

光电子技术导论

郑继红

前 言

21 世纪是信息产业飞速发展的时代。光电信息技术更是信息时代发展的关键和核心。

由光子技术和微电子技术的结合、交叉和渗透而诞生了现代光电子技术。现代光电子技术的涵盖面特别广泛，围绕着信息的产生、传输、处理和接收过程以及光-电、电-光相互转换过程，诞生了各种光电光电器件，如发光二极管、半导体激光器、光电倍增管、光敏二极管、太阳能电池，以及各种光电子技术，如光纤通信技术、节能照明技术、液晶显示技术、立体显示技术、光刻技术等，这些器件和技术又显著地推动了人类社会生产的进步，同时也极大地提高和改善了人类的生活质量。

光电信息技术所涉及的学科知识广泛，包括光学、电学和半导体等相关基础知识，同时它又是新材料、光子、电子、计算机等前沿学科间相互渗透、相互作用而形成的高新技术学科。作为普通高等院校光电、电子、测控、计算机等相关专业的在校学生，应当在大学学习期间打好基础，掌握基本光电子器件的基本原理、性质特点以及应用发展等知识点，同时还应当具备运用所学的光电技术初步解决实际生产生活中问题的能力。同时，要培养学生对未来光电子技术发展的求知愿望，让学生了解日新月异的科技发展年代里出现的光电子技术热点和创新点。

但是，仅仅掌握光电信息技术的基础知识还是不够的。目前，随着国际化教育的深入发展，来华留学的学生数量和出国留学的学生数量都在逐年增加，如何让学生在专攻知识的同时，获得良好的英语表达能力也显得非常重要。然而，在推行实施双语或者全英课程教学的过程中，我们常感到缺乏一本适合大学生使用的英文版光电子技术教材，既重视光电基础知识，又注重各种基本光电器件的介绍，同时还涵盖如何运用光电器件构建光电探测系统等内容。为此，我们着手编写了这本英文教材。

本书的内容体系沿袭了上海理工大学光电信息与计算机工程学院为光电信息专业的学生教学所编撰的《光电信息技术》教材。编写时，采用了全英文写作，在

《光电信息技术》这本较成熟教材的基础上，从国外相关书籍和互联网上搜集并更新了很多有益的英文资料，新增了一些当前光电领域热点技术的介绍，例如立体显示技术、激光全息技术、光刻技术等；同时还提供了学院教师在科研工作中设计的光电信息探测系统的教学实例。为了便于学生自学，本书中还特意增加了中英文专业词汇生词对照表。

本书的编撰得到了上海理工大学研究生创新教材建设的支持，由上海理工大学郑继红老师主编，杨永才、贾宏志和侯文玖等几位老师参编。光电学院的部分研究生也参与了资料的搜集和整理工作，为书稿的最终完成做了很多细致的工作，特别是博士研究生王康妮同学，以及硕士研究生王青青、王雅楠、李道萍、高正、陈轶阳等同学，在此一并向他们表示感谢。

由于时间仓促，书中难免存在疏漏之处，恳请广大读者批评指正，以便进一步修订改善。

编 者

2014 年 10 月

目 录

前 言	i
第一章 光电信息技术的物理基础	1
1.1 半导体物理基础	1
1.2 光学基础	2
1.3 电路基础	2
参考文献	2
题目	2

第一章 光电信息技术的物理基础

晶体管 (transistor) 和集成电路 (integrated circuit, IC) 的发展带来了许多令人瞩目的成就。从 CD 播放器、传真机，到杂货店里的激光扫描仪，再到手机，集成电路已经渗透到了我们日常生活的方方面面。并且半导体电子领域依然处在快速变革当中。此外，光学也是自然科学其中的一个很美的领域，它既易懂、富有逻辑性，同时又具有挑战性。本章将会介绍半导体物理的基础概念，包括能带、掺杂等；光学基础，包括反射、折射；还会介绍一些电路基础知识。

1.1 半导体物理基础

这一部分将会简单介绍半导体。半导体在光学中作为源和探测器都扮演着重要角色。发光二极管 (**light-emitting diode**, LED) 和激光二极管 (**laser diode**, LD) 作为光电二极管被广泛使用。电子 (**electron**) 和空穴 (**hole**) 是半导体形成电流的主要载体 (即“载流子”——译者注), 它们在半导体中被能隙 (**energy gap**) 所分隔。光子 (**photon**) 是光波能量的最小份, 它们与电子的相互作用机制是光电器件工作的关键所在。

1.1.1 能带与电传导

半导体是一种导电能力介于金属 (例如铜) 和绝缘体 (例如玻璃) 的材料。半导体是现代电子技术的基础, 包括晶体管 (**transistor**)、太阳能电池 (**solar cell**)、发光二极管、量子点 (**quantum dots**) 以及数字和模拟集成电路在内都有半导体的影子。

半导体有非常多特殊的特性, 其中之一是通过加入杂质 (称为“掺杂”, **doping**) 或者与另外的现象相互作用, 例如电场或光照, 可以使半导体的电导率会发生改变, 这一能力使得半导体在组成放大、开关或转换输入能量器件时非常有用。关于半导体这一特性的现代理解基于半导体物理对于原子晶格内电子的运动的解释。

半导体的定义源于它的电导率介于金属和绝缘体之间的独特性质。这些材料之间的区别可以从电子的量子态来理解, 每个量子态都包括零个或一个电子 (遵循泡利不相容原理, **Pauli exclusion principle**), 这些状态的形成与材料中电子的带状结构有关。电子具有电导率是因为量子态中的电子出现了移位现象 (在材料中移动), 但是为了传输电子, 量子态必须是部分填充的, 也就是说只有部分时间被一个电子占据。如果一个量子态总是被一个电子占据, 那么它就处在非自由态, 会阻止其他电子运动通过这一个量子态。这些量子态的能量很重要, 因为只有能量处在费米能级 (**Fermi level**) 附近的量子态才会被部分填充。

如果一个材料中部分填充的量子态很多, 并且都有移位, 那么这种材料就拥有高电导率。金属拥有许多能量处在费米能级附近且部分填充的量子态, 所以金属是电的良导体, 与之相反的是绝缘体, 只有很少一部分量子态部分填充, 并且它们的费米能级处于带隙之中, 几乎没有能态能够处在费米能级附近。但是需要注意的是, 绝缘体的电导率可以通过升高温度来提升, 因为温度可以提供能量给电子来促使它们穿过带隙, 其中包括在带隙下方的部分填充态 (价带, **valence band**) 和带隙上方的部分填充态 (导带, **conduction band**)。本征半导体 (**intrinsic**

semiconductor) 的带隙要比绝缘体的带隙要窄, 在室温条件下就有大量电子可以被激发穿过带隙。

纯净 (**pure**) 的半导体物质不那么有用, 因为它既不是好的绝缘体又不是好的导体。但是, 半导体 (也包括部分绝缘体, 称为“半绝缘体”) 的一个重要的特性是它们的电导率可以通过杂质的掺杂浓度或外加电场的通断来升高和控制。通过掺杂或加电场, 半导体的导带和价带都会更加靠近费米能级, 因此部分填充的量子态数目就会显著增加。

有些半导体材料拥有较宽的带隙, 有时也视作半绝缘体。

1.2 光学基础

1.3 电路基础

参考文献

习题