

CdSe薄膜的制备及其光学特性的研究进展

孙康迅, 邱美叶, 孔惠颖, 郑照轩, 王 淼, 熊佳怡, 赵春杰, 王 婧, 李再金*, 乔忠良, 李 林, 徐东昕, 曲 轶

海南省激光技术与光电功能材料重点实验室, 海南省院士团队创新中心, 海南师范大学物理与电子工程学院, 海南 海口

收稿日期: 2023年4月24日; 录用日期: 2023年6月22日; 发布日期: 2023年6月28日

摘 要

本文主要介绍了CdSe薄膜的制备及其光学特性的国内外研究现状及进展。作为一种II-VI族化合物半导体薄膜, CdSe一直是国内外研究发展的热点。在CdSe薄膜的制备过程中, 不同的制备方法都会对其性能有较大影响, 因此有必要选择合适的制备方法来进行性能的优化和取舍选择。近年来, 人们发展了各种技术制备CdSe薄膜, 但现有的研究主要集中在使用电化学方法制备CdSe薄膜以及在使用电化学方法时如何避免生成不稳定的立方相, 即闪锌矿, 直接生成稳定的六边形相, 即纤锌矿, 而关于物理方法尤其是真空热蒸发技术的CdSe镀膜技术及该制备方法下其成膜效果和光学特性等方面的报道较少。随着真空热蒸发技术的不断成熟, 其真空度要求高的技术缺点和成本高的缺点正在不断被弥补, 而其制膜纯度高、生产效率高的优点越发明显。同时研究发现在真空热蒸发技术下制备的CdSe膜具有更优良的光学特性, 这将为CdSe薄膜将来的广泛制备和推广使用创造显著的有利条件。

关键词

CdSe薄膜, 真空热蒸发技术, 光学特性

Research Progress on the Preparation and Optical Properties of CdSe Thin Films

Kangxun Sun, Meiye Qiu, Huiying Kong, Zhaoxuan Zheng, Miao Wang, Jiayi Xiong, Chunjie Zhao, Jing Wang, Zaijin Li*, Zhongliang Qiao, Lin Li, Dongxin Xu, Yi Qu

Key Laboratory of Laser Technology and Optoelectronic Functional Materials of Hainan Province, Academician Team Innovation Center of Hainan Province, College of Physics and Electronic Engineering, Hainan Normal University, Haikou Hainan

Received: Apr. 24th, 2023; accepted: Jun. 22nd, 2023; published: Jun. 28th, 2023

*通讯作者。

文章引用: 孙康迅, 邱美叶, 孔惠颖, 郑照轩, 王淼, 熊佳怡, 赵春杰, 王婧, 李再金, 乔忠良, 李林, 徐东昕, 曲轶. CdSe 薄膜的制备及其光学特性的研究进展[J]. 材料化学前沿, 2023, 11(2): 33-40. DOI: 10.12677/amc.2023.112004

Abstract

This article mainly introduces the preparation of CdSe thin films and the research status and progress of their optical properties both domestically and internationally. As an II-VI compound semiconductor thin film, CdSe has always been a hot research and development topic both domestically and internationally. In the preparation process of CdSe thin films, different preparation methods will have a significant impact on their performance. Therefore, it is necessary to choose appropriate preparation methods for performance optimization and trade-off selection. In recent years, people have developed various technologies to prepare CdSe films, but the existing research mainly focuses on the preparation of CdSe films by electrochemical methods and how to avoid the formation of unstable cubic phase, namely sphalerite, and directly generate stable hexagonal phase, namely wurtzite. However, there are few reports on physical methods, especially the CdSe coating technology of vacuum thermal evaporation technology, as well as its film forming effect and optical properties under this preparation method. With the continuous maturity of vacuum thermal evaporation technology, the technical shortcomings of high vacuum requirements and high cost are constantly being compensated, and the advantages of high membrane purity and high production efficiency are becoming increasingly apparent. At the same time, research has found that CdSe films prepared under vacuum thermal evaporation technology have better optical properties, which will create significant favorable conditions for the widespread preparation and promotion of CdSe films in the future.

Keywords

CdSe Thin Film, Vacuum Thermal Evaporation Technology, Optical Properties

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

硒化镉(CdSe)作为 II-VI 族中一种主要的半导体化合物, 其直接跃迁带隙结构仅有 1.74 eV, 吸收系数较高, 导电性好, 在空气中物理性质与化学性质均稳定, 因此 CdSe 是太阳能电池、高效薄膜晶体管等现代固态器件技术发展的重要材料[1] [2] [3]。

近年来, 人们主要关注 CdSe 薄膜的电学和光学性质的研究, 以提高器件的性能并寻找新的应用[4]-[9]。制备 CdSe 薄膜的方法多种多样(包括物理气相沉积、溅射、喷雾热解、电沉积等)[10] [11] [12] [13] [14]。在 CdSe 薄膜的制备过程中, 不同的制备方法都会对其性能有较大影响, 因此有必要选择合适的制备方法对其过程进行控制。

2. CdSe 薄膜的制备及其光学特性的研究进展

CdSe 薄膜作为一种重要的半导体材料, 已广泛应用于光电器件、光电催化等领域。然而, CdSe 薄膜的制备是实现其应用的关键之一。为了制备高质量的 CdSe 薄膜, 研究者们通过不断探索和改进不同的制备方法, 不断改善了其制备工艺, 提高了其薄膜的质量, 同时也拓展了其应用范围。现在我们来了解一下 CdSe 薄膜的制备方法及其优缺点。制备 CdSe 薄膜的方法通常分为以下几种如图 1 所示。下面是几种方法的制备原理。

(1) 喷雾热解法

喷雾热解法是一种制备 CdSe 薄膜的常用方法。该方法利用 Cd 和 Se 的化合物作为前驱体,在高温下进行喷雾热解,使 Cd 和 Se 等元素沉积到基底上形成 CdSe 薄膜。该方法可以控制 CdSe 薄膜的形貌和厚度,方法成本低廉,易于操作,可以制备大面积薄膜。2014 年, Zhang J 等[15]利用喷雾热解法在不同温度下制备了 CdSe 纳米粒子和薄膜,并对其进行了表征。研究发现适当的温度有利于 CdSe 薄膜的生长和改善表面形貌,尤其在 400℃制备得到的 CdSe 薄膜的表面粗糙度较低,晶粒大小较为均匀,该研究为了解喷雾热解法制备 CdSe 薄膜的基础过程和材料性质提供了实验数据和理论基础。

(2) 连续离子层吸附反应法

连续离子层吸附反应法是一种将金属离子和氧化物离子层逐层沉积在衬底上的方法,在此基础上通过控制溶液中反应离子的浓度和反应时间,实现了 CdSe 纳米晶的制备。该方法的主要步骤包括金属离子吸附、离子交换、沉积和氧化。2011 年,吴勇等人[16]采用连续离子层吸附反应技术自组装了 CdSe 薄膜,并对 CdSe 薄膜的结构进行了分析,通过电学性质研究了材料的光电特性。研究表明,使用连续离子层吸附反应法制备的 CdSe 薄膜具有高度的结构均匀性和优良的光电性能,有望应用于光催化、光电传感器等领域。

(3) 电化学沉积法

电化学沉积法是利用电解质中的电子和离子还原反应,通过外加电压或电流的作用将目标材料沉积到电极表面上,并形成薄膜的一种方法[17]。其制备 CdSe 薄膜的过程是,在 CdSe 前驱体的溶液中,通过施加电压或电流来控制 Cd^{2+} 在电极表面的反应,使 Cd^{2+} 被还原成 CdSe 并沉积到电极表面上,形成薄膜。具体操作可以根据材料性质和所需薄膜质量要求来设置不同的电压和电流密度等参数。

(4) 化学浴法

化学浴法是一种将 CdSe 晶体粉末溶解在有机溶剂中制备成 CdSe 溶液,然后将基底材料浸泡在该溶液中,再通过一系列反应步骤将 CdSe 晶体生长在基底材料上,最终形成 CdSe 薄膜的方法。2012 年,李玉法等人[18]将 CdSe 粉末与氨水、硫酸、过氧化氢等反应剂混合,形成化学反应体系。然后加热至 100℃反应,可制备出 CdSe 薄膜。2016 年,张永田等人[19]将导电玻璃铟锡氧化物(ITO)浸入溶液中,在 70℃的沉积温度和 60 分钟的沉积时间后得到了 CdSe 薄膜,通过实验研究,得出在制备过程中,反应时间、反应温度、Cd:Se 摩尔比等工艺参数会对 CdSe 薄膜的晶体结构、形貌、光学和电学性能产生显著影响,需要进行合理控制;CdSe 薄膜的大小、形状、晶体结构和光学性质可以通过调整反应温度和反应时间得到优化;CdSe 薄膜的能带结构、载流子浓度和透明度可以通过 CdSe 前驱体浓度和化学浴 pH 值的调整进行优化。

(5) 真空蒸发法

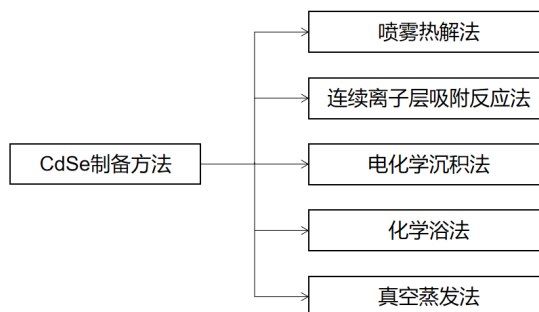


Figure 1. CdSe preparation technology

图 1. CdSe 制备技术

真空蒸发法是将材料放置在真空室中,加热至其熔点以上,使其蒸发并沉积在基底上形成薄膜的制备半导体薄膜的一种常见方法。2008年,刘凤山等人[20]利用真空蒸发法制备了 CdSe 薄膜,发现该方法制备的 CdSe 薄膜具有单晶纳米颗粒的结构,晶粒尺寸在 5~7 nm 范围内。

喷雾热解法的主要优势胜在操作简单可量产,但是缺点也很明显:薄膜的优质程度受到制备条件的限制;成膜速度过快,易造成 CdSe 薄膜表面的缺陷和杂质;喷雾稳定性差,难以得到均匀的薄膜。连续离子层吸附反应法可以制备成分均匀、尺寸可调的纳米晶。但制备过程需要控制多个参数,较为复杂。制备出的纳米晶形态和尺寸受到反应过程参数的影响,需要寻找最优的制备条件。电化学沉积法制备 CdSe 薄膜的优点包括制备过程简单,制备的薄膜具有高纯度和较好的控制性。缺点在于工艺参数要求较高,对薄膜的形貌和结晶方向的控制较为困难。化学浴法和真空蒸发法制备 CdSe 薄膜的过程相对简化,可制备大面积薄膜。化学浴法制备 CdSe 薄膜对材料的纯度和晶体质量的控制较好,制备条件相对容易调整,可以得到高质量的 CdSe 薄膜。真空蒸发法制备 CdSe 薄膜的成核和生长过程相对复杂,需要在高真空条件下操作,控制薄膜质量相对较难。

从成本和效率角度来看,化学浴法制备 CdSe 薄膜是当前最为普遍和实用的方法,但在实际应用中,不同的需求需要不同的制备方法。尽管真空蒸发法制备 CdSe 薄膜时的均匀性难以控制,并且对真空度要求高,成本较高,但制膜纯度高、生产效率高。随着现在真空机等技术的发展,真空蒸发法的技术难题和成本问题得到良好的解决;如今的高精尖技术领域又对制膜纯度拥有了更高的需求,因此真空蒸发法在该领域拥有着良好的市场前景和需求,逐渐成为当今 CdSe 镀膜技术中的主流技术之一。

2.1. 国内 CdSe 薄膜的制备及其光学特性的研究进展

CdSe 薄膜是一种常见的半导体材料,具有许多重要的应用,如太阳能电池、光电器件、传感器等。近年来,国内针对 CdSe 薄膜的制备和光学特性进行了广泛的研究。

目前,国内制备 CdSe 薄膜的方法主要有化学浴法、电化学沉积法、真空蒸发法等。其中,化学浴法和真空蒸发法等方法制备的 CdSe 薄膜具有优异的结晶性和光学性能,但设备复杂、成本高。电化学沉积法则具有简单、易于控制等优点,但制备的 CdSe 薄膜的质量和性能有待进一步提高。

研究表明,CdSe 薄膜的光学特性主要与其表面形貌、结晶性、厚度等因素有关。在紫外-可见吸收光谱中,CdSe 薄膜呈现出明显的吸收峰,且吸收峰位置随 CdSe 薄膜厚度的增加而向长波方向移动。在荧光光谱中,CdSe 薄膜也表现出明显的荧光峰,其位置和强度也受 CdSe 薄膜厚度和表面形貌的影响。

CdSe 薄膜在太阳能电池、光电器件、传感器等领域具有广泛的应用前景。在太阳能电池中,利用 CdSe 薄膜作为吸收层可以实现高效的光电转换;在传感器中,CdSe 薄膜可以用于检测有机分子、生物分子和气体等;在荧光探针中,CdSe 薄膜可以产生强烈的荧光信号,用于细胞成像和疾病诊断等。此外,CdSe 薄膜还可以用于制备微纳光子学器件,例如光子晶体、微腔和波导等。

2017年,裴传奇等人[20]采用真空热蒸发技术在光学玻璃基底上制备了 CdSe 薄膜,研究了真空下不同退火温度和退火时间对 CdSe 薄膜晶体结构和表面形貌的影响。XRD 结果表明,在 400~500℃ 范围下退火 2 h、5 h 的 CdSe 薄膜晶型不发生改变,结晶性随退火温度升高而增强,其晶粒尺寸从 32 nm 增加至 50 nm。SEM 结果表明,在 450℃ 下退火 2 h 后的 CdSe 薄膜表面颗粒分布均匀且排列规则、无裂纹。AFM 结果表明,在 450℃ 下退火 2 h 后的 CdSe 薄膜致密性好,表面粗糙度低(5.19 nm)。因此采用真空热蒸发制备的 CdSe 薄膜的热处理条件确定为:退火温度 450℃,退火时间 2 h,为 CdSe 薄膜制备方法研究提供了经验。

2017年,肖飞等人[21]采用真空蒸发法在有机高分子基底上制备了 CdSe 薄膜,研究了 CdSe 薄膜厚度对其电学性能和光学性能的影响,并探究了 CdSe 有机太阳能电池的性能。研究结果表明,CdSe 厚度

与有机材料的性能有着密切关系, CdSe 厚度合理可控可以提高光伏器件的性能, CdSe 和有机材料的复合可以大大提高光伏器件的效率。这对有机薄膜太阳能电池的设计和制造有着重要的参考价值。

2019 年, Baozhu Shi 等人[22]采用连续离子层吸附反应(SILAR)方法, 用 PbS 和 ZnS 量子点(QDs)敏化电化学沉积法制备的 CdSe 纳米棒阵列薄膜。研究表明, 该方法制备的 CdSe 纳米棒阵列薄膜具有较高的光吸收率和光子能量转化效率, 有望用于太阳能电池等光电器件中。

2019 年, Jianping Deng 等人[23]使用连续离子层吸收和反应, 以及化学浴沉积方法制备 CdSe 薄膜, 并对其进行了结构、形貌和光学性质等方面的表征。研究表明, CdSe 薄膜的光学性能优良, 且电化学沉积法制备的 CdSe 薄膜具有较好的均匀性和膜厚可控性。

2022 年, 管雪等人[26]通过射频磁控溅射法制备了 CdSe 薄膜, 并对其光电学性质进行了研究。研究人员使用了紫外-可见吸收光谱和荧光光谱等方法对 CdSe 薄膜的光学性质进行了研究以及对 CdSe 薄膜的电学性质进行了暗电导率测量和霍尔效应测量, 探讨了其与结构和光学性质之间的相关性。综合研究结果显示, 射频磁控溅射法制备的 CdSe 薄膜具有较好的结晶性和光学性能, 且样品的 Cd 和 Se 原子百分比随着溅射功率的增加而逐步改善, 可用于光电器件的制备。此外, CdSe 薄膜的电学性质与其结构和光学性质密切相关, 该结果可为 CdSe 薄膜在光电器件中的应用提供参考。

2.2. 国外 CdSe 薄膜的制备及其光学特性的研究进展

关于国外 CdSe 薄膜的制备及其光学特性的研究, 以下是其中一些具有代表性的研究和成果。

2020 年, Tuerxunjiang, Abulikemu 等人[25]采用热蒸发法制备 CdSe 薄膜, 并对其进行了结构、形貌和光学特性等方面的表征。研究表明, CdSe 薄膜具有较高的光吸收率和荧光强度, 且其性质可以通过薄膜制备过程中的温度、沉积时间等参数进行调控。

2019 年, Abebe G. Habte 等人[26]采用化学浴沉积技术在玻璃衬底上沉积了 CdSe 薄膜。利用 X 射线衍射(XRD)、紫外-可见光谱、扫描电子显微镜(SEM)、光致发光光谱对薄膜进行了表征。XRD 研究表明, 所得薄膜为立方晶体结构的 CdSe。研究表明, CdSe 薄膜光响应度较高, 荧光性能良好, 还可以作为光电器件中的窄带隙半导体材料被广泛应用。

2021 年, A.M. Abdulwahab 等人[27]采用化学浴沉积(CBD)技术在玻璃衬底上沉积了纯 CdSe 和 Ni-Co 双掺杂 CdSe 薄膜, 并利用 X 射线衍射(XRD)和紫外-可见光谱对制备的薄膜的结构和光学性能进行了研究。研究表明, CdSe 薄膜光响应度较高, Ni 和 Co 的双重掺杂提高了用作太阳能电池的 CdSe 薄膜的效率。

2021 年, A. D. RASUL 等人[28]以硼酸(H_3BO_3)为掺杂源, 在 $275^{\circ}C$ 衬底温度下, 采用喷雾热解技术制备了掺硼硒化镉(CdSe)薄膜, 并研究了其性能与掺杂浓度的关系。此外, 通过向初始溶液中加入 0.0025 M、0.01 M、0.015 M 和 0.05 M 的 H_3BO_3 , 获得了 CdSe(B)膜。详细讨论了硼酸浓度对 CdSe 薄膜结构、形貌和光学性能的影响, 证明了 CdSe 薄膜在光学领域作为光电器件的应用前景和价值。

2022 年, Afshin Alasvand 等人[29]研究了用电沉积法制备的 CdSe 薄膜, 并本研究对电化学沉积的未掺杂和锌掺杂的 CdSe 纳米结构进行了研究。使用具有 $3CdSO_4 \cdot 8H_2O$ 、 SeO_2 和各种量的 $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 的水溶液来沉积未掺杂和 Zn 掺杂的 CdSe 样品。X 射线衍射(XRD)、场发射扫描电子显微镜(FESEM), 带能量色散 X 射线分析(EDXA)附件, 原子力显微镜(AFM)、室温光致发光(PL)和 UVeVis 光谱已经用于研究 Zn 掺杂对 CdSe 薄膜物理特性的影响。这些结果表明, 通过由于 Zn 的掺杂, CdSe 薄膜的光学和导电性得到了改善, 可以制备出具有更高光学特性的 CdSe 薄膜, 具有潜在的应用前景。

综上所述, 国外在 CdSe 薄膜制备和光学特性研究等领域取得了不少重要进展。通过不同的制备方法和优化条件, 可以制备出具有较高结晶度、良好光学性能的 CdSe 薄膜, 在太阳能电池、光电器件、显示

器件等领域的应用前景良好。

3. 真空蒸发法制备 CdSe 薄膜及其光学特性研究进展

CdSe 薄膜作为一种重要的半导体材料,应用广泛,如太阳能电池等。其中,真空蒸发法是 CdSe 薄膜制备的重要方法之一。下面介绍的是真空蒸发法制备 CdSe 薄膜的原理、工艺流程、影响薄膜性质的因素以及光学特性的研究进展。

3.1. 制备原理

真空蒸发法是一种利用高温下使物质转化为气态后沉积在基底上的制备薄膜的方法。制备 CdSe 薄膜的过程一般需要以下几个步骤:

- (1) 清洗基底。清洗基底的目的是去除基底表面的杂质和氧化物,保证 CdSe 薄膜的质量;
- (2) 贴附石墨坩埚。CdSe 片材被放到石墨坩埚中,然后石墨坩埚和基底一起放到真空窑中;
- (3) 真空抽气。将系统的气压尽量降低,使 CdSe 片材能够升华而不是燃烧;
- (4) 加热 CdSe 片材。提高 CdSe 片材的温度,使其升华,形成气态 CdSe 分子;
- (5) 沉积 CdSe 分子。在基底上沉积 CdSe 分子,形成 CdSe 薄膜。

3.2. 影响因素

CdSe 薄膜的质量和性质受到多种因素的影响,包括 CdSe 片材的纯度、基底表面的状态、沉积温度和速度、沉积时间等因素。

- (1) CdSe 片材的纯度: CdSe 片材的纯度越高,制备出的 CdSe 薄膜质量越好;
- (2) 基底表面状态: 基底表面要求平整光滑,且无杂质和氧化物;
- (3) 沉积温度和速度: 沉积温度和速度对 CdSe 薄膜的结晶度和粗糙度有很大影响;
- (4) 沉积时间: CdSe 薄膜的厚度和光学性质受沉积时间的影响。

真空蒸发法是制备 CdSe 薄膜的一种有效方法,其制备的 CdSe 薄膜膜系纯度高,光学性能优良,具有广泛的应用前景。不过 CdSe 薄膜的性质受多种因素的影响,需要根据实际需求调整制备工艺参数。未来, CdSe 薄膜的性能和应用还需进一步研究和探索。

3.3. 研究进展

1. 光致发光特性

CdSe 具有比较强的光致发光特性,可以用于制备光电器件。2021 年, Shahnwaz Hussain 等人^[30]研究了使用化学浴沉积法制备 CdSe 材料,并对其在太阳能电池中的应用进行分析。研究表明,在提高能量转换和太阳能电池、超级电容器和电池等储能装置这方面, CdSe 薄膜的低带隙和高吸收系数区域,以及低电阻率使它们成为下一代的理想选择。

2. 纳米结构

通过调控真空蒸发条件,可以制备出 CdSe 纳米结构,如纳米线、纳米管和纳米颗粒等。研究结果表明,在适当的条件下,真空热蒸发法可以制备高质量的 CdSe 纳米线阵列,并且这些纳米线具有优异的电学性能和光学性能。

3. 其他光学性质

CdSe 还具有比较强的吸收特性和低反射率,使其成为一种重要的光学材料。通过真空蒸发法可以制备 CdSe 薄膜,并对其光学性质的相关研究。通过研究表明, CdSe 薄膜具有较高的吸收系数和较低的反射率,对光电器件的性能具有重要影响。

总之,真空蒸发法制备 CdSe 的光学进展主要集中于光致发光特性、纳米结构和其他光学性质。这些研究为 CdSe 在光电子学、光伏技术和光催化等领域的应用提供了重要的理论和实验基础。

4. 总结与展望

本文主要针对真空热蒸发技术的 CdSe 镀膜技术及制备方法对其成膜效果和光学特性等进展方面进行了重点介绍和总结。近年来,应用真空蒸发法制备 CdSe 薄膜已经成为化学合成方法和物理沉积方法的重要补充。与其他方法相比,真空蒸发法具有制备条件易于控制、薄膜质量高等优点,被广泛应用于薄膜电子学、光电探测器、太阳能电池等领域。同时,研究者们对 CdSe 薄膜的光学特性也进行了深入研究。总体来说,真空蒸发法制备的 CdSe 薄膜具有良好的光致发光特性和纳米结构,该方法的简易性和可控性也使得它成为制备 CdSe 薄膜的一种重要途径。

目前,国内对 CdSe 薄膜的制备及其光学特性的研究已经初步展开,但还需要进一步深入探索,推动 CdSe 薄膜在多个领域的广泛应用需求及其更深层次的研究。

基金项目

项目资助信息:海南省自然科学基金高层次人才项目(622RC671)、海南省自然科学基金项目(120MS031)和国家自然科学基金项目(62174046, 62064004, 61964007, 61864002)。

参考文献

- [1] Yang, X.Y., Liu, B., Li, B., *et al.* (2016) Preparation and Characterization of Pulsed Laser Deposited a Novel CdS/CdSe Composite Window Layer for CdTe Thin Film Solar Cell. *Applied Surface Science*, **367**, 480-484. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.01.224>
- [2] Shaikh, A.V., Mane, R.S., Joo, O.-S., Han, S.-H. and Pathan, H.M. (2017) Electrochemical Deposition of Cadmium selenide Films and Their Properties: A Review. *Journal of Solid State Electrochemistry*, **21**, 2517-2530. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10008-017-3552-0>
- [3] Licx, X., Wang, F.G., Chen, Y.L., *et al.* (2018) Characterization of Sputtered CdSe Thin Films as the Window Layer for CdTe sOlar Cells. *Materials Science in Semiconductor Processing*, **83**, 89-95. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2018.04.022>
- [4] Oduor, O. and Gould, R. (1998) Characterization of Thin Cadmium Telluride Films Deposited by Close-Spaced Sublimation. *Thin Solid Films*, **317**, 409-413. [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(97\)00575-0](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(97)00575-0)
- [5] Mohanchandra, K.P. and Uchil, J. (1998) Effect of Annealing on the Properties of CdS Films Grown by Chemical Bath Deposition. *Journal of Applied Physics*, **84**, 306-311. <https://doi.org/10.1063/1.368028>
- [6] Lee, M.J., Lee, S.C. and Kang, C.Y. (1999) Investigation of Threshold Voltage Instability in Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors with Ultra-Thin Oxide. *Solid State Electronics*, **43**, 833-838. [https://doi.org/10.1016/S0038-1101\(99\)00007-6](https://doi.org/10.1016/S0038-1101(99)00007-6)
- [7] Samanta, D., Samanta, B., Chaudhuri, A.K., *et al.* (1996) Effect of Nitrogen Incorporation on the Properties of Silicon Oxide Films Deposited by Low Pressure Chemical Vapor Deposition. *Semiconductor Science and Technology*, **11**, 548. <https://doi.org/10.1088/0268-1242/11/4/016>
- [8] Bondi, H. (1990) Conservation and Non-Conservation in General Relativity. *Royal Society*, **427**, 1873. <https://doi.org/10.1098/rspa.1990.0011>
- [9] Pal, U., Samata, D., Ghorai, S., *et al.* (1993) Magnetic Properties of CoFe-Based Amorphous Alloys. *Journal of Applied Physics*, **74**, 6368-6370. <https://doi.org/10.1063/1.355161>
- [10] Green, M.A., Emery, K.E., Hishikawa, Y., *et al.* (2012) Solar Cell Efficiency Tables. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, **20**, 12-20. <https://doi.org/10.1002/ppp.2163>
- [11] Rouleau, C.M. and Lowndes, D.H. (1998) Pulsed Laser Deposition of Thin Films of Strontium Titanate for Electronic and Optical Applications. *Applied Surface Science*, **127**, 418-425. [https://doi.org/10.1016/S0169-4332\(97\)00666-1](https://doi.org/10.1016/S0169-4332(97)00666-1)
- [12] Ohishi, M., Yoneta, M., Saito, H., *et al.* (1998) Growth and Characterization of Nonlinear Optical L-Arginine Phosphate Monohydrate Crystals. *Journal of Crystal Growth*, **184**, 57-61. [https://doi.org/10.1016/S0022-0248\(98\)80293-5](https://doi.org/10.1016/S0022-0248(98)80293-5)
- [13] Gruszecki, T. and Holmström, B. (1993) Preparation of Thin Films of Polycrystalline CdSe for Solar Energy Conver-

- sion I: A Literature Survey. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **31**, 227-234. [https://doi.org/10.1016/0927-0248\(93\)90053-6](https://doi.org/10.1016/0927-0248(93)90053-6)
- [14] Zhang, Z.Q., Wu, G.M., Gao, D.W., *et al.* (2012) A Study of the Preparation of CdSe Semiconductor films bu Ultrasonic Injection Spray Pyrolysis and Its Physical Properties. *Journal of Beijing Institute of Petro-chemical Technology*, **20**, 36-39. http://afm.cn/sites/default/files/papers/1160_0.pdf
- [15] Zhang, J., Hua, T., Chang, Y., *et al.* (2014) Preparation and Characterization of CdSe Thin Films Using Spray Pyrolysis Technique. *Journal of Alloys and Compounds*, **589**, 531-536.
- [16] Manivannan, R. and Victoria, S.N. (2018) Preparation of Chalcogenide Thin Films Using Electrodeposition Method for Solar Cell Applications—A Review. *Solar Energy*, **173**, 1144-1157. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.08.057>
- [17] Zhang, Y., Feng, L., Sun, Y., *et al.* (2017) Influence of Electrodeposition Conditions on the Properties of CdSe Thin Films and Their Application in Solar Cells. *Applied Surface Science*, **394**, 582-591.
- [18] 李玉法, 杨佳, 刘冀辰, 等. 光电化学电池用化学浴沉积制备 CdSe 薄膜[J]. 晶体生长杂志, 2012, 350(1): 18-22.
- [19] 张永田, 张启亮, 籍超, 等. 通过化学浴沉积制备用于光伏应用的 CdSe 薄膜[J]. 应用物理学 A, 2016, 122(9): 777.
- [20] 裴传奇, 张志勇, 张敏, 等. 热蒸发制备 CdSe 薄膜的退火工艺研究[J]. 材料导报, 2017(31): 242-245.
- [21] 肖飞, 曾体贤, 杨辉, 刘其娅, 裴传奇, 张敏. 基于 Si 衬底的 CdSe 薄膜蒸镀工艺研究[J]. 人工晶体学报, 2017, 46(2): 334-337.
- [22] Shi, B.Z., Qi, Y., Tian, L.C. and Liu, L. (2019) The Enhanced Photoelectrochemical Performance of PbS/ZnS Quantum Dots Co-Sensitized CdSe Nanorods Array Heterostructure. *Materials Science in Semiconductor Processing*, **98**, 7-12. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2019.03.018>
- [23] Deng, J., Li, L., Gou, Y., *et al.* (2020) CdS-derived CdS₁-Xse Nanocrystals within TiO₂ Films for Quantum Dot-Sensitized Solar Cells Prepared through Hydrothermal Anion Exchange Reaction. *Electrochimica Acta*, **356**, 136845.
- [24] Lin, J., Lai, Y., Shao, Y., *et al.* (2020) Controlled Reaction Rates and Surface Quality of Continuous Ion Layer Adsorption by Different Pre-Treatment Steps for High-Quality CdSe Thin Films. *Optics Express*, **28**, 5418-5427.
- [25] Abulikemu, T., DuenowJoel, N., Zheng, X., *et al.* (2020) Thin-Film Solar Cells with 19% Efficiency by Thermal Evaporation of CdSe and CdTe. *ACS Energy Letters*, **5**, 892-896. <https://doi.org/10.1021/acseenergylett.9b02836>
- [26] Habte, A.G., Hone, F.G. and Dejene, F.B. (2019) The Influence of Malonic Acid on the Structural, Morphological and Optical Properties of CdSe Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition Method. *Inorganic Chemistry Communications*, **103**, 107-112. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2019.03.017>
- [27] Abdulwahab, A.M., AL-Adhrai, A.A. and Ahmed, A.A.A. (2021) Influence of Ni-Co Dual Doping on Structural and Optical Properties of CdSe Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition Method. *Optik*, **236**, 166659.
- [28] Rasul, A.D., Bedir, M., Çelik, S.S., Hacıbrahimoğlu, M.Y. and Öztaş. M. (2020) Investigation of the Effect of Boric Acid on the Characterization of CdSe Films Grown by Spray Pyrolysis Method. *Optoelectronics and Advanced Materials—Rapid Communications*, **14**, 438-444. <http://oam-rc2.inoe.ro/articles/investigation-of-the-effect-of-boric-acid-on-the-characterization-of-cdse-films-grown-by-spray-pyrolysis-method/>
- [29] Alasvand, A. and Kafashan, H. (2019) Comprehensive Physical Studies on Nanostructured Zn-doped CdSe Thin Films. *Journal of Alloys and Compounds*, **789**, 108-118. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.03.096>
- [30] Hussain, S., Iqbal, M., Khan, A.A., *et al.* (2021) Fabrication of Nanostructured Cadmium Selenide Thin Films for Optoelectronics Applications. *Frontiers in Chemistry*, **9**, Article 661723. <https://doi.org/10.3389/fchem.2021.661723>