

光电子物理及应用前沿问题^{*}

——介绍全国首届光电子物理及应用前沿问题研讨会

褚君浩

(中国科学院上海技术物理研究所 红外物理国家重点实验室 上海 200083)

摘要 综述了全国首届光电子物理及应用前沿问题研讨会有关情况,讨论了若干光电子物理及其在高技术应用领域的前沿科学技术问题,从物质运动形态转化的角度探讨了当前主要的光电子材料、器件和相关的物理基础研究.

关键词 光电子,光电子材料,光电子器件

ADVANCED TOPICS IN OPTOELECTRONIC PHYSICS AND APPLICATIONS

Chu Junhao

(National Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical Physics,
The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083)

Abstract Some aspects of the "Workshop on Advanced Topics in Optoelectronic Physics and Applications" are reported, with emphasis on optoelectronic materials, devices and the basic physics involved from the view point of the transformation of matter motion.

Key words optoelectronics, optoelectronic materials, optoelectronic devices

1 概况

全国首届光电子物理及应用前沿问题研讨会于1998年5月12日至16日在浙江省宁波市举行.研讨会的目的是为了讨论光电子物理基本科学问题及其在光电子高技术中的可能应用,特别注重于当前国际学术界在光电子物理及其高技术应用领域的前沿科学技术问题,把基础科学研究的部分结果引向高技术应用,把高技术应用中提出的规律性问题引向基础研究,希望通过研讨有助于促进建立光电子物理研究与相关高技术应用之间的桥梁.

光电子物理是光学与凝聚态物理学的交叉,是研究光辐射场与物质相互作用的学科,其核心是研究光与电相互转换的物理机制,以及光转换成电,或电转换成光,或光光相互转换的有关器件原理及光源、探测器、调制器、控制器、光导纤维等相关元部件的特征.由于光电子学

将光学与电子学紧密相结合,使它具有巨大的技术应用潜力,构成了信息科学技术,包括现代通信、测量、自动控制,信息获取与处理等高技术的重要基础.所以有人认为,就要到来的21世纪将是光电子的时代,在世纪之交举行这次研讨会,对推动我国光电子科学与技术的发展是有意义的,会议获得了众多院士、专家、学者的积极响应和大力支持.参加这次研讨会的有我国光电子学术界著名的科学院或工程院院士冯端、汤定元、干福熹、龚惠兴和来自高等学校、科研院所、国家重点实验室共二十几个单位的专家学者、中青年学术带头人、国家杰出青年科学基金获得者等共70余人.研讨会共收到论文66篇,内容覆盖面很广.从材料上看,涉及低维半导体、氧化物、激光晶体、非线性光学晶体、光子晶体、薄膜、纳米及原子尺度材料;从器件上

* 1998-11-17收到初稿,1999-01-08修回

看,涉及激光、光通信器件、红外焦平面器件、光子学器件;光谱覆盖红外、可见、真空紫外等当前人们关注的领域;涉及信息高速公路、光存储和光显示、航空遥感以及军事国防等高新技术领域;从物质运动形态转换的角度来看,会议上研讨的问题主要包括光电转换、电光转换及光光转换等方面,以及这三类转换的应用背景或潜在应用背景.这些转换过程都在物质中发生,涉及光与物质相互作用的宏观规律及微观机制.在20世纪末,随着人们对光的认识不断深入,随着人们对物质形态的认识及控制能力的不断增强,光电子物理这一门主要研究光辐射与物质相互作用的学科,正处在蓬勃发展,在深度和广度上都在不断拓展的阶段,并正在多方面酝酿着突破.

2 当代光电子物理研究的主要特征

当代光电子物理就其研究内容来看,仍然是主要研究光辐射在物质中的激发、传输及接收,研究物质中光到电的转化过程、电到光的转化过程、以及光与光之间的相互转化.随着人们对物质形态特别是对人工结构材料认识的大大深化,同时对材料结构的人为控制能力大大增强,物质中光电、电光、光光转化过程呈现出越来越丰富的内容,提供给人越来越方便应用的可能性.人们对物质中光辐射与其他运动形态的转化的研究,不仅增加了人类的知识积累,而且已成为高技术应用的重要基础.在当代工艺技术的发展突飞猛进的情况下,基础性规律研究与高技术应用的间距变得越来越短,高技术应用对于基础性规律研究的依赖性也变得越来越强,并提出越来越迫切的需求.光电子物理研究与光电子材料器件研究更加紧密相连、互相依存.

3 光电子材料器件研究

光辐射与其他运动形态的转化都是在物质中发生的,包括天然物质材料,如半导体、氧化

物、聚合物材料等,也包括人工设计的物质材料,如纳米材料、薄膜材料、各类固体微结构材料、半导体低维结构等.无论是天然物质材料,还是人工物质材料,它们的设计、控制、制备以及表征和特性研究,都成为光物理研究的最重要的基础.在这次会议上所讨论的有关材料,如微结构光学材料、窄禁带半导体材料、氧化物薄膜材料、有机聚合物材料、光存储材料、铁电液晶材料、各类纳米材料及复合纳米材料、光通信材料、激光晶体材料、宽禁带半导体蓝绿色光发射材料、半导体量子阱、量子线、量子点结构、铁电薄膜材料、稀磁半导体材料及高温超导材料等等,都是人们热衷于研制的具有光电功能、电光功能或光光功能的材料.

光电功能材料的制备具有明确的器件应用目的或探索新现象的目的.在光电转换材料方面,以 HgCdTe 为代表的窄禁带半导体仍然是当代最主要的红外辐射探测材料,人们对 HgCdTe 材料生长及物理的研究日益深入. HgCdTe 体材料晶体生长,薄膜材料的液相外延生长、分子束外延生长以及金属有机化合物气相淀积生长都取得良好进展.为了符合大规模红外焦平面列阵研究的需求,人们还需要大面积均匀性能良好的薄膜材料,特别是生长过程中就完成 p-n 结制备的薄膜材料,液相外延 HgCdTe 和分子束外延 HgCdTe 都受到人们特别重视.除 HgCdTe 以外的其他窄禁带半导体材料,如 InSb, InAsSb, InTlSb, PbTe, PbEuTe 等,由于红外光探测或红外光发射的需要,也是人们关注的材料.

铁电薄膜材料是近年来人们非常重视的光热电转换材料.除了可以用来研制非易失存储器,以及压电驱动器等多种应用之外,它主要可以用来研制在室温下工作的焦平面列阵红外探测器.目前人们重视的是 PZT, BST 等铁电薄膜,一般采用溶胶-凝胶法、溅射法、激光等离子体沉积、金属有机化合物气相沉积等方法来制备,关于铁电薄膜材料的物理研究,特别是与红外探测器相关的物理特性,自发极化的微观机制等近年来正在国际学术界和工业界研究之

中.同时,铁电薄膜和其他氧化物或金属或半导体的异质结构的制备和表征,是重要和有兴趣的问题.

半导体低维结构是重要的光电功能材料,关于半导体低维结构的制备、控制及表征是这方面器件需求的基础,是当前光电子物理新发展的方面. III-V 族半导体 GaAs/ GaAlAs 量子阱结构用于制备红外探测器及焦平面阵列,特别是用于制备多色器件.同时,由于量子阱子带间光跃迁较窄的光谱响应特征,更有利于研制光发射器件.由于在中红外波段缺乏光发射器件,因而对半导体低维结构制备提出特殊需求.目前用 III-V 族半导体在中红外波段光发射已经实现. InAs/ GaAs 自组织生长量子点在近红外波段光激射也已发现.各种类型新型量子阱光电器件是当前人们研究的重要热点,如用于光存储和光显示的可见光 InGaN/ GaN/ AlGaIn 多量子阱激光器、InGaAlP/ InGaP/ InGaAsP 量子阱大功率激光器、InGaAs/ GaAsP 及 InGaAsP/ InP 多量子阱垂直腔面发射激光器、量子阱光电集成器件等等,这些都是电光转换方面的热点.同时,会议还讨论了蓝绿色光发射材料和器件的制备和性能. III-V 族 GaN 基宽禁带半导体蓝色 LED 和 LD 已取得显著进展, III-V 族 ZnSe 基宽禁带半导体光发射也在继续研究之中,其中 ZnCdSe/ ZnSe/ ZnMgSe 量子阱 LD 也有较好进展.在这些方面的研究中,欧姆接触问题、晶格匹配问题、缺陷密度问题,都是人们关注的问题.有机聚合物材料的蓝绿光发射也是研究的热点.

在光光转换方面,半导体低维结构用于红外非线性元件的研究也是重要方向,Ge/ Si 超晶格和 SiGe/ Si 量子阱的制备及其二阶和三阶光学非线性研究尤其引人注目.微结构光学材料,包括 LiTaO₃, LiNbO₃ 准位相匹配非线性光学晶体、各类光子晶体、各类纳米结构材料,由于它们和光光转换中的新现象相联系,是当前人们十分重视的材料.传统的激光晶体,特别是可调谐激光晶体,由于高效、高功率以及超短脉冲固体激光器的发展,仍然在不断研究之中.会

议还介绍了高密度光存储技术的发展,讨论了提高光盘存储密度的主要途径和 DVD 光盘制备的关键技术.

各类纳米结构新材料、复合纳米体系、纳米多孔结构、溶胶-凝胶半导体薄膜、光子晶体和原子尺度层状外延生长薄膜和人工超晶格材料制备技术、实时检测、性质研究等是这次会议讨论的热点之一.激光分子束外延用于原子尺度氧化物薄膜材料生长技术及光反射差法检测外延生长方法、红外光致发光、二元衍射光学技术、fs 光物理和技术等等.此外,其他有关新型光电功能材料,如有机及高分子非线性材料、碳纳米管道、LB 薄膜、稀磁半导体、稀土掺杂半导体等的制备和研究,也在会议上进行了讨论.

4 光电子物理研究

光电子物理研究贯穿于光电材料器件研究的始终.在功能物质材料中,光电转化、电光转化、光光转化过程及其规律和控制方法的研究,是光电子物理研究的核心.在深入研究光电功能物质材料及其异质结、低维系统光电子物理过程的微观机制的基础上,人们努力研究光电激发和转换、电光激发和转换、光光激发和转换,研究这些转换的现象、效应、规律以及建立各类器件应用的重要基础.这些研究不仅提供了对自然界物质过程的认识,而且提供器件研制的基础,指导功能材料器件的设计与制备.

物质中每一种光电间相互转化都可能对应着光电器件的研制和应用,成为光电子物理研究的重要驱动力.不同波段的探测器、光发射器件、非线性光学元件、光传输元件是四大类典型的应用.对这些光电元器件物理的研究,以及元器件的设计、制备、性能提高及其应用,构成光电子物理和技术研究的重要内容,也是光电子物理走向高技术应用的重要桥梁.当前,人们对各类器件,特别是大规模红外焦平面阵列、蓝绿色激光器、中红外波段激光器、光通信器件、光学非线性器件、光存储器件等,以及对各类器件性能优化的需求日益增加,从而对光电转化、电

光转化、光光转化规律的深入探索,以及对元器件物理的研究也提出越来越高的要求。

在光电转换方面,人们努力寻求光电转换过程与能带结构、杂质缺陷以及晶格振动的关系,获得清晰的物理图像和模型。光电转换材料的各种非破坏无接触表征方法研究,材料中杂质缺陷规律研究及其生长中控制的研究,材料表面界面的研究,低维结构的制备及其物理特性研究,载流子激发传输隧穿规律性研究,以及相关的许多基础物理问题的研究,由于它们与器件物理过程密切相关,始终是这一领域的研究热点。对于三维系统中的光电转换的研究,还努力去发现表面界面二维过程的影响,对于在二维系统中的光电转换过程研究,又努力去寻找三维系统中光电过程的优点,以补偿二维系统中光电过程在响应带宽、光电耦合、量子效率等方面的缺点。此外,焦平面列阵器件物理模型及其光电激发动力学研究,则是当前光探测物理与技术研究的重要主题。

在电光转换方面,人们主要集中于研究不同的材料器件结构中光电激发的物理过程及解决与器件需求相关的物理问题,如器件寿命、工作温度、响应速度、灵敏度、高功率、高集成度等重要问题。当前半导体低维系统、量子阱、量子线、量子点的电光转换过程是重要的研究热点之一。蓝绿激光器、超高速激光器、电光调制器、中红外激光器的应用需求是这方面研究的主要驱动力。人们努力去深入探索高速电光调制物理过程,以及蓝绿和中红外波段光激光物理过程。GaAlAs 系列低维结构的电光调制,InAs/GaAs 系列的量子点光激光,镓化物量子阱中红外激光器和 GaInAs/AlInAs 系列低维系统的中红外级联激光发射,都取得重要进展。基于非线性光学的真空紫外波段激光产生机制研究也成为新的研究方面。

在光光转换方面,人们主要研究光在介质中的传输规律、发射、透射以及非线性光学性质。光子晶体、准位相匹配非线性光学性质、扫描近场光学技术及其应用、半导体低维系统非线性光学性质、有机聚合物的非线性现象及其超快过程等等都是前沿领域。研究集中在对新材料和固体低维结构光光转换现象的规律的研究,以及对非线性光学元件的探索。传统的光光转换材料和元件,仍然是该领域研究和应用探索的热点。

为了研究光电相互之间转换的完整物理图像与模型,光电功能材料及其异质结、低维结构的基本物理性质的研究始终是重要基础。各种新型光电测试方法的探索是获得新现象、新效应、新规律的重要保证。新材料的测试分析,如拉曼光谱、椭圆光谱、荧光光谱等的研究进展,新材料的电子态、声子态、杂质态的理论分析和计算等也在会议上进行了较深入的讨论。

5 结束语

会议还非常热烈地探讨了光电子技术在多方面的重大应用需求,特别是在气象卫星红外遥感、高密度光存储技术、智能化光电信息获取传输与控制、光电子技术的国家安全需求、新型光通信器件、太阳能电池等方面的重要应用。会议还对研究中的创新性问题、光电子领域的核心问题、光电子物理研究与应用关系问题等进行了讨论,并对会议提出增加研讨时间等建设性建议。通过会议的交流 and 讨论,与会者进一步意识到现代光电子物理更紧密地与人工功能物质材料相联系,更紧密地与光电激发转换的物理图像与微观机制相联系,更紧密地与高性能光电器件的应用需求相联系,感受到一幅光电子物理研究发展生机勃勃的图像。