

* 国际交流 *

从第二十一届国际半导体物理会议 (ICPS-21) 看半导体物理学的发展*

齐晓寰 王启明**

(半导体研究所)

【摘要】 本文概要介绍了 ICPS-21 的情况,通过对近几届 ICPS 会议论文内容的比较研究,分析了半导体物理学的发展趋势。

一、ICPS-21 概 况

第 21 届国际半导体物理会议 (ICPS-21) 于 1992 年 8 月 10 日至 14 日在北京举行,作为国际纯粹和应用物理联合会 (IUPAP) 半导体委员会组织的最重要的国际学术会议,ICPS 自 1950 年首届会议以来,前 20 届均在欧洲、北美和日本召开,这是首次在发展中国家召开,1986 年,由黄昆教授和谢希德教授牵头开始申办 ICPS-21 的准备工作。1988 年在华沙召开的 ICPS-19 上通过决定 1992 年的 ICPS-21 在北京召开。对于中国半导体物理界来说,这次会议具有非常意义。会议由复旦大学和中国科学院半导体研究所承办,谢希德教授任组织委员会主席,黄昆教授和著名美籍华人科学家张立纲博士任国际程序委员会主席,王启明教授任地区委员会主席。

以往历届会议在国外举行,我国代表参加人数很少,这次会议为中国有较多的学者参加提供了方便条件。在来自 31 个国家和地区的近 600 名与会代表中,录取会议论文 400 多篇,其中有 90 篇来自中国学者,并有四篇邀请报告。七位年轻科学家获大会颁发的青年作者奖,其中两位是中国学者。

八篇大会论文代表了半导体物理研究的最新成就,既有理论上的突破,又有新材料的发现,也包括了传统半导体材料研究的新成果,如:分数量子霍尔效应、单电子电荷效应、III-V 族半导体缺陷亚稳性、高压下半导体光谱研究、量子阱中的多电子效应、超晶格中的 Wannier-Stark 效应、碳 60、多孔硅等等。400 余篇会议论文涉及半导体物理的各个领域、各个方面:电子结构、光学特性、输运特性、吸收特性、表面反应、热载流子、激子、声子、隧穿、跃迁、局域化、相变等,这是对近两年来半导体物理研究成果的一次全面展示。

按照 ICPS 的传统,会议的专题报告分为两部分:科学部分和技术部分。科学部分有两篇论文,一篇是美国 LBM 公司的 R.M.Feenstra 教授关于 STM (扫描隧道显微镜) 的邀请报告,另一篇是赵忠贤教授作的关于高 T_c 超导体的报告,这无疑代表了近十年来凝聚态物理的两项最重要成就。技术部分包括半导体的两个重要应用领域:微电子学和光电子学。

* 本文主要参考了黄昆教授在 ICPS-21 闭幕式上的总结报告

** 学部委员、半导体研究所所长。

二、对半导体物理学发展趋势的几点分析

为便于比较分析, 我们把半导体物理研究分为如下几个分支领域: 1. 体材料, 2. 表面与界面, 3. 异质结构与超晶格, 4. 小量子系统, 5. 杂质与缺陷, 6. 其它。

我们统计了包括本届在内的最近五届 ICPS 会议的论文数量, 得出论文数在上述各领域的百分比分布图(分布图附后), 从中可以窥见近年半导体物理研究的趋向。

(一) 研究方向从体材料向结构材料转变, 结构材料研究有可能引发基础研究的新发现和应用领域的变革

近期半导体研究的一个主要特征是从体材料向结构材料的转变。

从分布图中即可看出这种变化, 随着体材料(领域 1) 方面论文比例的持续减少, 异质结构与超晶格(领域 3) 论文显著增多, 如果再把与领域 3 密切相关的领域 4 (即小量子系统) 一起考虑的话, 那么, 结构材料研究的发展趋势就更加显著了。

结构材料研究得以迅速发展的基础, 是随着淀积技术和工艺技术的发展而出现的量子阱和超晶格, 量子阱和超晶格的出现引入了结构材料研究的两个基本性的概念: 空间限制和超周期性。

H. Stormer 教授的名为 “The Status of FQHE and Wigner Lattice” 的大会报告和其它关于 Wannier-Stark 效应的文章集中反映了超周期性物理研究的重大进展。我们知道, 在电子态行为中, 超周期性导致子带的形成, 虽然这个问题早已受到理论研究和实验工作关注, 但直至最近, 包括低场区、高场区和 Wannier 区的子带输运机理的工作才取得了一定的进展, 得出了许多富有启发性的结论。

对低维约束的研究工作也已持续多年, 前几届会议上有许多以 2 维约束为主的异质结构和量子阱方面的文章, 最近, 更低维约束的工作有了重大进展。从本届会议的论文中可以看出, 人们为了从不同方面认识 1 维和 0 维约束进行了大量的工作。这些工作一方面主要是针对这些结构的制备和基本特性的研究, 另一方面, 对于量子线、量子点和侧超晶格 (lateral superlattices) 的研究也有所突破。在所有这些工作中, 最出色的恐怕是基于库仑阻塞效应的单电子物理, 这一成果出现在 Goldman 教授的名为 “Single-Electron Charging Effects in Semiconductor Heterojunctions” 的大会报告和其它几篇文章中。

结构材料研究的这种趋势意义深远。多年来, 半导体在本世纪的现代工业中的应用常常给人一种感觉: 半导体研究是应用科学, 而非基础研究。这显然是不对的。结隧穿和量子霍尔效应的发现之所以获得诺贝尔奖, 正是因为它对基础物理的意义。应该注意到, 隧穿和量子霍尔效应的发现都可以说是源于对结构材料的研究。结构材料研究的目的常常超出了半导体材料本身, 半导体材料与现有制备技术的结合使得结构材料的研究势在必行, 而这些工作的更深远意义则在于为诱发新的、特殊的物理过程创造条件。

H. Stormer 教授在他的大会报告中回顾了异质结构中的分数量子霍尔效应和 Wigner 晶格的进展, 这些成果极大地激发了人们对所谓的强关联系统的研究兴趣, 成为物理理论研究的一个核心问题。同样, 在量子线和量子点中发现的低维效应和小量子系统中的介观物理, 也即分布图中的领域 4, 代表了物理基础研究的另一前沿。

上述表明, 结构材料研究的迅猛发展为基础研究的重大发现提供了丰厚的土壤, 也必将引

发应用领域的新变革。

至于体材料,分布图显示出结构材料的发展是以体材料的减弱为代价的,这种减弱显然是相对的。归根结底,体特性是结构材料的形成乃至研究的基础,所以体材料研究将在一定程度上继续发展,一些会议论文也正说明了这一点。

(二) 表面与界面、杂质与缺陷仍存在争议,其复杂性和启发性使得该领域的研究将继续是引起兴趣的焦点

分布图中领域 2 和领域 5 所指的表面与界面、杂质与缺陷的研究历史几乎和半导体物理的历史一样长。Schottky 势垒、表面态、浅杂质、缺陷中心虽然早在第一届 ICPS 会议之前就已经是学术界的重要课题,但它们在将来还将继续占有一席之地。其原因是多方面的,首先,任何材料都有其外部形状,也就是表面与界面,并且任何材料内部都不可避免地存在缺陷和杂质。第二,它们对材料技术和材料物理过程常常产生的影响决定了它仍将是半导体材料与器件研究的重要内容。第三,表面与界面、杂质与缺陷的问题常常很复杂,这也促使它们成为物理研究的重要对象。尽管研究历史久远,在今天,人们在许多问题上还存有争议,如 DX 中心、EL2 中心缺陷的解释和对 Schottky 势垒形成的解释等。

这次会议上有关表面与界面最有代表性的,也最引人注目的成果是直接或间接涉及 STM 及其应用的工作。理论方面,分子动力学方法的各种应用值得进一步注意。STM 的发展,不仅将对表面研究产生深刻影响,还必然在包括杂质和缺陷在内的其它领域找到更广泛的应用。缺陷研究的核心问题仍然是 DX 中心和 EL2 中心,虽然人们对这些中心的结构和亚稳性依然没有找到一致的解释,但为解释它们而提出的物理模型所产生的意义已超出了对这些中心的解释。

(三) 新材料、新特性的发现不断为半导体物理研究增加新内容

分布图中的领域 6 虽名为“其它”,但事实上是以有关特殊材料或新材料的文章为主。在不同的时期,这方面的工作有所起伏,事实上,具有某种特性的新材料的出现已经成为半导体研究的一个特征。夹层化合物、非晶半导体、半磁半导体都曾丰富了半导体材料的内容。IUPAP 也一直致力于在 ICPS 会议上寻找新材料和工艺与器件物理的新对象,因此在会议之前征集论文的通知中,我们明确提出征集这方面的文章。本届会议上报告的新材料之一是 C_{60} , 在各个方面都表现不同寻常的 C_{60} 显然已经成为一个引人入胜的新课题。另一种新材料是多孔硅,有关多孔硅的几篇论文给与会学者留下深刻印象并引起热烈的讨论。我们相信经过一段时间的工作,将会看到这两种材料以怎样的姿态加入到半导体材料的行列中。

从本届会议论文中还可以发现另一个问题,传统的半导体材料仍然吸引着人们的兴趣,尤其是锗硅和基于锗硅的异质结构。在硅衬底上生长高质量的无应变 Ge Si 缓冲层的生长手段的成功将带来深远影响。我们也看到,人们对 II-VI 族化合物重又发生浓厚兴趣,这种新兴趣的出现部分是因为最近在基于 Zn Se 的注入激光方面的新成果。

从体材料到结构材料的转变,在一定程度上说明,维度和尺寸越来越小是现代科学与高技术发展的一个趋势。随着基础研究与技术科学的日益融合与相互促进,半导体物理研究必将极大地促进未来的高新技术产业发展。

总的来说,第二十一届国际半导体物理会议,无论是从其所报告的成果质量来看,还是在组织工作方面,都是一次成功的大会。