技成就之一),以及由它们派生出来的各种相关仪器。其他获诺贝尔物理学奖的项目,如X射线(1901年)、穆斯堡尔谱(1961年)也都对材料的发展产生深远的影响。

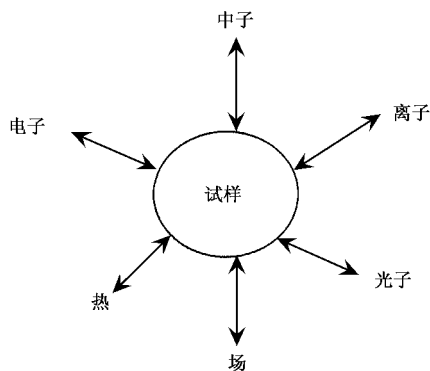


图2 各类显微镜和谱仪的原理示意图

各类显微镜和谱仪的基本原理如图2所示,其中的圆圈代表待分析试样,指向试样(向内)的箭头表示用来激发试样的各种探针,图中共6种。试样对这些激发可能产生的响应用离开试样(向外)的箭头表示,这些响应中包括了有关试样的各种信息。每一个向内箭头和一个向外箭头的组合,可以构成一种潜在的分析技术。从图2看出,只有36种组合可供选择,人们已对所有这些种组合进行过尝试,大约有半数组合已被或多或少地普遍应用。当然,实际的

测试仪器种类数比这些组合数更多很多。实际上,一种组合可能发展成几种完全不同的测试仪器。例如对于电子-电子组合,即入射束为电子,当从样品激发出来的也是电子的情况下,如果收集从样品表面弹性散射的电子,则可得到样品表面原子排列的信息(低能电子衍射技术 LEED),如果测量表面散射电子的特征能量损失,在高低不同的能损区,又可得到内层电子能级激发、外层电子气的集体振荡和表面晶格振动的不同信息。因此新的测试仪器种类的数目远不止以上的估计。此外旧的测试技术还可以通过改进,或用新的理论模型分析所得到的信息,使测试性能得到提高。如今,空间分辨率在一定的条件下已能观察到单个原子,时间分辨率已达到 10^{-15} s,快于分子振动周期,有可能更仔细地研究某些动力学过程。可以毫不夸张地说,没有这些分辨率愈来愈高的现代测试仪器,材料科学不可能获得今天如此巨大的进步。

微结构的定量描述一直是材料科学中的重要课题,成为物理学家和材料科学家合作的又一领域。这方面的工作才刚刚开始。

3.5 新材料

物理学对新材料的发现和材料的新应用有直接的作用。智能材料的研究是近年来材料科学与工程领域的热点之一,有人把 21 世纪称为智能材料世纪。智能材料是一门多学科的交叉,其中一些分支的发展是与物理现象的发现和物理理论的指导密切相关的。例如,形状记忆合金就是由偶然发现的物理现象发展起来的。它在某些领域已达到实用化程度,但在许多领域仍有待进一步完善,例如扩大实用合金种类等。光导纤维材料是现代信息中最重要的传输材料,用其制成的光纤传感器,具有优异的特点,但其物理理论基础仍是当前器件研究的主要课题之一,如一些材料的实用性、传感器的灵敏度的限度和适应性等。

高温超导材料是当代材料科学的又一个热点。1986 年以前人们寻找到的超导材料的临界温度 T_c 最高仅有 23.2K;1986 年 K. A. Müller 和 J. G. Bednorz 发现在 35K 的超导现象,这是最近几十年来物理学和材料科学领域中的重大突破之一,由于这一成就,他们在 1987 年获得了诺贝尔物理学奖。自 1901 年以来,因为超导研究而获得诺贝尔奖的有 8 位物理学家,这足以说明超导电性在物理学中的重要地位和物理学对超导材料发展所起的重要作用。目前高温超导仍处于研究阶段,一方面是高温超导理论尚

未建立,高温超导体向传统理论提出挑战,因此如果物理学家给超导一个合理的解释,不但会消除材料发展的障碍,也将对凝聚态物理学的发展产生极为深远的影响;另一方面是实践应用上的困难,例如,何时才能找到室温下稳定的高温超导体,如何解决超导体和非超导体的衔接,如何降低成本,使样机实用化,这些实用上出现的困难对物理学和材料科学都是挑战和机遇。

物理学家也促进了导电分子晶体、导电聚合物的发展及对分子组合的理解。生物医学材料是材料科学和医学间重要的相关领域,物理学家也面临着人工材料和生命体系之间的复杂现象的挑战。

3.6 新工艺

物理学主要通过提供新技术和对原有工艺的改进来促进工艺技术发展。

离子束刻蚀技术是由物理学家开拓的,而且其与材料表面的相互作用涉及到等离子体物理和原子物理理论。由于其可在较低温度成膜,可溅射沉积各种材料,适用于高性能、高功能和特殊性能的薄膜的要求,可用来探索新材料。

激光技术在材料科学也得到广泛应用,如激光拉曼光谱与 XRD 技术配合可确定新材料的晶体结构,它也是研究半导体材料的重要手段。激光还可以用来研究材料表面,激光探针可以用于材料的微区成分分析,而且激光束作为载能束之一,可用于制备新材料和对材料表面改性,是近十几年来材料科学的新技术之一。

外延是一种制备单晶薄膜的技术,分子束外延是新发展起来的典型的外延制膜方法,它的发展也是与物理学相关的。

随着材料科学中工艺技术的发展,对物理学也提出更高的要求。例如半导体集成电路集成度的增加、最小线宽的缩小、芯片面积的增加,使离子注入、激光退火、吸除工艺等在半导体器件制备中更加重要,在完善集成电路级晶片加工工艺和封装技术方面,在发展半导体材料微区的自动、快速和无损检测手段,实施集成电路制备的在线监控,研究新的测试方法方面,对物理学都有许多重要的机遇存在。

4 物理学在纳米材料发展中的作用

1959 年,著名物理学家、诺贝尔奖获得者费恩曼预言,人类可以用小的机器制作更小的机器,最后将变成根据人类意愿,逐个地排列原子,制造产品,

这是关于纳米技术中最早梦想。20 世纪 70 年代, 科学家开始从不同的角度提出关于纳米科学的构想^[3]。1981 年, 德国学者格莱特首次提出纳米材料的概念^[4]。今天, 纳米材料和加工技术的出现, 正在把他们的向往展现在人类面前。

纳米材料科学研究是与凝聚态物理学研究紧密结合的。纳米材料至少在一维方向上受到纳米尺度调制, 可以分为三维、二维和一维。这种独特的结构特征就产生了新的物理现象, 如量子限域、介电限域效应、表面、界面效应、小尺寸效应、量子尺寸效应等。这预示着微观结构的新问题, 如电子的相关性、电子能级及其分布、表面结构和表面态、局域化、量子输运和量子隧穿等物理问题, 这也预示着宏观性质的新变化, 如强度、硬度增大, 低密度、低弹性模量、高电阻、低热导率等优良的性能。理论不仅可以解释这些性能, 而且为材料的改性和发展新一代高性能的纳米材料创造了条件。

纳米材料是一种新型材料, 人们对它的特殊性能的应用抱有极大兴趣。例如纳米微粒的小尺寸效应, 可用来制成磁性信用卡、磁性钥匙、磁性车票等, 还可制成磁性液体, 应用于电声器件、阻尼器件、润滑等。纳米陶瓷的塑性高、烧结温度低, 但仍具有类似于普通陶瓷的硬度。纳米金属材料熔点极低, 不仅可以在低温下烧结成合金, 而且可望将一般不可熔的金属冶炼成合金, 制成质量轻、韧性好的“超塑”钢等特种合金。纳米颗粒也是一种极好的催化剂, 不仅能提高催化效率, 还可以改善材料的催化选择性。纳米半导体材料有可能成为新的光电子材料。随着颗粒尺寸减少, 禁带宽度增大, 发光颜色变化的特征具有广泛的应用前景。20 世纪 90 年代以来, 碳纳米管的发现成为纳米材料发展的新亮点^[5], 它是典型的一维量子线, 有奇特的物理性质, 即在平行于它的轴向加一磁场时, 通过它的磁通量是量子化的。

纳米材料具有广泛的应用前景, 但其实用化还依赖于制备技术的发展及人们对其结构性能的进一步理解, 这需要材料科学、物理学、化学和化学工程等多方面的配合与协作。作为未来全球科技发展的

关键技术之一的纳米科技的研究和应用, 必将有着十分广阔、诱人的发展前景。

5 结束语

物理学研究的进展促进了材料科学的发展, 同时材料科学中的问题也向物理学家提出意义深远的挑战, 它们是紧密结合的, 从最基础的科学研究到最直接的技术应用没有截然的界限, 特别是随着科学技术的高速发展, 这种联系更加明显。从 1901 年至 2000 年的诺贝尔物理学获奖项目中, 据我们统计, 与材料科学有直接或间接联系的约有 70 项, 其中材料科学基础理论方面的约有 6 项, 与材料的性能、结构、机理研究有关的约 29 项, 与材料的测试技术、仪器、器件应用有关的约 35 项。其中不少项目对物理学和材料科学研究都有重大意义, 如第一届获奖项目伦琴的 X 射线的发现, 既是拉开现代物理学革命序幕的第一项重大成就, 又为 X 射线学以及材料的一系列 X 射线研究、表征和测试方法开辟了道路。如中子的发现既是核物理学的重大发现, 又为材料物理中探索物质成分、结构的研究, 提供了中子活化分析、中子散射技术等研究方法。而穆斯堡尔效应的发现, 既是凝聚态物理学的理论研究, 也发展了材料的研究方法。因此, 这些诺贝尔物理奖项也是对物理学和材料科学交叉学科发展的支持。2001 年 10 月, 欣闻 21 世纪第一年的诺贝尔物理奖项目是因发现一种新的物质状态, 并可用于精确测量和纳米技术而被选中的, 无疑这是一个好的预兆, 祝在 21 世纪物理学和材料科学的共同发展有一个美好的未来。

参 考 文 献

- [1] Committee on Materials Science and Engineering *et al.* Materials Science and Engineering for the 1990s. Washington: National Academy Press, 1989
- [2] National Research Council *et al.* Physics Through the 1990s. Washington: National Academy Press, 1986
- [3] 庾晋, 周艳琼, 子荫. 半导体情报, 2001, 15 卷 Yu J, Zhou Y Q, Zi Y. Semiconductor Information 2001, 15 卷 (in Chinese)
- [4] Birringer R. *et al.* Phys. Rev. Lett. A, 1984, 365: 102
- [5] Iijima S. Nature, 1991, 56: 354

李荫远院士新书赠阅

编辑部现有李荫远院士编著的《当代新诗 100 首赏析(1949—2000)》若干, 每本均有李先生的亲笔签字。为与物理学界广大诗歌爱好者交流沟通, 李先生愿意向《物理》的读者赠送该书。凡喜好诗歌的读者, 可以向编辑部来信免费索取, 来信请注明详细通讯地址以及个人简单信息, 数量有限, 送完即止。