表面凹坑阵列陷光结构的光学衍射特征研究

陈乐^{1,2}, 王庆康^{2*}, 张文涛³, 陈文¹, 易施光¹

1. 玉林师范学院物理科学与技术工程学院, 复杂系统优化与大数据处理广西高校重点实验室, 玉林 537000;

2. 上海交通大学微电子与纳米科学系, 薄膜与微细技术教育部重点实验室, 上海 200240;

3. 桂林电子科技大学电子工程与自动化学院, 光电信息处理重点实验室, 桂林 541004

* E-mail: wangqingkang@sjtu.edu.cn

收稿日期: 2017-09-12; 接受日期: 2017-10-18; 网络发表日期: 2017-11-30

国家自然科学基金项目(批准号: 61563054, 61565004)、广西高校光电信息处理重点实验室(桂林电子科技大学)开放基金项目(编号: KFJ2015-02)和复杂系统优化与大数据处理广西高校重点实验室科学研究课题项目(编号: 2016CSOBDP0102)资助

摘要 表面凹坑阵列结构具有良好的陷光特性, 能有效地降低电池表面的光能反射和延长光在电池吸收层中的光程, 因此在光伏领域, 特别是在硅薄膜太阳能电池中具有良好的应用前景. 本文采用理论分析与实验验证相结合的方法, 对凹坑阵列陷光结构的光学衍射特征进行研究, 并讨论了凹坑阵列结构的衍射效应对硅薄膜太阳能电池吸收特性的影响. 研究结果发现, 凹坑阵列陷光结构的深宽比越大, 其衍射效率越好, 越有利于光的均匀散射, 越有利于电池对入射光的吸收和电池效率的提升. 另外, 凹坑阵列结构的衍射特性还与入射波的波长有关, 入射波长越长, 其衍射效果越好. 本研究对于高效表面陷光阵列的设计以及高效衍射效率光栅的制备具有重要的参考价值.

关键词 硅薄膜太阳能电池, 凹坑阵列, 陷光结构, 衍射

1 引言

硅薄膜太阳能电池是继晶硅太阳能电池之后兴起的新一代硅太阳能电池, 具有成本低、制备容易、节省硅料和弱光效应好等诸多优点, 近年来吸引了越来越多学术界和产业界的眼光^[1-4]. 然而, 随着晶硅电池效率的提升和硅料生产成本的大幅下降, 硅薄膜电池的优势在不断减弱. 特别硅薄膜电池的效率远低于晶硅电池效率, 这在很大程度上制约了硅薄膜电池的发展与应用^[5]. 为了提高硅薄膜电池的效率, 人们采用多种陷光技术来增大电池光的吸收^[6]. 概括而言主要有

两类: (1) 制备电池内部微纳绒面结构, 包括纳米线^[7-9]、纳米锥^[10-12]、纳米微球等^[13-15], 该类结构有助于提升电池内部的光吸收, 提升电池效率, 然而这种陷光结构极易破坏电池本身, 使电池遭到致命性的损伤; (2) 制备电池外部的表面陷光结构^[16-18], 这种表面陷光结构不但能降低电池表面的光反射, 而且还能提高光在电池吸收层中的光程, 从而增加电池的光吸收能力, 提升电池效率. 相比于前一种, 这种表面陷光结构最大的优点是不改变原有电池的加工工艺, 对电池本身无破坏性. 本研究团队, 通过微纳加工工艺手段, 在硅薄膜太阳能电池表面制备类半球状的凹坑阵列陷光结

引用格式: 陈乐, 王庆康, 张文涛, 等. 表面凹坑阵列陷光结构的光学衍射特征研究. 中国科学: 技术科学, 2017, 47: 1286-1294

Chen L, Wang Q K, Zhang W T, et al. Research of optical diffraction properties on surface pit array light-trapping structure. Sci Sin Tech, 2017, 47: 1286-1294, doi: 10.1360/N092017-00318

构,使电池的效率相对提升5~7个百分点^[17,18].

文献研究表明,高效表面陷光结构具有很好的光能调控能力,除能降低电池表面的光能损失、延长光程外,还能减少(抑制)电池内部由于各层不同折射率界面反射导致的光能逃逸,因此显著地增加了太阳能对入射光的有效吸收和利用,提升电池效率^[19].延长光程和抑制光能逃逸,还能为减少电池吸收层厚度,降低电池制备成本留出一定空间.另外,在电池表面制备的阵列陷光结构,不用改变太阳能电池原有的生产工艺,从而保证了电池实验样品不受破坏,安全可靠^[15,17].另外,表面微纳陷光结构对入射光的调控能力,与陷光结构的微纳阵列有很大关系,而衍射阵列花样图案则为规则陷光阵列对光子调控的最直观表现之一.其中,光经微纳结构调控后能量分布范围越广、越均匀,其衍射效果则越好,越有利于提高电池对光的吸收能力,反之则越差.表面微纳陷光结构的衍射效果与陷光结构阵列的周期、深度以及入射光波长等因素有关.陷光结构的阵列光学衍射花样,不但能反映其陷光特性,还能反映其结构特征.目前,国内外关于阵列结构衍射特性的研究,大多只针对一些较为常见的理论模型,利用较为单一的理论仿真分析或实验的方法,对其衍射特征进行定性分析和研究^[20,21].而有针对性地,对应用于薄膜太阳能电池表面的凹坑阵列陷光结构的光学衍射特性研究还比较少见,人们对该方面的了解并不多,而这对于高效表面陷光结构的设计与开发是具有指导意义的.

因此,本文采用理论分析与实验验证相结合的方法对凹坑阵列陷光结构的光学衍射特征进行研究,研究凹坑阵列结构的结构特征与入射光波长及其衍射效应的关系,讨论了凹坑阵列结构的衍射效应对硅薄膜太阳能电池吸收特性的影响.本研究对于高效表面陷光阵列的设计,以及高效衍射效率光栅的制备具有重要的参考价值,从而有利于设计开发高效的、适用于提升硅薄膜太阳能电池效率的表面陷光结构.

2 理论分析与模拟

2.1 理论模型与分析

文献^[19,22]均将类半球凹坑阵列简化为半椭球阵列,并通过椭球方程对类半球凹坑阵列的结构特征进行模拟.根据该模型,凹坑阵列结构组成的透射光栅

柱面,即由结构相同、折射率相等的半椭球凹坑柱面阵列所组成.当光照射到凹坑阵列结构硅薄膜太阳能电池表面时,入射光波通过表面阵列柱面光栅会引起一定的相位延迟,该相位延迟可以等效于柱面透镜对入射波前作用的透射系数,由透射系数乘以相应的矩形函数就可以得到透射光场的复振幅.通过对复振幅进行傅里叶变换,即可得到透射光栅在任意谱面坐标处的光强分布.然而,在实际的计算过程中,由于半椭球柱面透射光栅的复振幅形式较为复杂,对其进行傅里叶变换时,难以得到准确的表达式或实际解.因此,本文采用正弦型光栅分析法,对类半球凹坑阵列结构的透射特性进行分析,并最终获得其衍射能量分布图.

图1所示的是单色光在正方形正弦光栅上衍射示意图,其中 L 为光栅阵列边长, D 为光栅阵列深度, P 为光栅阵列周期, i 为衍射光能级. D 、 P 和 i 均为相对大小,无量纲.那么,刻光栅在 xy 平面 (x_0, y_0) 处的复振幅透过率,则为

$$t(x_0, y_0) = \exp\left[j\frac{m}{2}\sin(2\pi fx_0)\right] \text{rect}\left(\frac{x_0}{L}\right) \text{rect}\left(\frac{y_0}{L}\right), \quad (1)$$

式中, $m/2$ 是位相呈正弦变化的幅度, f 是光栅周期变化频率.

利用卷积定理,可以得到该光栅频谱:

$$T(f_x, f_y) = \mathcal{F}\left\{\exp\left[j\frac{m}{2}\sin(2\pi fx_0)\right]\right\} * \mathcal{F}\left\{\text{rect}\left(\frac{x_0}{L}\right) \text{rect}\left(\frac{y_0}{L}\right)\right\}, \quad (2)$$

式中, $\mathcal{F}\{\}$ 为傅里叶变换符号.根据贝赛尔恒等式,可得:

$$T(f_x, f_y) = \sum_{q=-\infty}^{\infty} L^2 J_q\left(\frac{m}{2}\right) \text{sinc}[L(f_x - qf_0)] \text{sinc}(Lf_y). \quad (3)$$

则,光栅夫琅和费衍射图样的复振幅分布可表达为

$$\begin{aligned} U(x, y) &= \frac{1}{j\lambda z} \exp(jkz) \exp\left[j\frac{k}{2z}(x^2 + y^2)\right] \\ &\quad \cdot T\left(f_x, f_y\right)_{f_x=\frac{x}{\lambda z}, f_y=\frac{y}{\lambda z}} \\ &= \frac{L^2}{j\lambda z} \exp(jkz) \exp\left[j\frac{k}{2z}(x^2 + y^2)\right] \\ &\quad \times \sum_{q=-\infty}^{\infty} J_q\left(\frac{m}{2}\right) \text{sinc}\left[\frac{L}{\lambda z}(x - qf\lambda z)\right] \text{sinc}\left(\frac{Ly}{\lambda z}\right). \end{aligned} \quad (4)$$

图1 单色光在正弦光栅上衍射示意图

由此, 可得到光栅的光强分布函数:

$$I(x, y) = \left(\frac{L^2}{\lambda z} \right) \sum_{q=-\infty}^{\infty} J_q^2 \left(\frac{m}{2} \right) \cdot \text{sinc}^2 \left[\frac{L}{\lambda z} (x - qf_0 \lambda z) \right] \text{sinc}^2 \left(\frac{Ly}{\lambda z} \right). \quad (5)$$

当 $y=0$ 时, 即为光栅沿 x 轴方向的衍射能量强度分布:

$$I(x, 0) = \left(\frac{L^2}{\lambda z} \right) \sum_{q=-\infty}^{\infty} J_q^2 \left(\frac{m}{2} \right) \text{sinc}^2 \left[\frac{L}{\lambda z} (x - qf\lambda z) \right], \quad (6)$$

式中, J_q 表示 q 阶第一类贝赛尔函数, λ 是入射光的波长。

图2所示是 $m=8$, $f=5 \times 10^5$, $\lambda=650 \text{ nm}$ 时的光栅衍射光强分布图, 其中以 $(L^2/\lambda z)$ 为一个强度单位。可见在该条件下, 光栅沿 x 轴方向的衍射图像包含多个衍射级, 存在缺级现象, 且限制任意高的衍射级的产生。

2.2 模拟结果

式(6)可知, 改变光栅参数 m , f 和 λ , 即可得到不同情

图2 $m=8$, $f=5 \times 10^5$, $\lambda=650 \text{ nm}$ 时光栅衍射强度分布曲线

况下光栅衍射的能量分布图。图3所示的是不同光栅参数条件下, 光栅衍射能量强度沿 x 轴方向的分布情况。其中图3(a)~(c)分别表示不同光栅参数 m 、不同光栅参数 f 和不同入射波长 λ 情况下的光栅衍射强度分布曲线图。如前所述, $m/2$ 是光栅位相变化的幅度, f 为光栅的周期变化频率, λ 表示入射光的波长, 则 m 越大, 意味着光栅结构深度(D)越大, 而 f 越小, 光栅结构周期(P)越大, λ 越大, 入射波长越长。

结合图2和3, 不难概括出该光栅结构参数和入射光波长对光栅衍射光强分布特征的影响情况, 如表1所示。

(1) 光栅结构深度增加, 光栅衍射级数增多, 相应能级能量减少, 能级间距离不变;

(2) 光栅结构周期增大, 光栅衍射级数和相应能级能量不变, 能级间距离减小;

(3) 入射波长增加, 光栅衍射级数和相应能级能量不变, 能级间距离增加。

上述结果说明, 凹坑阵列结构的深度、周期以及入射波长均对其光栅的衍射效应产生影响。其中, 结构越深, 衍射级数越多, 衍射范围则越大。衍射范围增大, 意味着凹坑阵列结构对入射光的散射能力增强, 有利于增大光在电池中的传播路径, 即增加光程, 增强电池对光的有效吸收, 提升电池效率。而结构周期增大, 其能级间的距离则减小, 从而导致衍射范围减小, 不利于电池的光吸收。为了描述凹坑阵列陷光结构的整体特征, 文献[22]引入结构深宽比的概念, 即凹坑结构的深度与周期之比。可见, 深度越深, 周期越小, 即结构深宽比越大, 其衍射级数和范围均越大, 这越有利于电池光吸收的增强和电池效率的提升。同时入射波长越长, 其衍射效果也越好。说明凹坑结构对长波衍射效率更高。然而, 对于太阳能电池而言, 其入射光为宽光谱的太阳光, 因此, 实际上不必考虑入射光波长对其衍射特性和效率的影响。

3 实验验证

3.1 表面凹坑阵列结构的实验制备

采用微纳加工技术, 结合HF湿法腐蚀方法, 可以在玻璃表面制备类半球状的凹坑阵列结构。该结构具有良好的陷光特性, 适用于玻璃封装的光伏电池, 特别是硅薄膜太阳能电池, 能有效地减少电池的光能损

图 3 条件改变对衍射强度分布的影响. (a) 不同凹坑阵列深度; (b) 不同凹坑阵列周期; (c) 不同入射光波长

表1 光栅参数条件变化对衍射分布特征的影响^{a)}

变化情况	衍射能级特征		
	<i>L</i> (距离)	<i>I</i> (能量)	<i>i</i> (能级)
<i>D</i> (深度)↑	→	↓	↑
<i>P</i> (周期)↑	↓	→	→
<i>λ</i> (波长)↑	↑	→	→

a) “→”表示不变, “↑”表示增大, “↓”表示减小

失, 提升电池光电效率. 图4是玻璃表面制备类半球凹坑阵列结构的微加工工艺流程图.

3.2 表面凹坑阵列结构的衍射花样

图5所示是利用上述的工艺流程制备得到的不同凹坑阵列结构及其对应的衍射花样. 这些阵列结构的微加工工艺过程基本相同, 而差别就是其光刻掩膜板(Mask)不同, 选择不同的Mask, 即可得到不同结构形状的阵列结构, 但本质上与“类半球凹坑阵列结构”是一致的, 即截面均为“类半球(圆)的凹坑阵列”. 其中, 图5(a)是类半球状的凹坑阵列, 其衍射花样为二维点阵阵列结构; 图5(b)是“回宫”式的凹坑阵列, 其衍射花样与“回宫”阵列结构类似, 并形成“十字型”的主阵列;

图 4 (网络版彩图)凹坑阵列陷光结构玻璃的制备流程图. (a) 清洗玻璃衬底; (b) 溅射金属种子层; (c) 旋涂光刻胶; (d) 光刻、显影; (e) 刻蚀金属种子层; (f) 去胶; (g) HF刻蚀玻璃; (h) 去种子层

图 5 (网络版彩图)不同凹坑阵列结构的扫描电子显微镜图及其衍射花样图

图5(c)是多同心圆的环状凹坑阵列, 其衍射花样为同心阵列结构; 图5(d)是一维凹槽阵列, 其衍射花样为一维线型的点阵结构. 可见, 阵列结构图样决定了其衍射花样的衍射特征, 通过设计制备不同的阵列结构, 可以得到不同的衍射花样.

值得说明的是, 这些表面凹坑阵列结构对于薄膜太阳能电池性能的提升都是有意义的. 本研究团队, 利用微加工工艺技术, 设计开发了上述多款凹坑阵列表面陷光结构, 并将其应用于单节和多节的硅薄膜太阳能电池中, 均显示出较为高效的陷光特性^[17,19,22]. 高效的表面陷光结构不但能有效地降低电池表面的光能反射, 还能增加电池的有效光程和光吸收能力, 从而能提高电池的短路电流和光电转化效率. 同时, 通过压印工艺技术, 利用自主合成的压印胶, 将凹坑阵列陷光结构大面积地复制转移到平板薄膜电池的上层玻璃表面, 经转移复制后得到的陷光结构对电池效率的提升

同样有效^[18]. 可见, 该技术在薄膜太阳能电池的商业应用中具有广阔应用前景.

3.3 凹坑结构特征与入射波长对衍射效应的影响

图6所示为不同凹坑结构和不同入射波长情况下得到的衍射花样. 图6(a)是相同结构周期、不同结构深度的衍射花样, 其中, 图6(a1)的结构深度大于图6(a2), 可见结构越深, 衍射阵列能级越多, 能量越分散, 而能级间的距离不变. 为了直观地比较观察能级间的距离, 两图中均标注了从中间第0级到第5级的能量分布位置. 不难发现, 任意相同能级间的距离是相等的, 即 $L_1=L_2$. 图6(b)是不同结构周期得到的衍射花样, 其中, 图6(b1)的结构周期是图6(b2)的2倍, 分别是10和20 μm , 可见结构周期越大, 其衍射阵列的能级距离越小, 能量越不分散. 图6(c)是不同入射波长得到的衍射花样, 其中, 图6(c1)的入射光波长 $\lambda=500\text{ nm}$, 图6(c2)的

图 6 (网络版彩图)不同条件下的衍射花样. (a) 不同结构深度; (b) 不同结构周期; (c) 不同入射光波长

$\lambda=650\text{ nm}$. 为了更好地研究不同入射波长情况下的衍射特征, 将衍射花样接收屏划分为若干个大小一致的正方形网格, 并以中间最亮点为第0级, 在屏左右两侧各标出第1~5能级对应的位置. 对比图6(c1)和(c2)不难发现, 波长为500 nm的衍射花样, 能级距离小于波长为650 nm的能级距离, 即 $L_{500}<L_{650}$, 这说明入射光波长越长, 衍射能级距离越远. 上述实验很好地验证了前面的理论模拟结果, 两者结论基本一致, 均说明凹坑结构深度越深, 周期越小, 即结构深宽比越大, 衍射效果越好, 越有利于电池对入射光的吸收和电池效率的提升.

值得一提的是, 在前面的计算分析中, 我们基于严格的傅里叶光学理论, 利用正弦型光栅分析法, 通过Matlab编程, 求解了光栅衍射复振幅分布的非线性方程, 得到了不同条件下, 凹坑阵列的衍射花样及其能量分布特征. 通过仿真图样, 我们可以容易得到各能级的能量分布情况及其大小. 考虑到衍射光栅的能级分布多, 衍射能级距离小以及文章篇幅等实际原因, 在这里暂不对实测样品的能级能量分布进行测试和表征. 对于该方面的内容, 我们将在后续的工作中进行深入研究, 并将结果进行报道.

我们知道, 太阳能电池表面陷光结构的良好陷光效应, 主要体现在对太阳能电池效率的提升. 而良好的陷光效应是3方面的综合结果, 分别是降低电池表面的光反射, 减少电池内部的光能逃逸和延长电池内部的光程. 通过微加工工艺在玻璃表面制备得到的凹坑阵列结构, 很好地实现了上述3方面结合, 因此表现出良好的陷光效应, 在玻璃封装太阳能电池, 特别是硅

薄膜太阳能电池方面具有良好的应用前景. 然而, 利用微纳加工工艺在玻璃表面制备凹坑阵列结构将经受加工成本的严重考验, 因此, 该技术对光伏器件的商业化应用, 目前并不具备强的吸引力. 但是, 随着压印工艺和PDMS浇注工艺的发展, 则为这方面提供了良好的发展思路. 利用压印工艺或者PDMS浇注工艺可以将其玻璃表面陷光结构进行复制和转移, 同样也能实现类似的陷光效果, 这将大大节约陷光结构的制备成本, 从而可为产业化发展提供技术支撑, 前景光明, 文献[16,18]已在这方面做了有益的尝试, 效果良好.

4 结论

利用理论分析和实验验证相结合的方法, 研究表面凹坑阵列陷光结构的光学衍射特征, 并讨论了凹坑阵列结构特征与入射光波长对阵列结构衍射花样与效率的影响. 结果发现, 凹坑结构深度增大, 衍射级数增多, 能级能量减少, 能级距离不变; 凹坑结构周期增大, 衍射级数和能级能量不变, 能级距离减小; 入射波长增加, 衍射级数和能级能量不变, 能级距离增加. 该结果说明, 凹坑阵列陷光结构的深宽比越大, 其衍射效率越好, 则越有利于光有均匀散射, 越有利于光程的增加及电池的效率高. 同时, 对于长波段的入射光, 其衍射效率也相对较好. 本研究对于高效表面陷光阵列的设计, 以及高效衍射效率光栅的制备具有重要的参考价值, 从而有利于设计开发更高效的、适用于提升硅薄膜太阳能电池效率的表面陷光结构, 该结构具普适性, 能推广到更多的表面玻璃封装光伏器件.

参考文献

- 1 de Jong M M, Sonneveld P J, Baggerman J, et al. Utilization of geometric light trapping in thin film silicon solar cells: Simulations and experiments. *Prog Photovolt-Res Appl*, 2014, 22: 540–547
- 2 Pala R A, Liu J S Q, Barnard E S, et al. Optimization of non-periodic plasmonic light-trapping layers for thin-film solar cells. *Nat Commun*, 2013, 4: 2095
- 3 Fang J, Liu B F, Zhao Y, et al. Two-dimensional high efficiency thin-film silicon solar cells with a lateral light trapping architecture. *Sci Rep*, 2015, 4: 6169
- 4 Mercaldo L V, Addonizio M L, Noce M D, et al. Thin film silicon photovoltaics: Architectural perspectives and technological issues. *Appl Energ*, 2009, 86: 1836–1844
- 5 于晓明, 赵静, 侯国付, 等. PIN型和NIP型硅薄膜太阳能电池中绒面陷光结构和陷光性能研究. *物理学报*, 2013, 62: 120101
- 6 丁东, 杨仕娥, 陈永生, 等. Al纳米颗粒增强微晶硅薄膜太阳能电池光吸收的模拟研究. *物理学报*, 2015, 64: 429–434
- 7 Garnett E C, Brongersma M L, Cui Y, et al. Nanowire solar cells. *Annu Rev Mater Res*, 2011, 41: 269–295

- 8 Garnett E, Yang P D. Light trapping in silicon nanowire solar cells. [Nano Lett](#), 2010, 10: 1082–1087
- 9 Kelzenberg M D, Boettcher S W, Petykiewicz J A, et al. Enhanced absorption and carrier collection in Si wire arrays for photovoltaic applications. [Nat Mater](#), 2010, 9: 239–244
- 10 Jeong S, McGehee M D, Cui Y. All-back-contact ultra-thin silicon nanocone solar cells with 13.7% power conversion efficiency. [Nat Commun](#), 2013, 4: 2950
- 11 Zhang Z, Qiu B C, Shao B, et al. Efficiency improvement in Si thin film solar cells by employing composite nanocone-shaped grating structure. [Jpn J Appl Phys](#), 2015, 54: 062301
- 12 Zhu J, Hsu C M, Yu Z, et al. Nanodome solar cells with efficient light management and self-cleaning. [Nano Lett](#), 2010, 10: 1979–1984
- 13 Jeong S, Hu L, Lee H R, et al. Fast and scalable printing of large area monolayer nanoparticles for nanotexturing applications. [Nano Lett](#), 2010, 10: 2989–2994
- 14 Grandier J, Callahan D M, Munday J N, et al. Light absorption enhancement in thin-film solar cells using whispering gallery modes in dielectric nanospheres. [Adv Mater](#), 2011, 23: 1272–1276
- 15 Chen L, Wang Q K, Shen X Q, et al. Absorption enhancement in thin film a-Si solar cells with double-sided SiO₂ particle layers. [Chin Phys B](#), 2015, 24: 104201
- 16 Tsui K H, Lin Q F, Chou H T, et al. Low-cost, flexible, and self-cleaning 3D nanocone anti-reflection films for high-efficiency photovoltaics. [Adv Mater](#), 2014, 26: 2805–2811
- 17 Shen X Q, Wang Q K, Wangyang P H, et al. Performance enhancement in a-Si:H/ μ c-Si:H tandem solar cells with periodic microstructured surfaces. [Opt Lett](#), 2015, 40: 1290–1293
- 18 Wangyang P H, Gan Y G, Wang Q K, et al. A hybrid resist hemispherical-pit array layer for light trapping in thin film silicon solar cells via UV nanoimprint lithography. [J Mater Chem C](#), 2014, 2: 6140–6147
- 19 Chen L, Wang Q K, Wangyang P H, et al. Light trapping characteristics of glass substrate with hemisphere pit arrays in thin film Si solar cells. [Chin Phys B](#), 2015, 24: 040202
- 20 魏功祥, 国承山, 张新廷, 等. 基于周期阵列抽样孔的非迭代实时相干衍射成像. [中国科学: 物理学 力学 天文学](#), 2012, 42: 452–457
- 21 Kivijärvi V, Nyman M, Shevchenko A, et al. Optical-image transfer through a diffraction-compensating metamaterial. [Opt Express](#), 2016, 24: 9806–9815
- 22 Chen L, Wang Q K, Chen W, et al. Investigation of a novel frosted glass with regular pit array texture. [J Mater Process Tech](#), 2016, 238: 195–201

Research of optical diffraction properties on surface pit array light-trapping structure

CHEN Le^{1,2}, WANG QingKang², ZHANG WenTao³, CHEN Wen¹, YI ShiGuang¹

¹ Guangxi Universities Key Lab of Complex System Optimization and Big Data Processing, College of Physical Science and Technology Engineering, Yulin Normal University, Yulin 537000, China;

² Key Laboratory for Thin Film and Micro Fabrication of the Ministry of Education, Department of Micro/nano Electronics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

³ College of Electrical Engineering and Automation, Key Lab of Photoelectric and Information Processing, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China

Pit array structure has a good light-trapping characteristic, which can effectively reduce the surface light reflection and prolong the optical path. Therefore in the photo voltaic field, especially in the thin film silicon solar cells field, the pit array structure has good prospects. In this paper, a combining method of theory analysis and experimental verification was used to research the optical diffraction characterizes of the surface pit array light-trapping structure, and the effect of diffraction on the absorption characteristics of silicon thin-film solar cells was discussed. The results show that the greater the aspect ratio of the pit arrays, the better effect of the diffraction, which is more advantageous for uniform scattering of light, and more contribution to the absorption of the incident light and the improvement of the efficiency for the solar cells. Another, the diffraction characteristics of the pit structure are also related to the wavelength of the incident wave. The longer the incident wavelength is, the better the diffraction effect is. This paper research is of important reference value for the design of high-efficiency light-trapping arrays and diffraction grating.

thin film silicon solar cell, pit array, light-trapping structure, diffraction

doi: [10.1360/N092017-00318](https://doi.org/10.1360/N092017-00318)