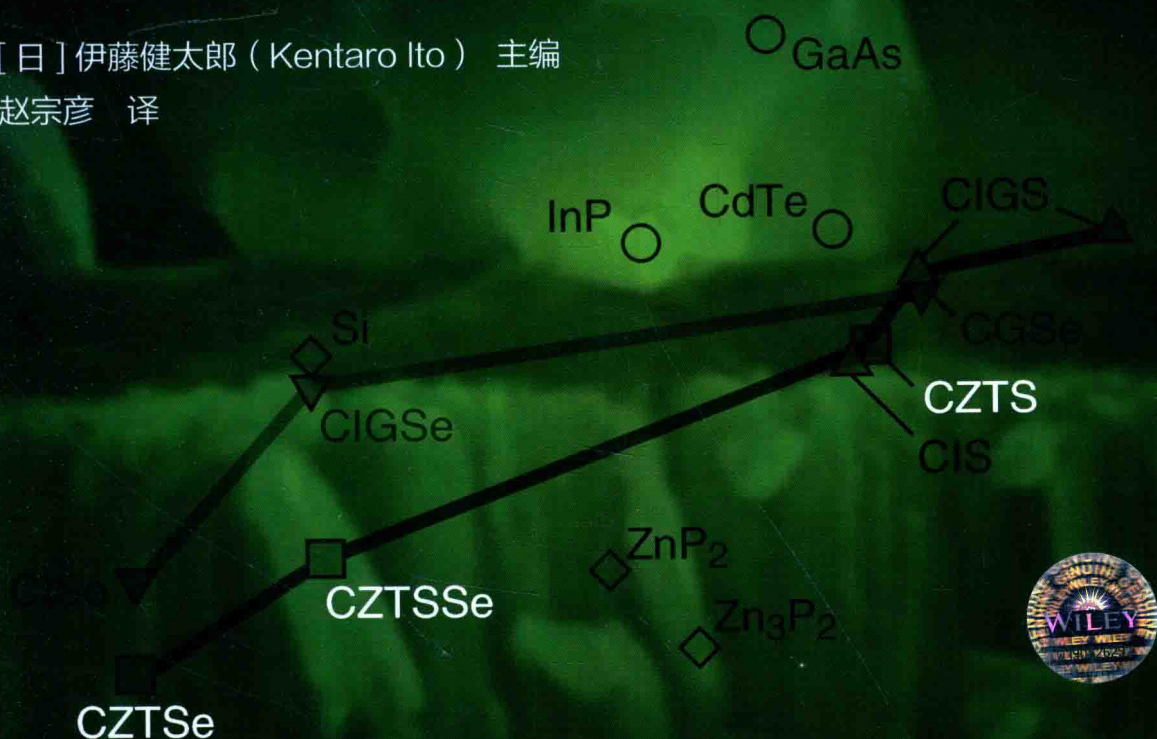


铜锌锡硫基 薄膜太阳能电池

Copper Zinc Tin Sulfide-Based Thin Film Solar Cells

[日] 伊藤健太郎 (Kentaro Ito) 主编

赵宗彦 译



化学工业出版社



WILEY

铜锌锡硫基 薄膜太阳电池

Copper Zinc Tin Sulfide-Based
Thin Film Solar Cells

[日] 伊藤健太郎 (Kentaro Ito) 主编

赵宗彦 译



化学工业出版社

· 北京 ·

本书首先概述了铜锌锡硫基薄膜太阳能电池的发展历史和市场前景,然后详细分析了铜锌锡硫材料的结构与基本物理化学性质,并着重介绍了薄膜的制备工艺、性质和应用以及相关的理论计算结果,最后阐述了铜锌锡硫基薄膜太阳能电池的器件物理特性,为铜锌锡硫基薄膜太阳能电池未来的发展指明了方向。

本书可供太阳能电池、半导体、新能源等领域的研发人员使用,也可供高校相关专业的老师及学生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

铜锌锡硫基薄膜太阳能电池/[日]伊藤健太郎主编;
赵宗彦译. —北京:化学工业出版社,2016.4

书名原文:Copper Zinc Tin Sulfide-Based Thin
Film Solar Cells

ISBN 978-7-122-26379-7

I. ①铜… II. ①伊…②赵… III. ①薄膜太阳能电
池-研究 IV. ①TM914.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第036887号

Copper Zinc Tin Sulfide-Based Thin Film Solar Cells, 1st edition/by Kentaro Ito
ISBN 9781118437872

Copyright © 2015 by John Wiley & Sons, Ltd. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by John Wiley &
Sons, Ltd.

本书中文简体字版由 John Wiley & Sons, Ltd 授权化学工业出版社独家出版发行。
未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分,违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2016-0302

责任编辑:韩霄翠 仇志刚

装帧设计:史利平

责任校对:王素芹

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张21½ 彩插8 字数526千字 2016年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:98.00元

版权所有 违者必究

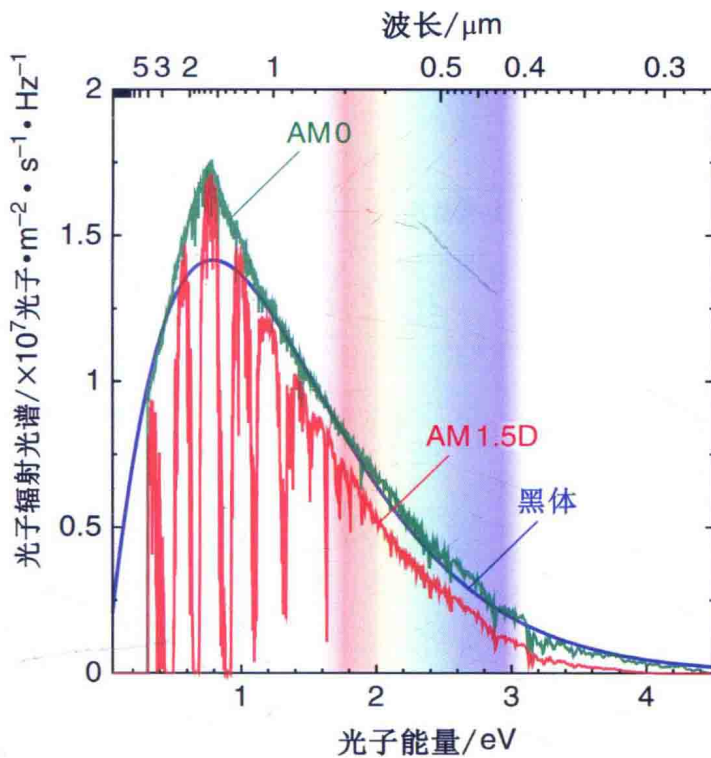


图 1.1 AM0、AM1.5D 和黑体辐射的光子辐射光谱

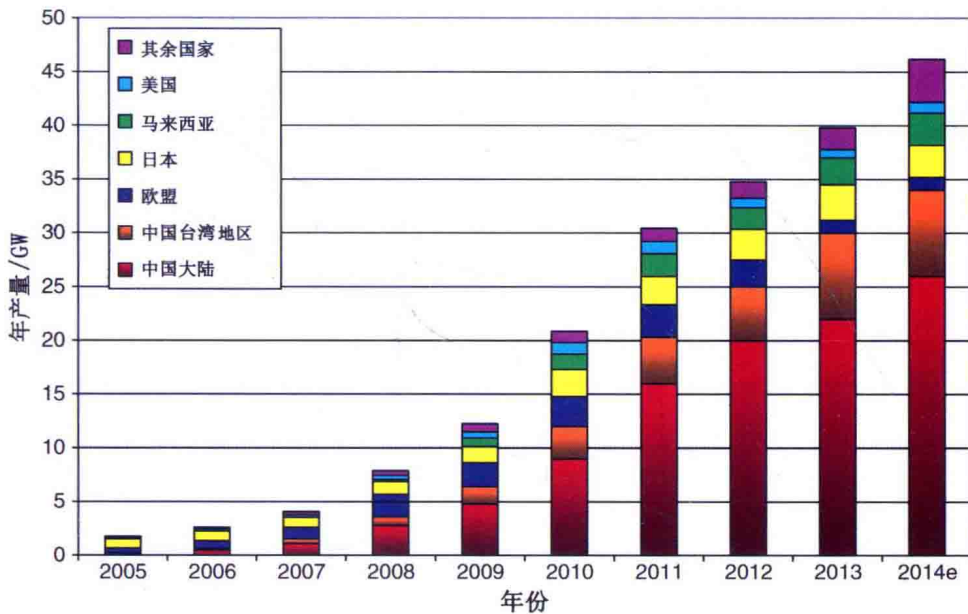


图 2.1 2005 年至 2014 年全球光伏电池 / 组件产量

数据来源于 Photon Magazine、PV Activities in Japan、PV News 以及个人分析

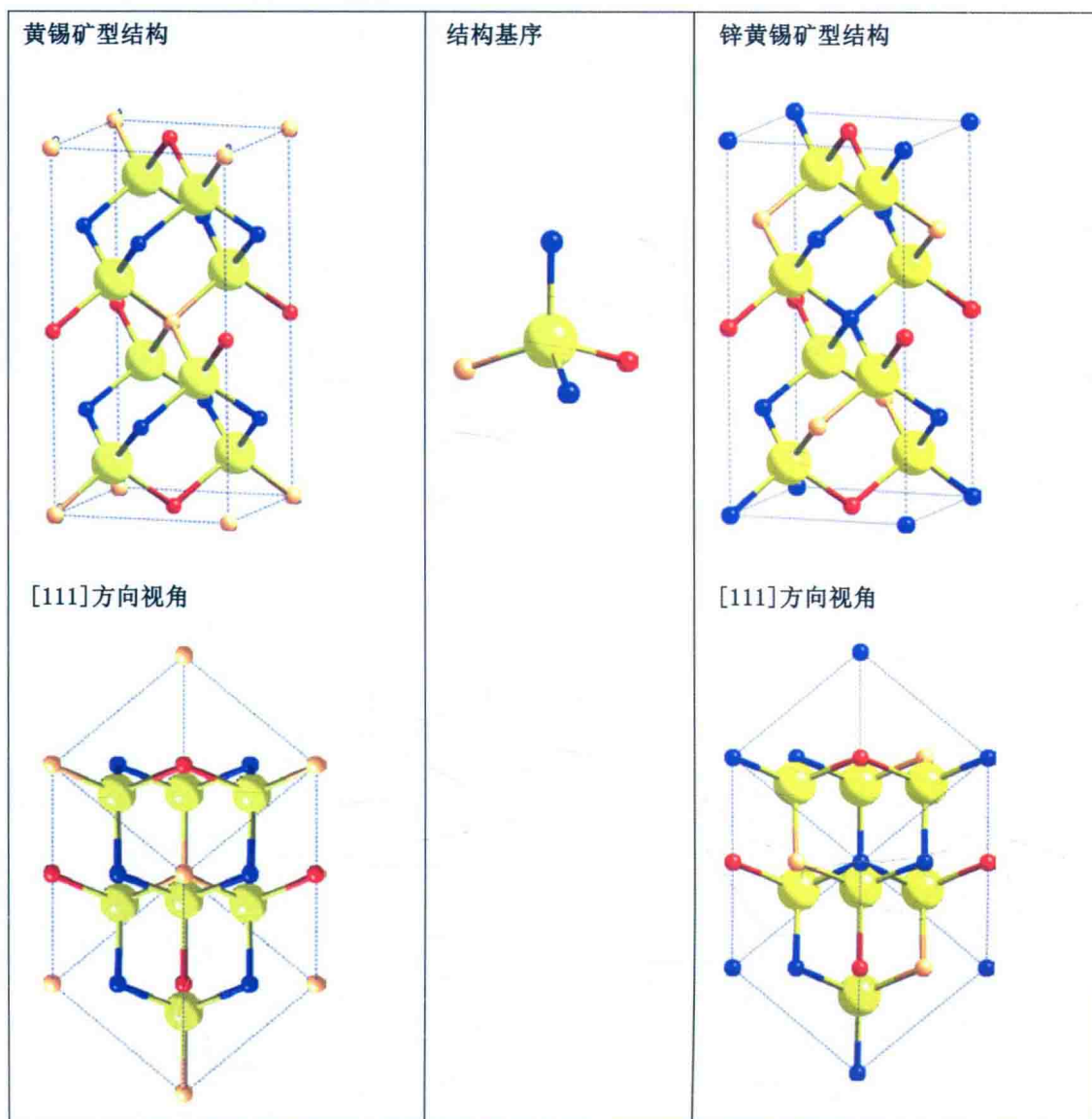


图 3.3 黄锡矿型结构和锌黄锡矿型结构示意图

蓝色小球代表铜，橙色小球代表锌，红色小球代表锡，黄色小球代表硫

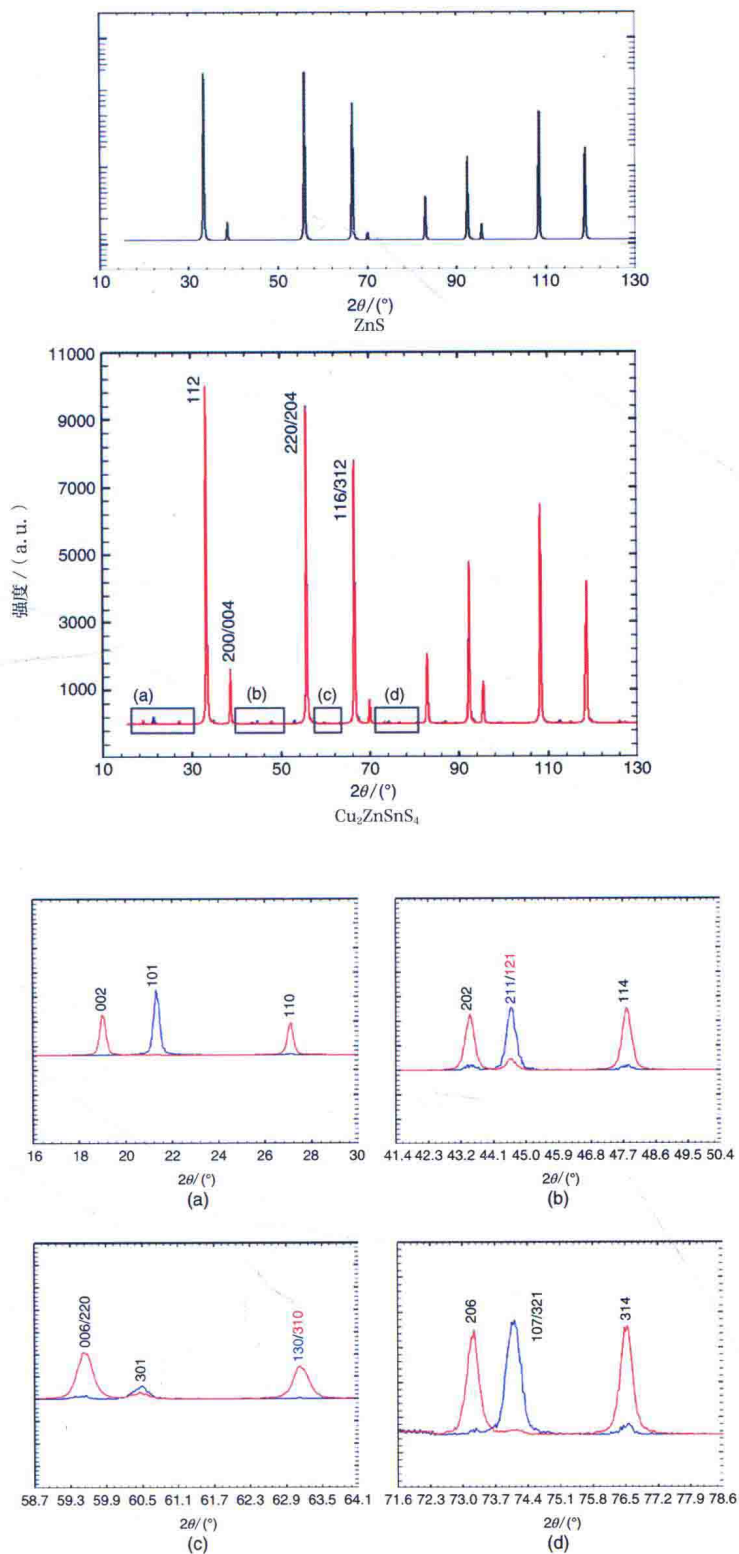


图 3.4 ZnS 和 Cu₂ZnSnS₄ 的模拟中子粉末衍射谱图 ($\lambda = 1.79 \text{ \AA}$)

蓝线代表锌黄锡矿型结构，红线代表黄锡矿型结构，(a) — (d) 四个小图表示 Cu₂ZnSnS₄ 中由超结构产生的轻微反射

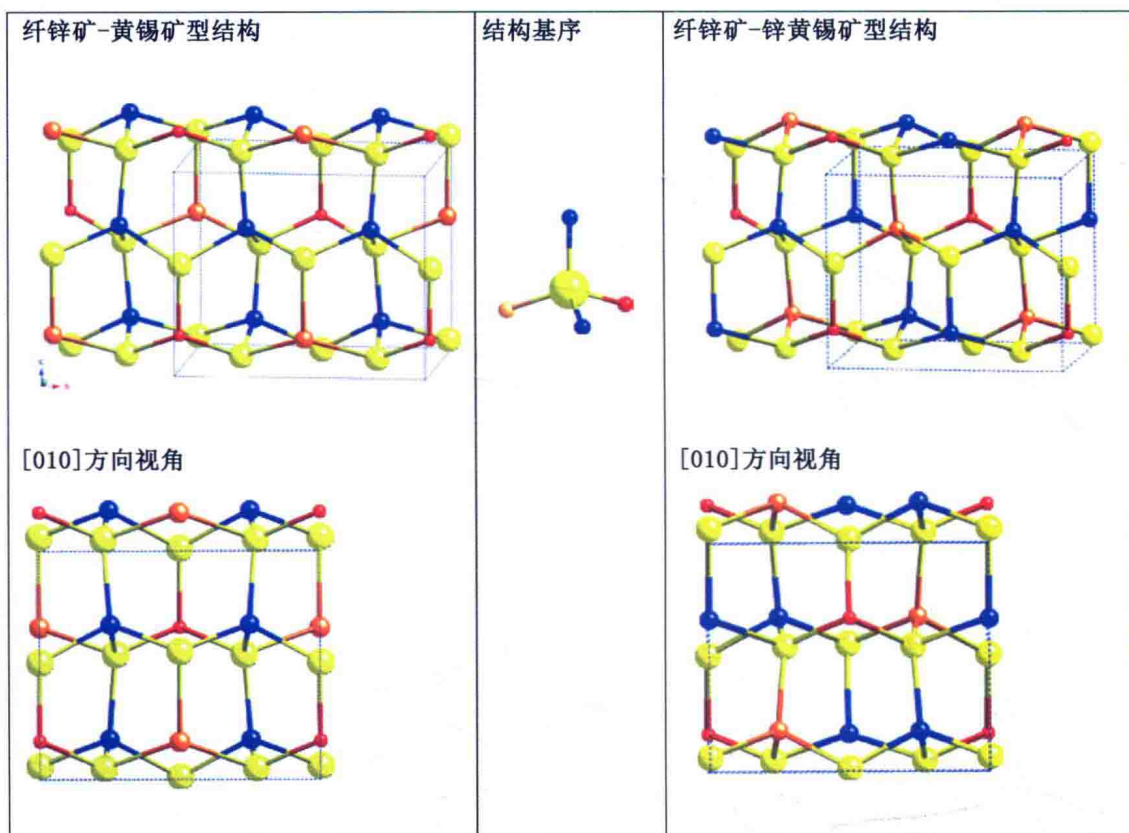


图 3.5 纤锌矿-黄锡矿型结构和纤锌矿-锌黄锡矿型结构示意图

蓝色小球代表铜，橙色小球代表锌，红色小球代表锡，黄色小球代表硫

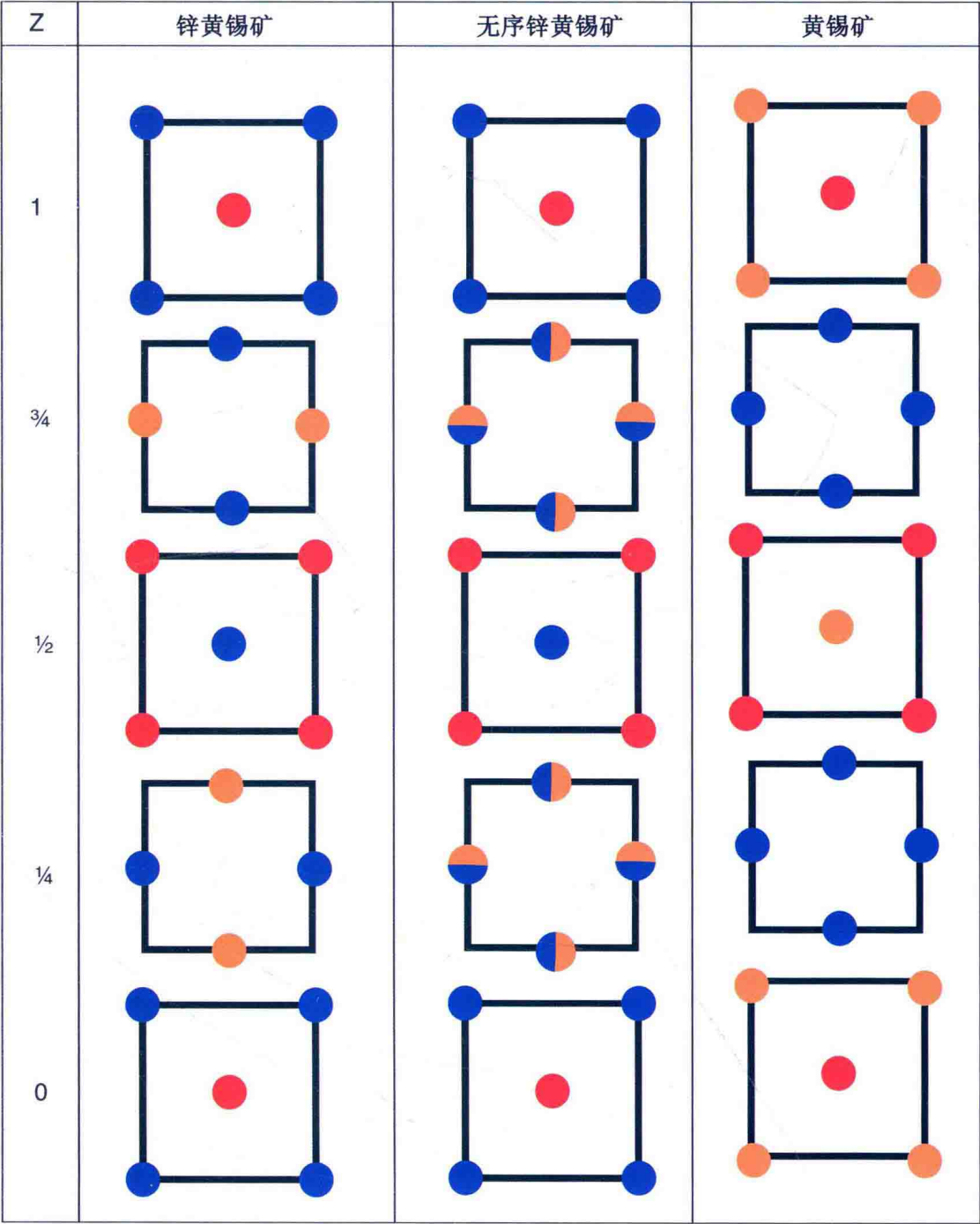


图 3.7 锌黄锡矿型、黄锡矿型和无序锌黄锡矿型结构的 a—b 平面示意图

左侧数字表示的是 a—b 平面在 c 晶轴上对应的 z 值，图中没有给出阴离子平面的情况。蓝色小球代表铜，橙色小球代表锌，红色小球代表锡

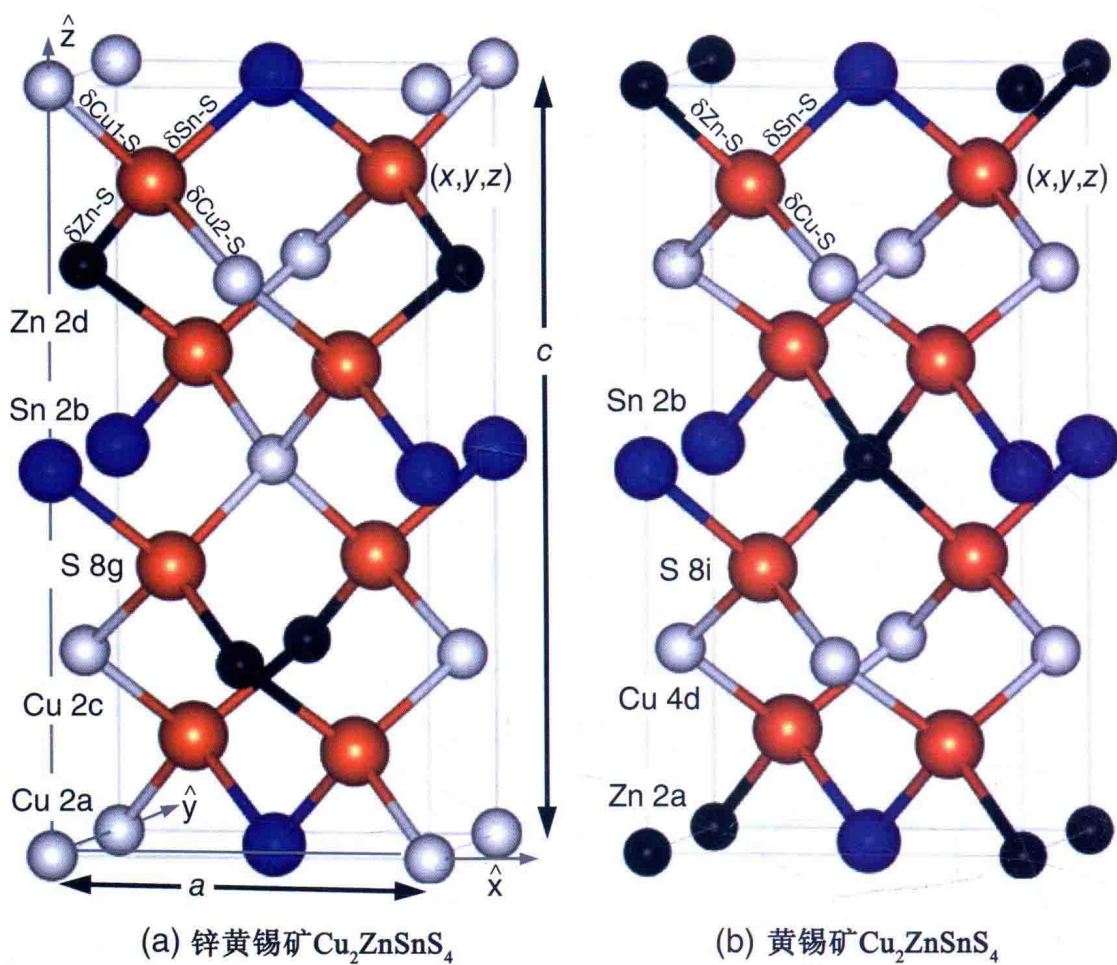


图 4.1 CZTS 的结晶学原理

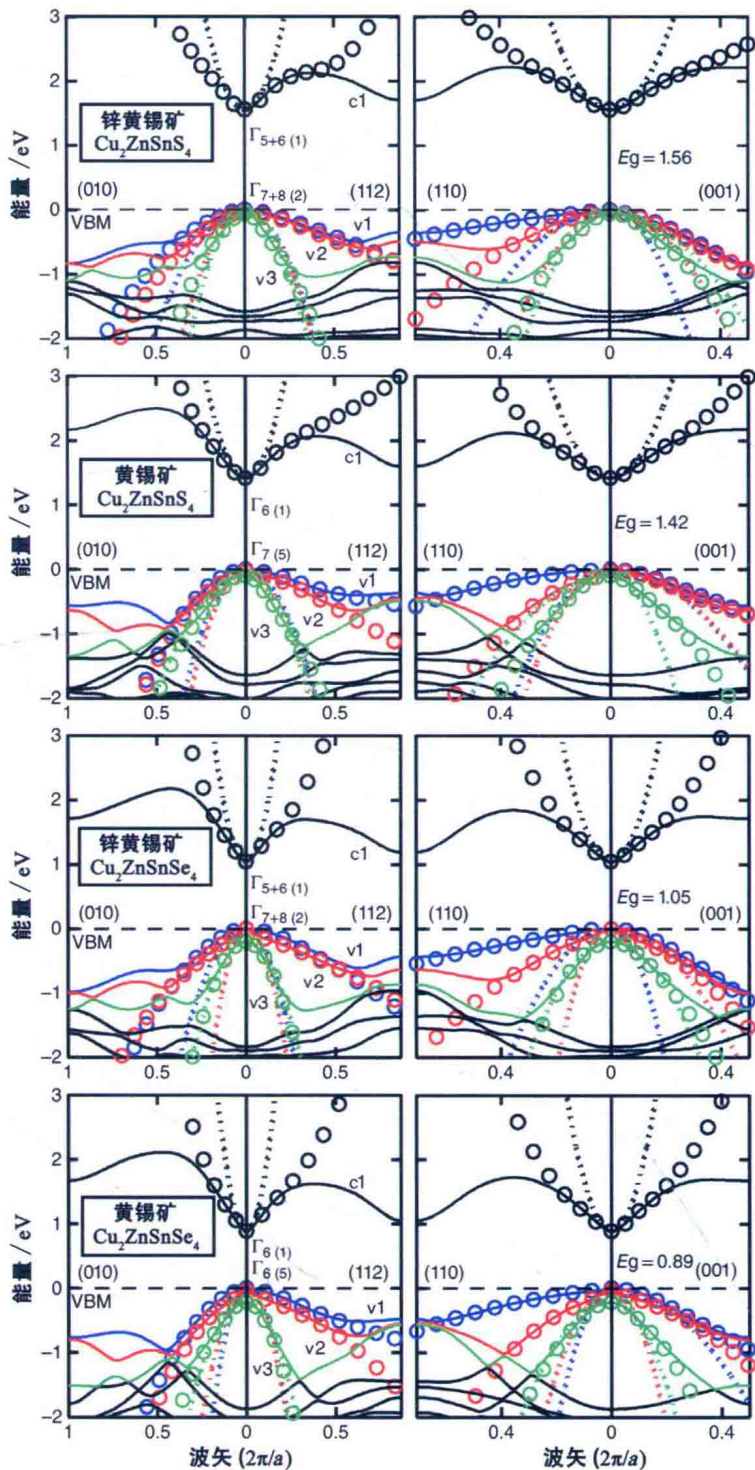


图 4.2 锌黄锡矿、黄锡矿结构 CZTS 和 CZTSe 沿四个对称方向的电子能带结构 $E_j(k)$
 能量以 VBM (虚线所示) 为参考。计算包含自旋-轨道相互作用, 但是能带指数 ($j=v1$ 、 $v2$ 、 $v3$ 和 $c1$) 仅指自旋
 无关的能带, 其中 $c1$ 代表最低导带, $v1$ 代表最高价带。实线数据由 GGA/FP-LAPW 方法计算得到, 圆圈表示全带
 参数化结果, 点线代表抛物线近似的能带

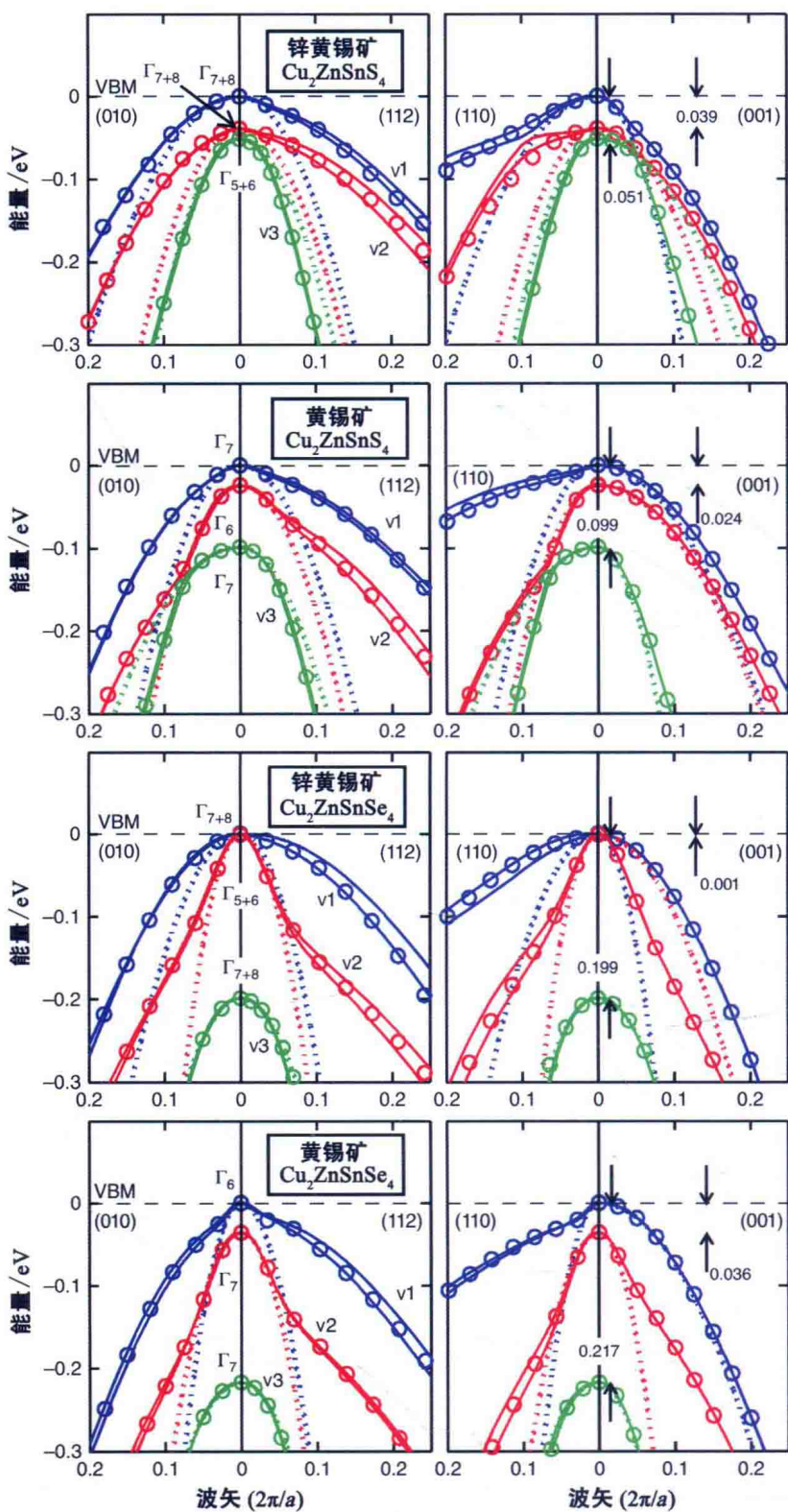
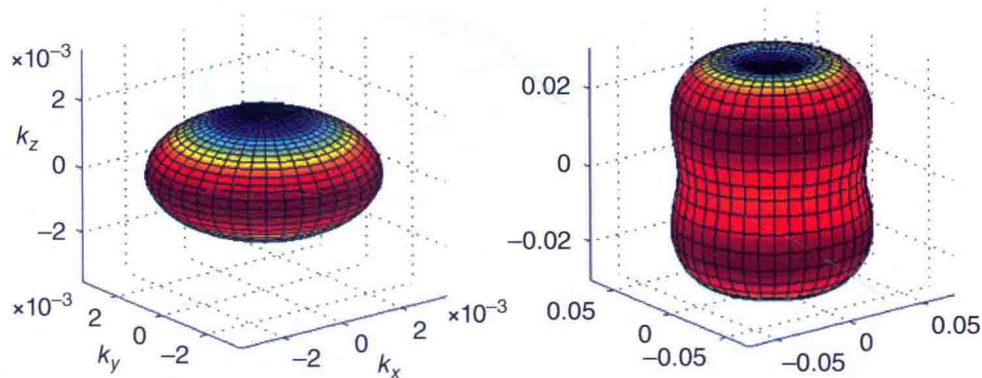


图 4.3 图 4.2 中 VBM 附近的特写图，显示了价带最上部的非抛物线特征

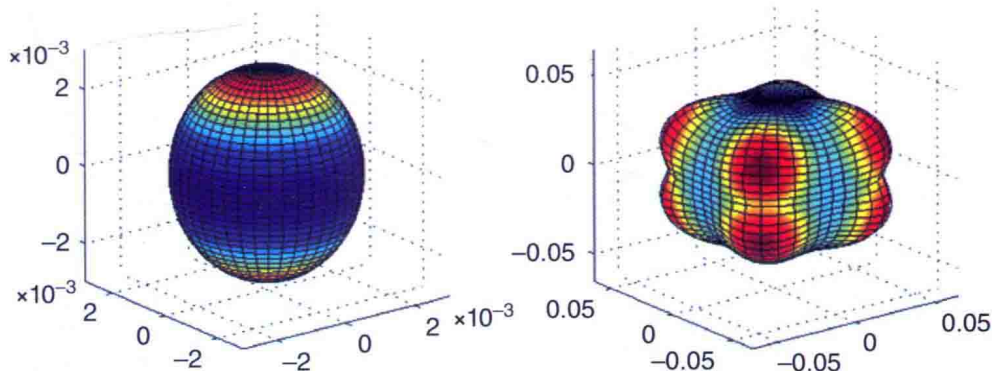
锌黄锡矿 $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

$E = -1 \text{ meV}$

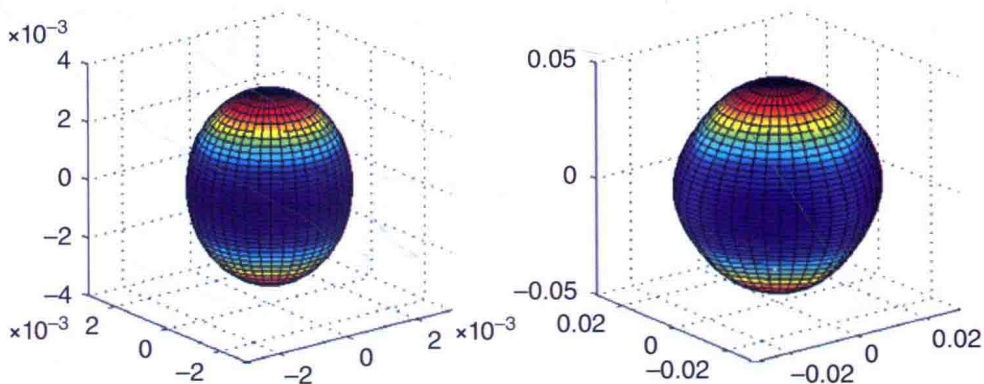
$E = -200 \text{ meV}$



价带 v1



价带 v2



价带 v3

图 4.4 锌黄锡矿 CZTS 在 VBM 之下能量为 $E = -1 \text{ meV}$ (左列) 和 $E = -1 \text{ meV}$ (右列) 的等能面 $S_i(E)$

k 网格以 $2\pi/a$ 为单位, 注意 k 轴的不同刻度。这个图显示了价带最上部三个能级在远离 Γ 点处的各向异性

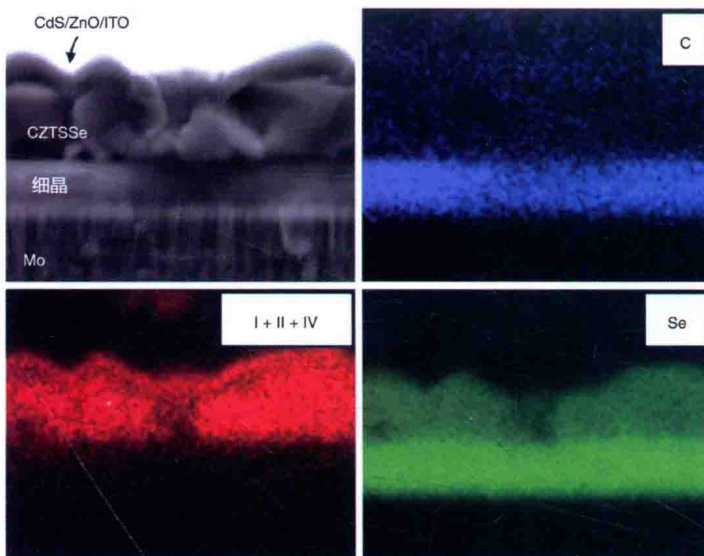
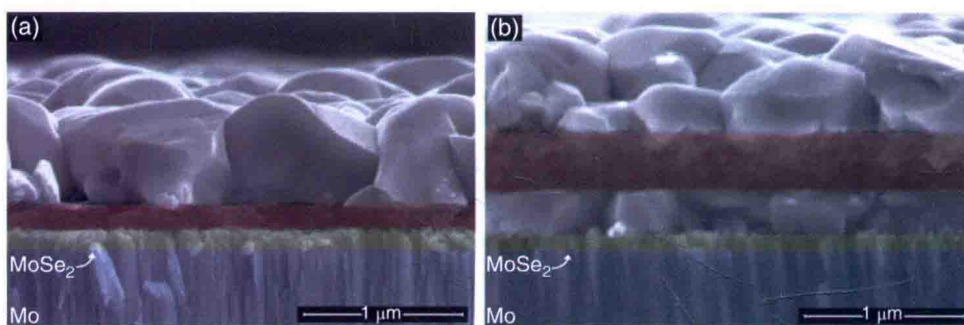
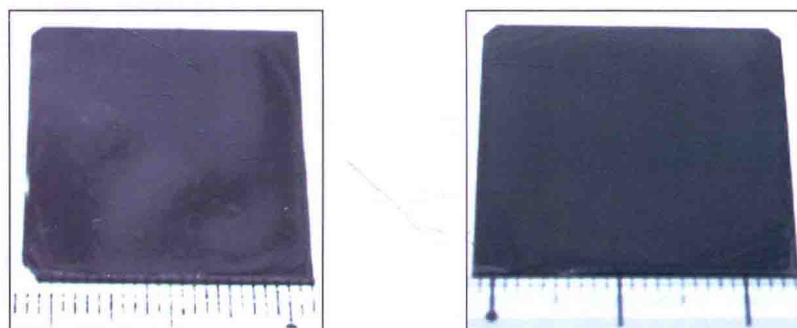


图 11.10 硒化四元纳米晶墨水器件的 SEM-EDX 断面映射图像
 细晶层的成分来源于四元纳米晶薄膜的硒化，大部分由 Se 和 C 组成，并包含少量的 Cu、Zn 和 Sn 信号。
 因此未烧结 CZTS 纳米晶没有细晶层^[23]



(a) 典型高效器件的标准双层形貌
 (在硒化之前先在空气中退火)
 (b) CZTSSe 薄膜硒化之后的不合乎需要的三层形貌 (硒化之前没有退火)

图 11.12 SEM 断面图像



(a) 由 1.75mol/L 溶液沉积在 Mo/SLG 基底上
 (b) 由配有含水乙酸铵的 0.35mol/L 溶液涂覆在 Mo/SLG 基底

图 12.8 前驱体的宏观图像

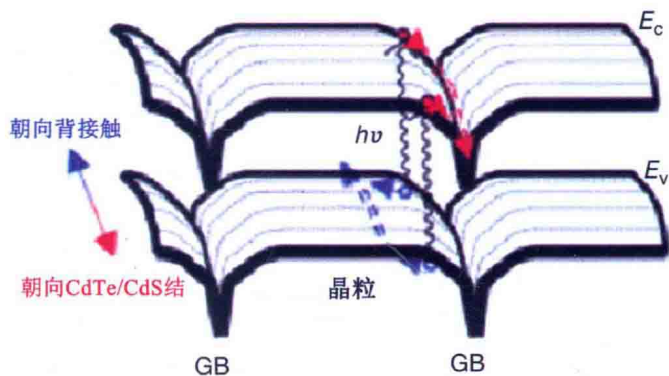


图 14.5 CdTe 晶粒在太阳能电池中空间坐标分布的能带示意图

蓝色和红色圆圈分别代表空穴和电子，蓝色和红色箭头分别代表它们的运动方向。重印许可由文献 [16] 提供，© 2014 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

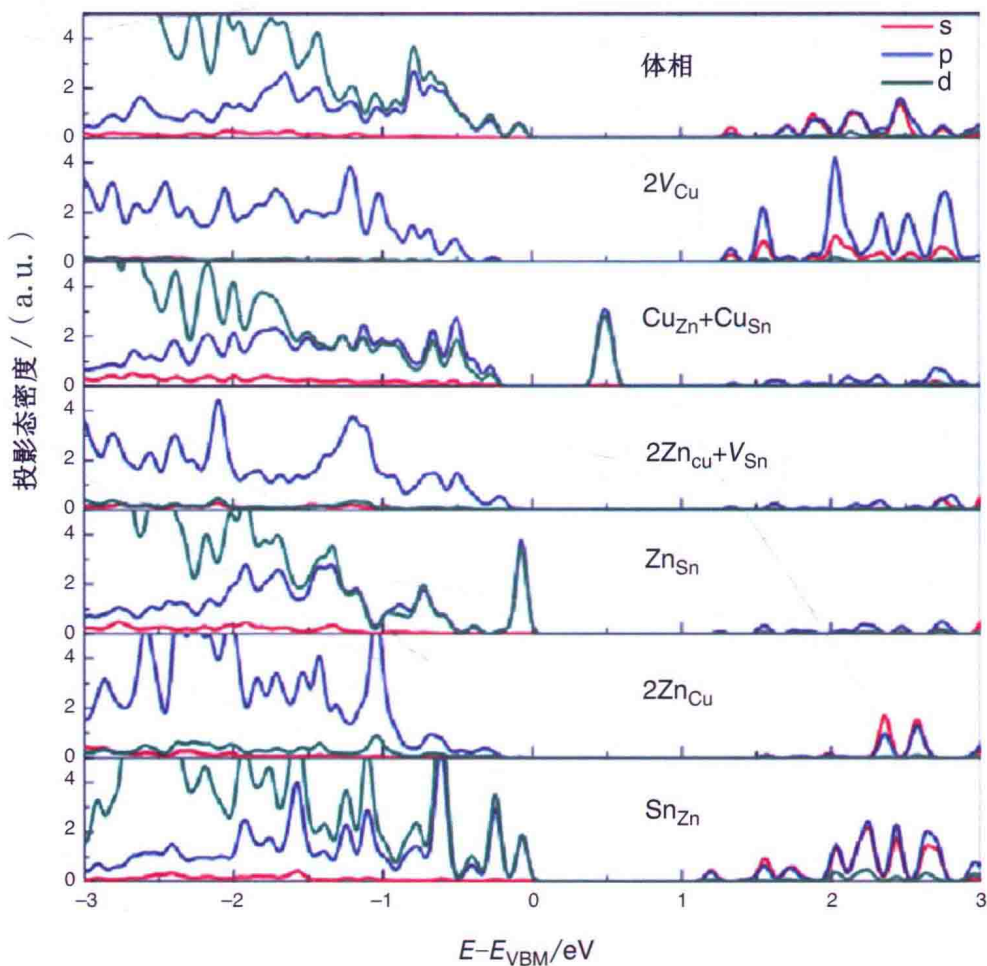
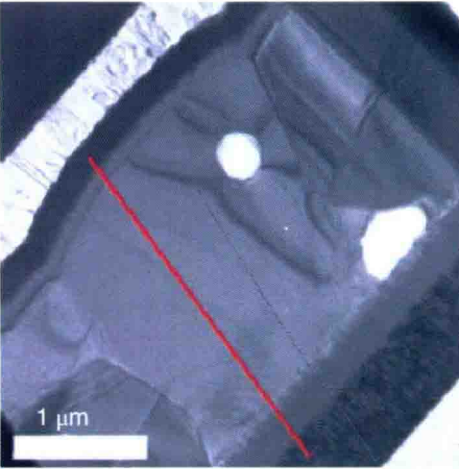
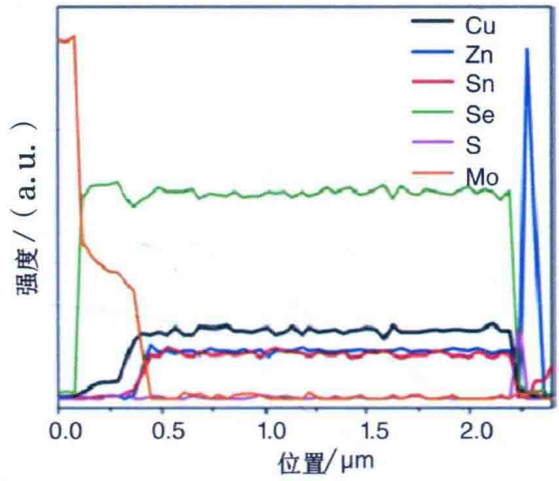


图 14.6 不同表面缺陷的分波态密度 (partial density of states, PDOS)

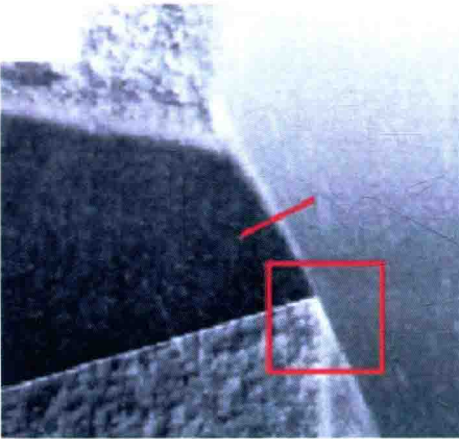
重印许可由文献 [88] 提供，Copyright © 2013 by the American Physical Society



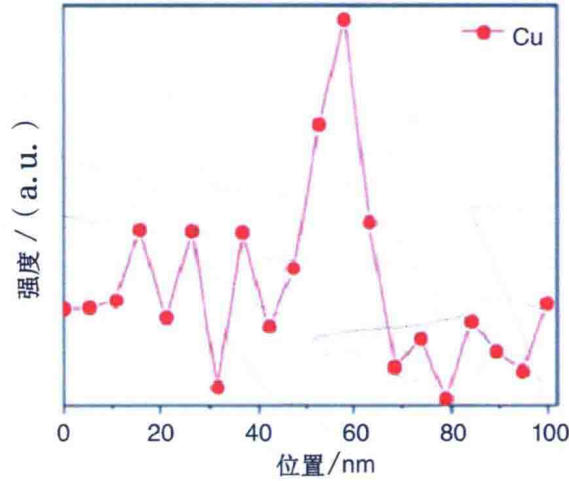
(a) 电池的断面 TEM 图



(b) 电池的 EDS 线扫描图



(c) 富铜晶界的断面 TEM 图



(d) 富铜晶界的 EDS 线扫描图

图 14.12 最低带隙 CZTSe 电池的断面 TEM 图像和 EDS 线扫描，以及同一电池中富铜晶界的断面 TEM 图像和 EDS 线扫描

图 (a) 和图 (c) 中所标注的线是图 (b) 和图 (d) 中 EDS 线扫描的实际路径。

重印许可由 The Royal Society of Chemistry、文献 [66] 提供

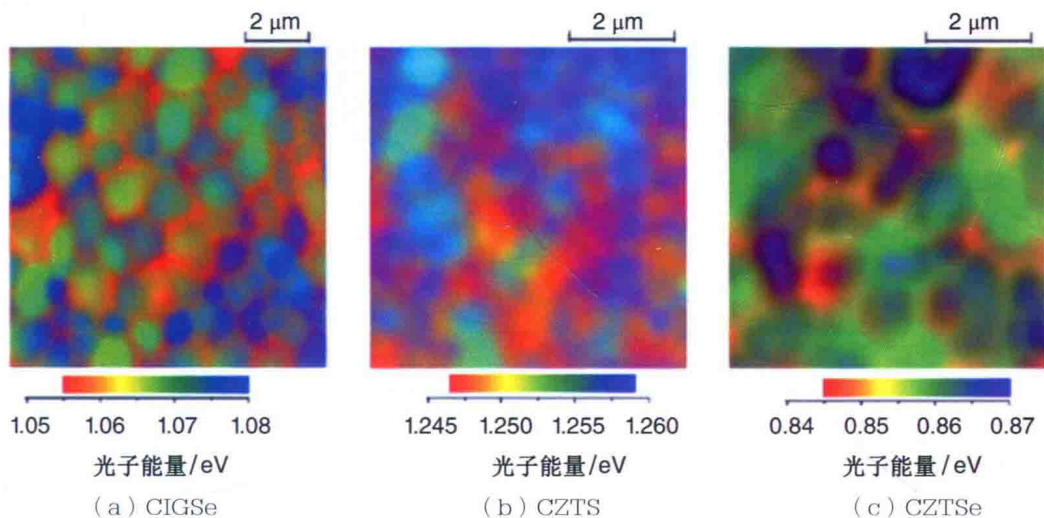


图 14.14 发光光谱图像

重印许可由文献 [95] 提供, © 2012 IEEE

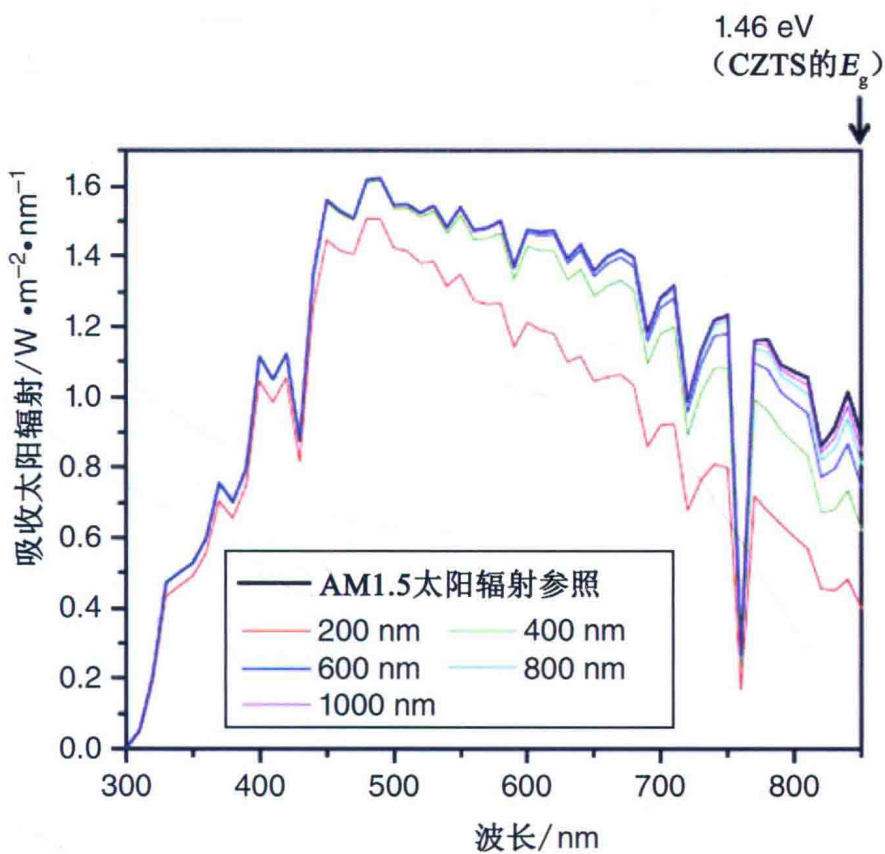


图 15.6 由图 15.5 中测量的吸收系数计算得到的不同厚度 CZTS 薄膜的
太阳辐射吸收曲线

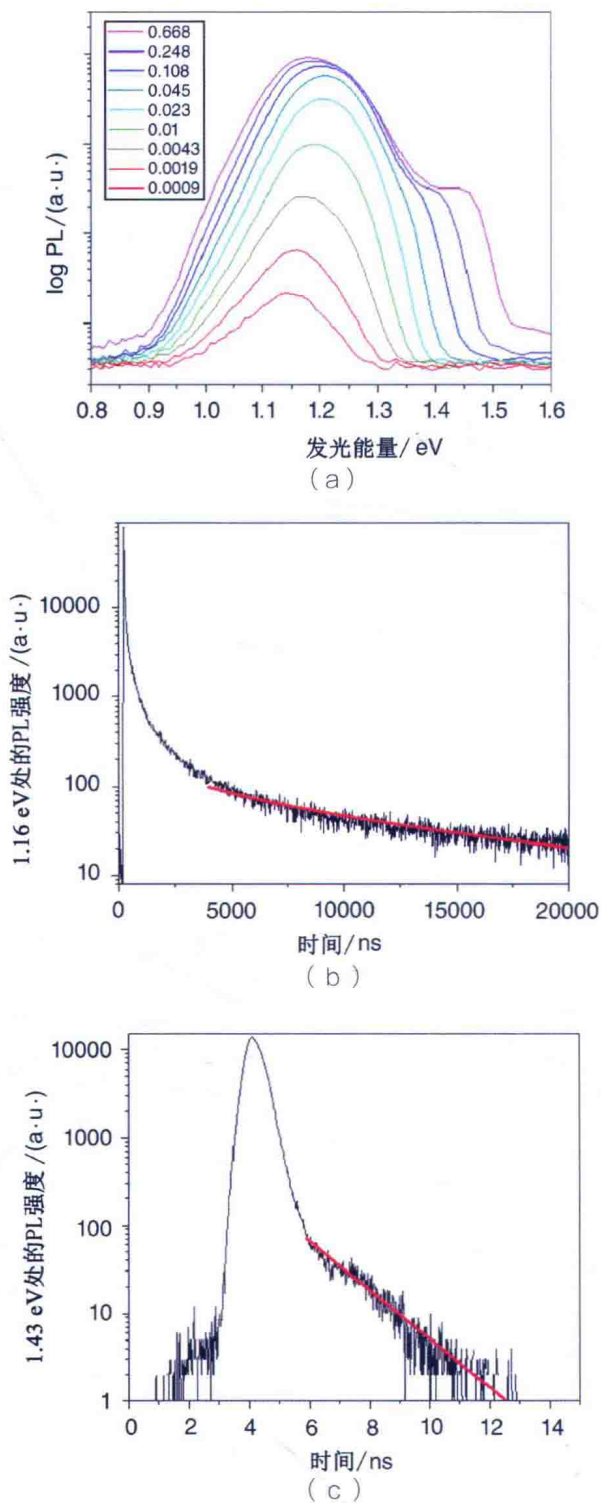


图 15.14 (a) 转换效率为 8.3% 的器件中 CZTS 层的低温 (4 K) 强度相关的 PL 光谱, 图例中的数字对应于平均强度 ($W \cdot cm^{-2}$); (b) 1.16 eV 和 (c) 1.43 eV 处的 PL 寿命
 这些测试所使用的平均激光强度是 $0.668 W \cdot cm^{-2}$ 。重印许可由文献 [53] 提供, Copyright © 2013, AIP

Publishing LLC