

从发光太阳能电池板的发展看能源效率

Ahmed Al-Sarraj¹ Hussein T. Salloom² Sahar Zaboob Oleiwi¹

1.伊拉克高等教育部 伊拉克 巴格达 55509

2.纳赫林大学纳米和可再生能源中心 伊拉克 巴格达 64074

【摘要】：随着化石能源不断减少，寻找替代电力解决方案变得至关重要。太阳能电池通常由昂贵的材料制成，这就是为什么许多研究集中在寻找更便宜的材料以降低太阳能的总成本。另一种克服这个问题的方法是使用太阳能聚光器——一种覆盖大面积的更便宜的吸光材料，它吸收、引导和聚焦光线到载有实际太阳能电池的较小区域。近年来，利用太阳能发电作为光伏能源的兴趣急剧增长。此外，目前理论上已经预期了利用发光上变频器或下变频器对太阳能电池内部效率的本质改进。虽然太阳能电池仍然很贵，但因为它们接收到更多的阳光，所以产生一定量的电力所需的太阳能电池越来越少。简而言之，本文对发光太阳能聚光器(LSC)的使用进行了评价，因为与光伏太阳能电池板相比，发光太阳能聚光器费用较低且舒适，并回顾了其在实际应用中，主要是高结构家庭窗户和电子设备显示器中的额外优势。

【关键词】：清洁能源；光伏能源；电力系统；可再生能源

Reviewing Energy Efficiency with the Development of Luminescent Solar Panels

Ahmed Al-Sarraj¹, Hussein T. Salloom², Sahar Zaboob Oleiwi¹

1.Iraqi Ministry of Higher Education Iraq Baghdad 55509

2.Nano and Renewable Energy Centre Al-Nahrain University Iraq Baghdad 64074

Abstract: As our fossil sources of electricity reduce consistently, then looking for alternative electricity solutions turns into crucial. Solar cells often made from expensive materials, which is why much research focused on finding cheaper materials to reduce the overall cost of solar energy. Another way to overcome this problem is to use a solar concentrator - a cheaper light-absorbing material that covers a large area, which absorbs, directs, and focuses the light to a smaller area that contains actual solar cells. The interest in exploiting solar electricity for photovoltaic energy has grown dramatically in the latest years, furthermore essential improvements inside the solar cells' efficiency with luminescent up or down converters have currently anticipated theoretically. While solar cells are still expensive, fewer of them needed to produce a certain amount of electricity because they receive more sunlight. This paper gives, in short, evaluate the usage of luminescent solar concentrator (LSC) as opportunity electricity has low fees and comfortable as compared with photovoltaic solar panels, reviewing extra benefits in actual existence applications primarily in high structures home windows and displays of electronic devices.

Keywords: Clean Energy; Photovoltaic (PV) Energy; Power System; Renewable Energy

1 引言

目前，化石燃料是世界上最重要的能源来源。日复一日，不断增加的能源需求会给电力供应商带来问题，如电网不稳定甚至停电。生产更多能源的需求与对清洁技术的兴趣相结合，提高了配电系统使用可再生能源的效率^[1]。

地球碳预算的重要部分是利用对全球碳循环有重大影响的化石燃料；因此，需要对它们特别考虑。化石燃料可以定义为富含碳的原料，在与空气中的氧气发生氧化放热反应的过程中产生热能，并释放出二氧化碳作为该反应的产物（见图1）。

化石燃料的必要形式是天然气、石油、煤和泥炭。在传统的电力系统生产中，在适当位置修建了大量的发电站以提供巨大的电力，然后通过长距离输电线路被输送到大型客户中心。电力系统的质量由监控中心持续控制，以确保电压和频率。随着新电力系统的发展，建立了各种分布式发电（DG）机组，

使用不可再生能源和可再生能源技术，如风力涡轮机、波浪能、光伏（PV）能、小型水电站、燃料电池和热电联产（CHP）燃气/蒸汽发电厂。在高度融合的情况下，可再生能源可以在未来十年内迅速用于配电网络^[3]。

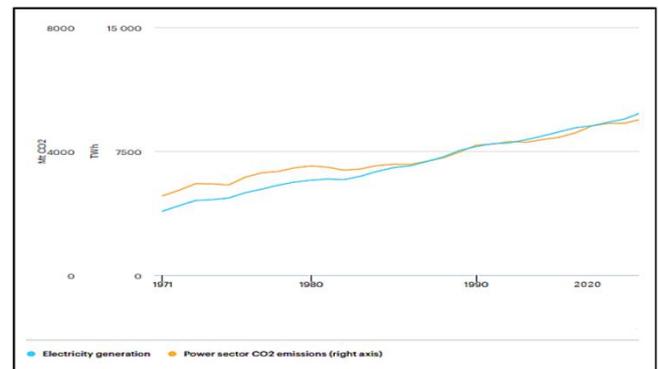


图1 1971-2019年发达经济体发电和电力部门的二氧化碳排放量

如果化石燃料的使用可以大幅减少，并且认识到核电不是一个长期选择，那么问题仍然是潜在的能源供应是否可以获得和稳定。第一阶段是大幅提高能源使用效率，即必须从更少量的重要能源中产生可用能源，“然后减少二氧化碳排放”，详见开发计划署^[4]，如表 1 所示。可再生能源将是这一增长的关键，因为它们是以气候可持续的方式满足地球所需能源的唯一选择^[5]。

表 1 多种能源技术排放的能源回收期评估。

技术	能源回报时间(月)	CO ₂ (吨/千兆瓦时)	SO ₂ 排放量(千克/千兆瓦时)	NO ₂ 排放量(千克/千兆瓦时)
天然气 (CCGT)	0.4	370 - 420	45 - 140	650 - 810
燃煤	1.0 - 1.1	830 - 920	630 - 1370	630 - 1560
微型水力发电	9 - 11	16 - 20	38 - 46	71 - 86
大型水电站	5 - 6	7 - 8	18 - 21	34 - 40
风力涡轮机	-	-	-	-
小型水电站	8 - 9	10 - 12	24 - 29	46 - 56
单晶硅	72 - 93	200 - 260	230 - 295	270 - 340
光电池	-	-	-	-
非晶质	51 - 66	170 - 220	135 - 175	160 - 200
多晶硅	58 - 74	190 - 250	260 - 330	250 - 310

太阳能被认为是一种特殊的辐射能源，而且能量供应充足。它在行星表面发出中值辐照度为 1353 W/m² 的电磁辐射。考虑到这一点，收集了 25 英亩太阳能表面产生的能量，并且可能有足够的能量来供应该部门未来的电力需求。在处理太阳能时，有一些主要的替代方案。第一种是直接转换能量并将太阳辐射转换成能量的光电效应。第二个是太阳热能，使用太阳辐射为热力系统供热，产生机械能转化为电能。在商业市场上可用的光伏系统中，效率从 10% 到 20% 不等，而太阳能热系统的效率可达 30%^[6]。

使用发光太阳能聚光器 (LSC) 时，有几个优点，例如辐射光、轻量化、节约成本和透明性的操作能力。上述这些特点使得 LSC 非常适合在现代建筑中使用，现代建筑使用多种颜色的窗户和面板^[7]。

如今，发光太阳能聚光器 (LSC) 被认为是一种安全的能源，可以从城市建筑中吸收太阳辐射。LSC 本质上是由荧光染料分子组合的塑料光导，或者使用覆盖有掺杂荧光染料的薄聚合物片的透明聚合物光导。通过吸收荧光染料，LSC 吸收一部分入射的太阳辐射。光要么由荧光团以更长的波长重新发射，要么作为热量损失到光源的大气中。重新发射的光将被引导至聚合物光导的“捕获锥”之外的路径，并越过顶面或底面，或

者通过板的全内反射被捕获^[8]。

不管近几十年来光伏 (PV) 系统的进展如何，太阳能到电力的转换尚未完全活跃，并且已经发现了一些成本层面的挑战。发光太阳能聚光器 (LSC) 是光子管理工具。此外，利用低成本的聚合物系统将太阳光集中在光伏电池上，降低太阳能价格，如图 2 所示。通过光致发光过程，太阳光的短波长可以转变为长波长的光^[9]。

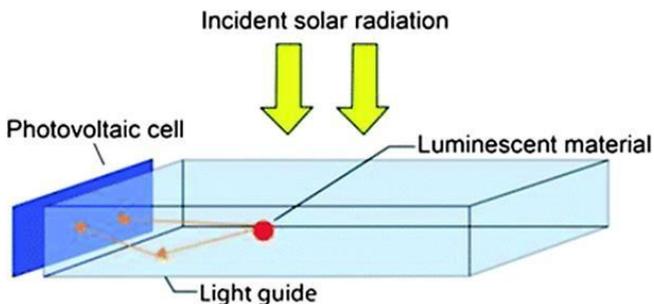


图 2 简单 LSC 面板的示意图

引入 LSC 的主要驱动力是将常规平板光伏板所需的全部昂贵太阳能电池更换为廉价的聚合物集热器，然后降低零件成本（单位为美元/瓦）以及太阳能成本（单位为美元/千瓦时）。将 LSC 技术与其他聚光系统相匹配的一个显著优势是对直接和漫射太阳辐射处理给与同样的关注。这意味着不需要太阳跟踪——节约更多的未来成本，并使 LSC 成为建设集成光伏 (BIPV) 的理想替代方案。此外，电力转换 LSC 具有热转换应用、日光和混合热-光伏系统，产生大量电力并从 LSC 板中去除热量^[10]。

2 光伏电势 (PV) 的背景

基本上，光伏实现通常是无限的。对于光伏系统，没有位置排除标准，因为它们可以设置在任何地方。尽管如此，它们的增长仍然受到高投资成本的限制。分析发现，大多数地区受益于这项技术。从图 3 中可见，伊拉克的总入射辐照度超过 1.800 千瓦时/平方米/年。由于低成本、本地化和分布式离网社区和应用程序，使用光伏发电与传统化石燃料发电相比极具竞争力。世界上许多地方的太阳能都显示出不同行业的许多好处。例如，在农村地区，利用太阳能提供清洁水、热水和电力是技术上可行的农村生活方式，与复杂的光伏系统相比，只需要定期低成本维护太阳能系统^[11]。

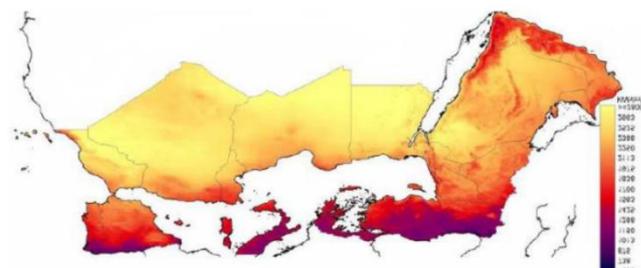


图 3 中东地区的年辐照度

另一方面，在社区路灯上安装光伏电池的效率很低，因为这种电池的性能很差，而且伊拉克以多尘天气为特点。此外，与常规能源相比，来自光伏系统的电力仍然昂贵，这些考虑已经起作用并标志着光伏电池的使用范围，而电池的部署应用受限，比如家庭屋顶系统，邻近水泵站以及难以到达电网的区域[12]。

光伏模块可以提供清洁、稳定的能源和环境可持续的电源。此外，随着消费者需求的增加和光伏系统的发展，光伏能源技术的成本正在缓慢下降[13]。

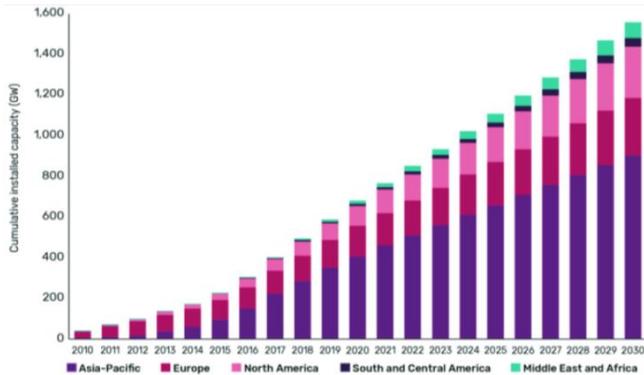


图 4 2010-2030 年全球各地区累计太阳能光伏装机容量
(资料来源: 全球数据电力情报中心)

就累计产能而言，亚太 (APAC) 是最大的区域市场，2018 年占全球太阳能光伏产能的 58.1%。就净年增量而言，仅 APAC 就安装了 64.5GW 的太阳能光伏，占同年净安装量的 70.8%。预计在 2019 年至 2030 年的预测期内，APAC 仍将是最大的市场，这是由于以中国、印度和日本等国家为主的装机容量的增加[14]。

3 发光太阳能电池板的影响

太阳辐射的低能量密度使得太阳能的使用能够在大面积上消耗足够的太阳能，以减少大部分不可再生能源的消耗。大规模安装的挑战可以通过创造低成本、灵活的光伏技术来克服，该技术可以用于住宅、摩天大楼和汽车的窗户面板中，提高已经使用的柔性表面的质量[15]。

从 2005 年起，全球 85% 的光伏产品使用单晶和多晶硅，94% 使用其他硅技术 (如非晶硅、硅带)。硅作为一种丰富的光伏材料，具有诸多优点，无毒，钝化简单。效率相对较低的第一代晶体光伏系统甚至经历了高材料价格。不幸的是，第二代设备成本相对较低，但效率相对较低。第三代的原型将是这两代中最好的，既高效且便宜。这种系统是第二代薄膜加工的发展，其能量效率平均超过热力学极限的 31%，接近 93%[16,17]。

考虑到近年来，安全和经济地使用太阳能是一个高目标，并预计在未来将更加重要。成本也是大规模利用太阳能供应的一大不可持续因素。用染料太阳能电池收集的多晶硅、无定形硅薄膜或其它半导体材料如铜铟镓硒的使用已经或预计将对

开发成本产生显著影响，但是太阳能转换的各个方面都还需要做更多的工作。一个解决方案是将巨大的挑战分解成易于使用的元素，如吸收太阳光子和将吸收的太阳能转化为电能[18]。

在 20 世纪 70 年代末，关于 LSC 的第一批研究发表了，到 20 世纪 80 年代初，由于荧光有机染料的局限性阻碍了该技术的进一步发展，因此对该技术进行了更深入的研究。应用于大规模 LSC (40 cm × 40 cm = 0.3 nm) 的峰值转换效率为 $\eta_{LSC} = 4.0\%$ ，对于包含较短波长发射板的双层阵列，组合用于较小尺寸 (14 nm = 0.3 cm) 的砷化镓混合薄膜 LSC 实现了 $\eta_{LSC} = 3.2\%$ ，使用 GaAs 系统硅太阳能电池实现了 $\eta_{LSC} = 4.5\%$ 。它确定了收集 300-900nm 范围内的太阳光的 LSC 的峰值转换效率为 8-12%。LSC 由一个扁平的透明矩阵组成，矩阵中包含随机分布的发光粒子，如量子点 (QDs) 的有机染料。发光粒子吸收进入板的光，然后同位素地重新发射光。一小部分重新发射的光的角度小于临界角，并可以射出到空气中[19]，见图 5。

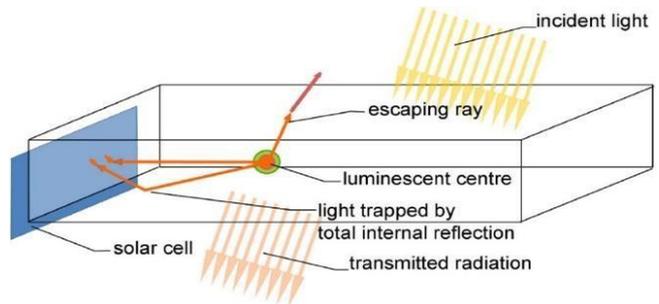


图 5 入射光子辐射进入 LSC 面板的运动

今天，全球太阳能光伏能源技术的关键是降低单位发电量的成本，在这方面，关于实现高转换效率的研究工作与降低制造成本的研究结合在一起。近年来出现了显著改善，导致 2011 年底全球总装机容量为 67.4 千兆瓦，组件成本从 0.8 到 2 欧元/Wp 不等，具体取决于技术。这也导致了能源成本上升至约 0.2 欧元/千瓦时的水平，目前某些欧洲国家的客户需要为此付费。尽管如此，传统化石燃料发电厂的发电成本仍远低于 0.04 欧元/千瓦时[20]。

从热力学方面来看，具有发光体配置的 LSC 通过使用发光体斯托克斯位移起作用。光子浓度的热力学极限随着发光体的斯托克斯位移而呈指数倾斜。作为参考，在发光体中，在 500nm 处吸收并在 600nm 处发射的热力学浓度极限约为 11,500,000，最佳透镜可以将太阳光聚集 46,200 倍，并且有效的聚集器系统通常以几百到几千倍的聚集系数工作，这取决于测量灵敏度、透镜分辨率和热降解的难度。发光太阳能聚光器解决了这两个难题：它不需要透镜或跟踪器，高能光子产生的热量分散在 LSC 中，而不是集中在太阳能电池上。在热力学极限内，通过恢复斯托克斯位移损失的所有能量，在太阳能电池中出现更高的光子电压浓度。如此高的浓度在操作中是困难的，并且 LSC 系统已经限制了接近 10^6 的浓度因子。

由理想和真实发光太阳能聚光器之间的差异引起了发光光和非实体荧光的量产的不完全捕获^[21]。这个问题的来源是发光体吸收和发射光谱之间的极端重叠。当一个发光的光子穿过LSC时，这些可以被其他发光体重新吸收。任何再吸收循环都有损失的可能，例如不降解或泄漏到逃逸锥中。由于这个原因，LSC浓度比的稳定性远未达到热力学极限。为了满足发光聚光器的热力学限制，需要将发光捕获到聚合物中并导向太阳能电池，以获得最大有效的光捕获、有限发射范围的发光体和斯托克斯位移的巨大变化。由于缺少满足这些标准的颜色，光诱捕试验和研究受到了限制。

根据这些测试，满足热力学浓度限制将需要斯托克斯位移变化大、量子产率高、吸收和发射变化较低以及发射范围有限的发光体^[18]。其次，研究了波导边缘对效率的影响。对于粗糙的未处理的边缘，在边缘捕获折射离开波导的光的可能性很大。处理边缘以提高反射率，防止捕获的光从面板边缘逃逸，并用于优化PV电池吸收的光量，见图6。理想情况下，可以建造一个100%反射的表面来完全消除这种故障情况^[19]。

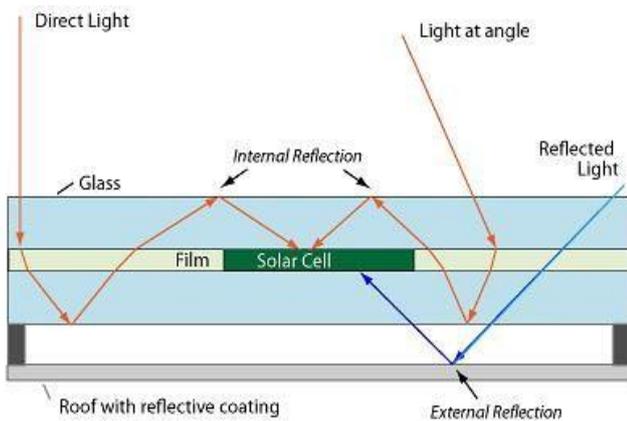


图6 利用反射涂层反射和捕获逃逸光子

当光以大于空气边界矩阵临界角的角度入射时，在折射率为R的介质中会发生全内反射。 ϕ_c 是临界角，通过以下函数来计算：

参考文献：

- [1] F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre, and A. V Timbus, "Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 53, no. 5, pp. 1398–1409, 2006.
- [2] L. Cozzi and T. Gould, "World Energy Outlook 2015," Int. Energy Agency, 2015.
- [3] F. Blaabjerg, Z. Chen, and S. B. Kjaer, "Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems," IEEE Trans. power Electron., vol. 19, no. 5, pp. 1184–1194, 2004.
- [4] U. UNDP, "WEC (2000) World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability," United Nations Dev. Program. New York, 2000.
- [5] V. Quaschnig, "Understanding Renewable Energy Systems: Earthscan." ISBN, 2005.
- [6] M. T. Chaichan and K. I. Abaas, "Practical investigation for measurement of concentrating solar power prototype for several target cases at Iraqi summertime weathers," in 1st Scientific Conference for Energy & Renewable Energies Applications, UOT, Baghdad, Iraq, 2011.

$$\phi_c = \sin^{-1}\left(\frac{1}{R}\right) \quad (1)$$

而在LSC(L)板中，内部完全反射的光量由以下公式得出：

$$L = \frac{(R^2 - 1)^2}{R} \quad (2)$$

太阳能电池，通常也称为光伏电池，是一种可以将阳光直接转化为电能的设备。太阳能电池可以被称为最大限度地发挥太阳能给地球带来的巨大潜力的主要角色，尽管除了用于发电之外，来自太阳的能量也可以通过太阳能热系统最大限度地得到利用。太阳能电池类似于具有两个端子或连接的设备，当条件黑暗或光线不足时，太阳能电池充当二极管，当被阳光照射时，太阳能电池可以产生电压。当照射时，通常商用太阳能电池产生0.5至1伏的直流电压，以及每平方厘米毫安级的短路电流。这种电压和电流不足以满足各种应用，因此通常将几个太阳能电池串联起来形成太阳能电池组件。一个太阳能模块通常由28-36个太阳能电池组成，在标准辐照条件下(气团1.5)，总共产生12V的直流电压。太阳能模块可以并联或串联组合，以根据应用所需的功率增加总电压和输出电流。

4 结论

发光太阳能聚光板的设计和使用比PV太阳能板具有显著的优势，不需要监控或冷却，并且昂贵的太阳能电池模块往往占用更小的面积。这种装置(LSC)的改进依赖于通过使用荧光体或染料点将辐射光子的干扰降至最低的技术，以及这种光子是否可以被捕获并再次返回光伏电池。例如，LSC高度关注现代发光材料、半导体量子点(QDs)、稀土材料和半导体聚合物的可负担性。使用像光子层和液晶这样的材料可以减少损耗。此外，热力学模拟和射线跟踪分析的进展和技术使更多的工作能够加强研究结果。

致谢：

感谢伊拉克巴格达高等教育部和伊拉克巴格达纳赫林大学纳米和可再生能源中心的支持。

- [7] J. Lucarelli, M. Lessi, C. Manzini, P. Minei, F. Bellina, and A. Pucci, "N-alkyl diketopyrrolopyrrole-based fluorophores for luminescent solar concentrators: Effect of the alkyl chain on dye efficiency," *Dye. Pigment.*, vol. 135, pp. 154–162, 2016.
- [8] V. A. Rajkumar, C. Weijers, and M. G. Debije, "Distribution of absorbed heat in luminescent solar concentrator lightguides and effect on temperatures of mounted photovoltaic cells," *Renew. Energy*, vol. 80, pp. 308–315, 2015.
- [9] S. Mirershadi and S. Ahmadi-Kandjani, "Efficient thin luminescent solar concentrator based on organometal halide perovskite," *Dye. Pigment.*, vol. 120, pp. 15–21, 2015.
- [10] B. C. Rowan, L. R. Wilson, and B. S. Richards, "Advanced material concepts for luminescent solar concentrators," *IEEE J. Sel. Top. quantum Electron.*, vol. 14, no. 5, pp. 1312–1322, 2008.
- [11] A. Al-Karaghoul, B. Al-Yousfi, and E. Zitzewitz, "Current status of renewable energies in the Middle East–North African Region," UNEP/ROWA, 2007.
- [12] H. A. Kazem and M. T. Chaichan, "Status and future prospects of renewable energy in Iraq," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 8, pp. 6007–6012, 2012.
- [13] A. Babaei, B. Gholizadeh, N. Khaliliaqdam, and J. Gilanipour, "Optimizing and economical assessment of the utilization of photovoltaic systems in residential buildings: the case of Sari station, northern Iran," *Int. J. Agric.*, vol. 3, no. 1, p. 65, 2013.
- [14] Power, "Global solar photovoltaic capacity expected to exceed 1,500GW by 2030," [www.globaldata.com](https://www.globaldata.com/global-solar-photovoltaic-capacity-expected-to-exceed-1500gw-by-2030-says-globaldata/), 2019. <https://www.globaldata.com/global-solar-photovoltaic-capacity-expected-to-exceed-1500gw-by-2030-says-globaldata/> (accessed May 29, 2020).
- [15] R. R. Lunt and V. Bulovic, "Transparent, near-infrared organic photovoltaic solar cells for window and energy-scavenging applications," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 98, no. 11, p. 61, 2011.
- [16] A. Shalav, B. S. Richards, and M. A. Green, "Luminescent layers for enhanced silicon solar cell performance: Up-conversion," *Sol. Energy Mater. Sol. cells*, vol. 91, no. 9, pp. 829–842, 2007.
- [17] B. S. Richards, "Luminescent layers for enhanced silicon solar cell performance: Down-conversion," *Sol. energy Mater. Sol. cells*, vol. 90, no. 9, pp. 1189–1207, 2006.
- [18] O. Altan Bozdemir, S. Erbas - Cakmak, O. O. Ekiz, A. Dana, and E. U. Akkaya, "Towards Unimolecular Luminescent Solar Concentrators: Bodipy - Based Dendritic Energy - Transfer Cascade with Panchromatic Absorption and Monochromatized Emission," *Angew. Chemie Int. Ed.*, vol. 50, no. 46, pp. 10907–10912, 2011.
- [19] C. Corrado, S. W. Leow, M. Osborn, E. Chan, B. Balaban, and S. A. Carter, "Optimization of gain and energy conversion efficiency using front-facing photovoltaic cell luminescent solar concentrator design," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 111, pp. 74–81, 2013.
- [20] W. Van Sark, "Luminescent solar concentrators—A low cost photovoltaics alternative," in *EPJ Web of Conferences*, 2012, vol. 33, p. 2003.
- [21] A. Tiwari, R. Boukherroub, and M. Sharon, *Solar cell nanotechnology*. Wiley Online Library, 2014.