

سفر به ریزها

آشنایی سیستمی با علم نانو و فن آوری نانو¹

فصل هجده و فایل صوتی هجدهم

سلولهای خورشیدی نانوبنیان - از فوتونها تا برق²

با درود، من ریموند رخشانی هستم. در این سلسله از مقالات³ و فایل های صوتی⁴، کوشش می کنم که علم نانو⁵ و فن آوری نانو⁶ را (به زبان فارسی) از پایه، بنحوی سیستماتیک⁷ به دوستانی که علاقمند هستند، در حد توان، ارائه کنم⁸. در واقع این مقالات، فصل های کتاب جدیدی با همین نام (سفر به ریزها) هستند که سال هاست بر روی آن پژوهش کرده و کار می کنم و در دست تهیه است، و تصمیم گرفته ام که پیشاپیش آن را، فصل به فصل، بطوری مجازی منتشر کنم. از پژوهشگران و اندیشمندان عزیز خواشمنم که لینک ها را به دوستان و بویژه به جوانان دانش پژوه ما (که اغلب دسترسی نظام مند برای آشنایی با علم و فن آوری نانو⁹ - به زبان فارسی - ندارند) ارسال فرمایند. با احترام، ر. رخشانی

1

Rakhshani, Raymond. Systemic Introduction into Nanoscience and Nanotechnology. To Be Published in 2023, Createspace, Columbia, South Carolina.

2

Nano-Based Solar Cells – Photons to Electricity

3

برای دسترسی به مقاله بشکل پی دی اف و همچنین به فایل صوتی، از "کیو آر کد" زیر با موبایل عکس گرفته و مستقیم به کانال تلگرام بروید



<https://t.me/natureofscience>

همچنین می توانید به کانال لینکدین زیر مراجعه فرمائید

<https://www.linkedin.com/in/raymond-rakhshani-16628a5/detail/recent-activity/shares/>

4

با سپاس از دوست گرامی، جناب اسفندیار منفردزاده، که با مهر و دوستی آهنگ آغازین و پایانی "سفر به ریزها" را برای فایل های صوتی من ساختند.

5

"The Handbook of Nano Technology, Policy and Intellectual Property Law", John C. Miller, et al, Hoboken New Jersey: John Wiley and Sons, 2005.

6

چاپ و انتشار این مقالات و فایل های صوتی بدون ذکر نام نویسنده (ر. رخشانی) و مرجع، و هرگونه استفاده برای مقاصد خصوصی و اهداف انتفاعی بدون گرفتن مجوز از نویسنده اکیدا غیر قانونی است.

7

Sanders, Wesley, C. Basic Principles of Nanotechnology. CRC Press, 2018.

8

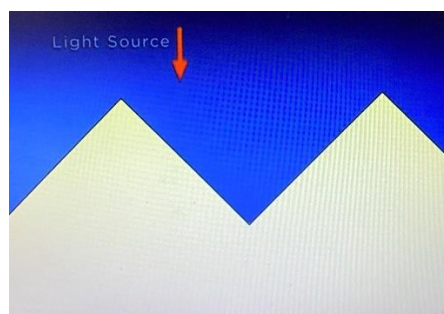
Sattler, Klaus, D. 21st Century Nanoscience – A Handbook: Industrial Applications. CRC Press, 2020.

9

Ed Regis (Author), Dean Sluyter (Narrator), Audible Studios (Publisher.) Nano: The Science of Nanotechnology. Audible Studios, 2013.

سلول‌های خورشیدی¹⁰ نانوبنیان¹¹ - از فوتون‌ها¹² تا برق¹³

در فصل پیشین¹⁴ در مورد شیوه‌های بسیار جالبی که فن‌آوری نانو ما را یاری داده‌است تا سلول‌های خورشیدی کارآمد و مقرون‌به‌صرفه طراحی¹⁵ و تولید کنیم، نوشتیم¹⁶. یکی از مفاهیمی که بدان اشاره داشتیم، گیر انداختن (یا تله‌انداختن) فوتون در درون سلول خورشیدی¹⁷ است، که بدان وسیله چندین گذار و پس‌وپیش‌شدن نور جهت برداشت¹⁸ آن را امکانپذیر می‌سازد.



¹⁰

Wade, J., and Castrillon, Melissa. Nano: The Spectacular Science of the Very (Very) Small. Candlewick, 2021.

¹¹

Frankel, Felice, C. and Whitesides, George, M. No Small Matter: Science on the Nanoscale. Belknap Press of Harvard University, 2009

¹²

Duskin, Bob. Extreme Fundamentals of Technology: Second Edition. Amazon Kindle, 2020.

¹³

Nano-Based Solar Cells – Photons to Electricity

¹⁴

برای دسترسی به مقاله بشکل پی دی اف و همچنین به فایل صوتی، از "کیو آر کد" زیر با موبایل عکس گرفته و مستقیم به کانال تلگرام بروید



¹⁵

Gupta, Ram, K. and Nguyen, Tuan, Ahn, and Yasin, Ghulam. Metal Organic Framework-Based Nanomaterials for Energy Conversion and Storage. Elsevier, 2022.

¹⁶

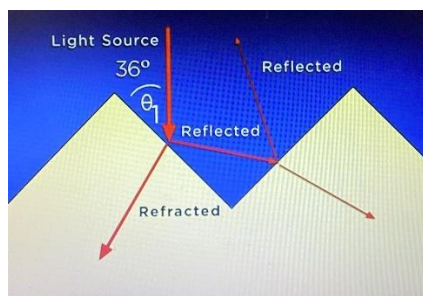
Shah, M. A. and Ahmad, Tokeer. Nano Science and Technology. Wiley, 2022.

¹⁷

Trapping photons in solar cells

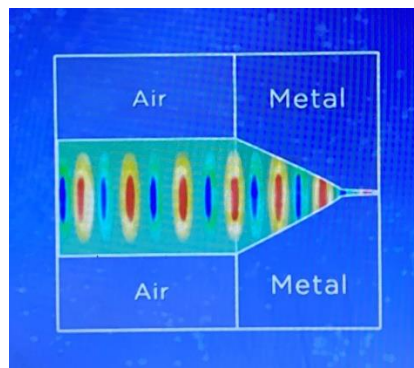
¹⁸

Multiple passes to capture light



البته برای همان مقصود، شیوهی دیگری با استفاده از نانومواد نیز هست¹⁹، که از دیدگاه فرآوری²⁰ هم بسیار مناسب²¹ و سهل²² است.

در فصل‌های پیشین پیرامون نظریه پلاسمونیک²³ نوشتیم، و اشاره داشتیم که پلاسمونیک روش مشخصاً مناسبی برای انتقال اطلاعات نوری²⁴، و محدودکردن نور به منطقه‌ای بسیار کوچک²⁵ است²⁶، و یکی از راه‌های ارتباطات اطلاعاتی در چپ‌ی کامپیوتری²⁷ با استفاده از نور می‌باشد²⁸.



¹⁹

Valenta, Jan, and Mirabella, Salvo. Nanotechnology and Photovoltaic Devices: Light Energy Harvesting with Group IV Nanostructures. Jenny Stanford Publishing, 2015.

²⁰

From a fabrication point of view

²¹

Gang Zhang (Editor, Contributor), Navin Manjoran (Editor), Xinran Wang (Contributor), Zongfu Yu (Contributor), Bin Yang (Contributor), Hui Pan (Contributor), Jing Zhang (Contributor.) Nanofabrication and its Application in Renewable Energy. Royal Society of Chemistry, 2014.

²²

Very Convenient

²³

Plasmonics

²⁴

Ed Regis (Author), Dean Sluyter (Narrator), Audible Studios (Publisher.) Nano: The Science of Nanotechnology. Audible Studios, 2013.

²⁵

Very small region

²⁶

Sattler, Klaus, D. 21st Century Nanoscience – A Handbook: Nanophysics Sourcebook. CRC Press, 2019.

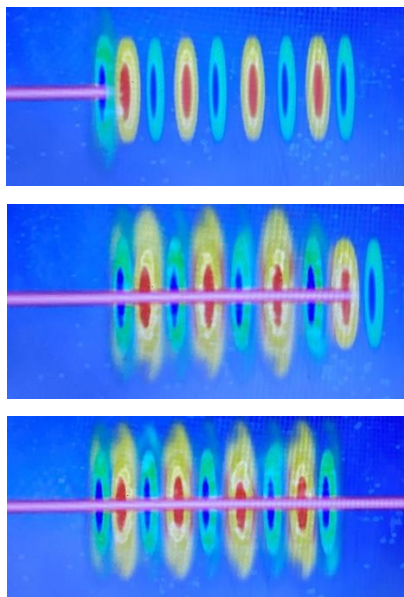
²⁷

Information communication across a chip

²⁸

Binns, Chris. Introduction to Nanoscience and Nanotechnology. Wiley, 2021.

بنیان چنین پدیده‌ای²⁹، ذرات فلزی بسیار کوچکی (حدوداً بین ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر) هستند، و اگر بخاطر داشته باشید تمثیل سنگ‌های درون رودی را دادم، که با پریدن از روی آنها می‌توانیم به دیگر سوی رود برویم.



خوب، حالا تصور کنید که عمود بر آن سنگ‌ها و خود رودخانه هستیم. از منظر رودخانه، سنگ‌ها همچون مراکزی پراکنده‌گر³⁰ هستند. در حوزه‌ی فنولوئتابیک، پژوهشگران در تلاش‌اند تا با بکارگیری نانوذرات فلز (ذراتی پلاسمونیک³¹) بتوانند نور را به مسیرهایی گوناگون پخش کنند³². این تلاش شبیه به همان عملکرد تله‌انداختن نور³³ است³⁴. البته در این مورد، بجای استفاده از سطوح ناهموار³⁵ (همان فراز و فرودهای³⁶) سیلیکن که شانس پس‌وپیش‌شدن نور و تله‌انداختن آنرا در برخورد با سطوح ناهموار فراهم می‌آورد، ما نور خورشید را بدرون می‌فرستیم و نور در برخورد به مراکز پراکنده‌گر (یعنی به همان نانوذرات فلز) به مسیرهایی گوناگون پخش می‌شود³⁷.

29

Li, and Yongqian. Plasmonic Optics: Theory and Applications. The International Society for Optical Engineering, 2017.

30

Scattering centers

31

Plasmonic particles

32

Bozhevolnyi, Sergey, I. and Martin-Moreno, Luis, and Garcia-Vidal, Francisco. Quantum Plasmonics. Springer, 2016.

33

Light trapping

34

Gupta, Ram, K. and Nguyen, Tuan Anh. Smart and Flexible Energy Devices. CRC Press, 2022.

35

Rooney, Anne. How the World Works: Chemistry, from the Periodic Table to Nanotechnology. Arcturus, 2020.

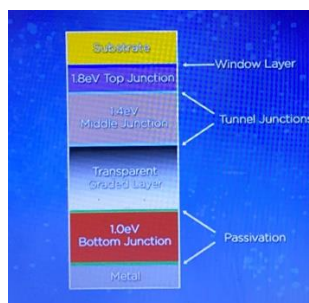
36

Peaks and valleys on rough surfaces

37

Goodnick, Stephen, M. and Krokin, Anatoli, and Nemanich, Robert. Semiconductor Nanotechnology: Advances in Information and Energy Processing and Storage. Springer, 2018.

نکته مهم آن است که فن‌آوران نانو، امروزه بسیار خوب می‌دانند که چگونه نانوذرات فلز، ذراتی کلوییدی³⁸، را هم‌نشته کرده³⁹ در محلولی آنچنان فرپاشی⁴⁰ کنند که بسادگی بتوان آنها را مانند لایه یا روکشی⁴¹ بر اجسام رنگ زد⁴². چنین توانایی‌ای⁴³، روش مناسبی برای ساخت ابزارهایی⁴⁴ است که ظرفیت بیشتری برای جذب نور⁴⁵، با استفاده از در هم‌کنش‌های نانومقیاسی⁴⁶ نور با فلزات⁴⁷، دارند⁴⁸. در فصل پیشین در مورد محدودیت‌های ساخت سلولی خورشیدی که تنها یک محل اتصال، یعنی یک نوع نیمه رسانا⁴⁹ دارد، نوشته شد. خوب، رامحل آشکار و ساده، ساخت ابزاری نیمه‌رساناست که شکاف‌های بانندی بسیار، و متفاوت⁵⁰ داشته باشد⁵¹.



38

Colloidal particles

39

Cao, G. and Wang, Ying (jane.) Nanostructures and Nanomaterials: Synthesis, Properties, and Applications (2nd Edition) (World Scientific Series in Nanoscience and Nanotechnology.) 2021

40

Dispersed in a solution

41

Sabu Thomas (Editor), Yves Grohens (Editor), Guillaume Vignaud (Editor), Nandakumar Kalarikkal (Editor), Jemy James (Editor.) Nano Optics: Fundamentals, Experimental Methods, and Applications. Elsevier, 2020.

42

That can be coated on things

43

Mills, Mark, P. The Cloud Revolution: How the Convergence of New Technologies Will Unleash the Next Economic Boom and a Roaring 2020s. Encounter Books, 2021.

44

Gang Zhang (Editor, Contributor), Navin Manjoran (Editor), Xinran Wang (Contributor), Zongfu Yu (Contributor), Bin Yang (Contributor), Hui Pan (Contributor), Jing Zhang (Contributor.) Nanofabrication and its Application in Renewable Energy. Royal Society of Chemistry, 2014.

45

Greater capacity to absorb light

46

Green, Dan. Physics: Why Matter Matters!, Kingfisher, 2008.

47

Nanoscale interactions of light and metals

48

Cao, G. and Wang, Ying (jane.) Nanostructures and Nanomaterials: Synthesis, Properties, and Applications (2nd Edition) (World Scientific Series in Nanoscience and Nanotechnology.) 2021

49

Having a single junction, or one semiconductor type

50

A semiconductor device that has many different band gaps

51

Sattler, Klaus, D. 21st Century Nanoscience – A Handbook: Industrial Applications. CRC Press, 2020.

در واقع، پیش از رویکردهای نانوفن‌آوری-بنیان سال‌های اخیر⁵²، پژوهش‌های بسیاری⁵³ برای طراحی و توسعه سلول‌هایی خورشیدی با محل اتصال دوپشته و سه پشته⁵⁴ انجام می‌شد⁵⁵ و در مواردی هم ابزارهایی بسیار کارآمد⁵⁶ ساخته شد⁵⁷. روش طراحی چنان بود⁵⁸ که انواع گوناگون نیمه‌رساناها (با شکاف‌های باندی متفاوت⁵⁹) بر روی یکدیگر رشد داده می‌شدند. برای نمونه، ما قادر بودیم که نیمه‌رساناهایی ترکیبی⁶⁰، از قبیل آرسنید گالیوم (که در بخش ارتباطات نوری بدان اشاره داشتیم⁶¹) را بر روی دیگر نیمه رساناهایی ترکیبی بروییم⁶². برای مثال، لایه‌ی نخستین می‌توانست آرسنید گالیوم، و دیگری آرسنید ایندیم⁶³ باشد. ترکیبات متفاوت، شکاف‌های باندی متفاوت⁶⁴ بوجود می‌آوردند⁶⁵.

چنین سلول‌هایی، امتیازاتی واقعی در ارتباط با راندمان ابزار⁶⁶ دارند زیرا که ما قادریم تا سلول نخستین⁶⁷ (یعنی آنی که به نور نزدیک‌تر است) را عمدتاً برای جذب نور قابل‌رویت⁶⁸ بسازیم. نور قابل‌رویت - همانگونه که پیشتر اشاره کردم - حاوی فوتون‌هایی پرانرژی می‌باشد و بهمین منظور ما شکاف باندی بزرگی را، در ماده‌ی آن سلول، طراحی می‌کنیم. در نتیجه ما قادریم تا برداشت

52

Before recent nanotechnology-based approaches

53

Reddy, Jayarama, P. Solar Power Generation: Technology, New Concepts and Policy. CRC Press, 2012.

54

Tandem or triple junction solar cells

55

Fonash, Stephen. Introduction to Light Trapping in Solar Cells and Photo-Detector Devices. Academic Press, 2014.

56

Very efficient devices

57

Shkir, Mohd., and Kumar Kaushik, Ajeet, and AlFaify, Salem. Nanomaterials for Optoelectronics Applications. Apple Academic Press, 2021.

58

Geng, Hwaiyu. Semiconductor Manufacturing Handbook. McGraw Hill, 2017.

59

Different type semiconductors (with different band gaps)

60

Compound semiconductors such as gallium arsenide

61

Nelson, Jenny. The Physics of Solar Cells (Properties of Semiconductor Materials.) Imperial college Press, 2003.

62

Ozin, Geoffrey, and Arsenault, A. C. Nanochemistry: A Chemical Approach to Nanomaterials. Cambridge University Press, 2005.

63

Indium arsenide

64

Different compositions, different band gaps

65

Green, Martin, A. and Emery, Keith, and Hishikawa, Yoshihiro, and Warta, Wilhelm. Solar Cell Efficiency Tables. Progress in Photovoltaics: Research and applications 18, 2010.

66

Real advantages in device efficiency

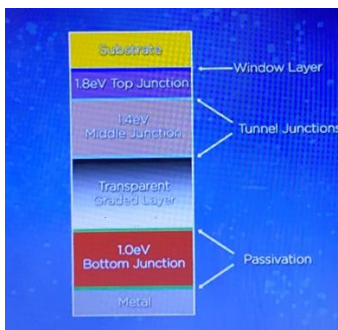
67

Wuerfel, Peter. Physics of Solar Cells: From Basic Principles to Advanced Concepts. Wiley – VCH, 2009.

68

Design for visible light absorption

مناسبی از این بخش طیف خورشیدی داشته باشیم که ولتاژ بالایی را از همان فوتون‌های پرنرژی در اختیار ما می‌گذارد⁶⁹. پس از آن، ما می‌توانیم تا لایه‌های شکاف‌بندی متوسط و سپس لایه‌ی شکاف‌بندی کوچک⁷⁰ را طراحی کرده، بسازیم⁷¹. چنین لایه‌های سپسین می‌توانند، ولتاژهایی پایین‌تر تولید کنند، و فوتون‌هایی با انرژی پایین‌تر را، که در لایه‌های بالاتر (یعنی در شکاف باندی نور قابل‌رویت) جذب نشده‌اند، گیر بیاندازند⁷².



البته طراحی سلول‌های خورشیدی دویشته و سه‌پشته⁷³ چندان هم ساده نیست⁷⁴. آنها تنها یک جریان برق (یعنی تنها آمپری یکسان⁷⁵) را از کلیت آن ساختار می‌گذرانند⁷⁶، اما ولتاژ لایه‌های آنها برهم‌فزاینده⁷⁷ است. آنها می‌بایست چنان طراحی و ساخته‌شوند که آمپری یکسان، در همه‌ی لایه‌ها تولید شود⁷⁸. چنین چالشی همسان‌سازی جریان‌برق⁷⁹ خوانده می‌شود و برای فن‌آوران، شناخته‌شده اما چالش برانگیز است. در ابزارهای سه‌پشته، گرفتاری دیگری هم داریم، که آن رشد کریستالی (با بلوری) کامل است⁸⁰، که شبکه‌ی تک⁸¹ و

69

لطفاً به سلسله‌مقالات “سرشت علم” من، بویژه مقاله‌ها و فایل‌های صوتی شماره ۳۸ تا ۴۲، رجوع کنید :

<https://t.me/natureofscience>

70

Design the intermediate band gap layers and then to a small band gap layer

71

Kumar, Vipin, and Singh, Kh. S. and Ojha, S. P. Studies on Optical Properties of Photonic Band Gap Materials: Photonic Crystals. LAP Lambert Academic Publishing, 2012.

72

Wang, Zhi Yuan. Near Infrared Organic Materials and Emerging Applications. CRC Press, 2013.

73

Tandem and triple-junction solar cells

74

Culshaw, Brian. Introducing Photonics. Cambridge University Press, 2020.

75

Same, single current

76

Shah, Arvind, Victor. Thin-Film Silicon solar Cells. EPFL Press, 2010.

77

They are adding up, are cumulative

78

Sharma, S. K. and Ali, Khuram. Solar Cells: From Materials to Device Technology. Springer, 2020.

79

Current matching

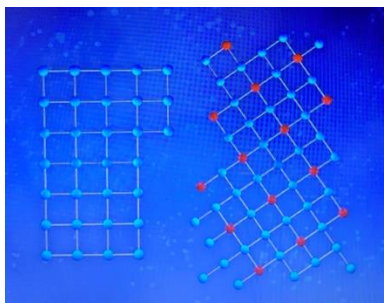
80

Shimura, Fumio. Semiconductor Silicon Crystal Technology. Academic Press, 2012.

81

Growing a perfect crystal having a defined single lattice

تعریف شده‌ای از فاصله‌ی مابین اتم‌ها⁸² داشته باشد، اما ما، در عین حال، موادی گوناگون را (برای لایه‌ها) استفاده می‌کنیم. هر ماده ای هم (همانگونه که می‌دانید) شبکه‌ی ثابت خود، و فاصله‌ی مشخص مابین اتم‌های خود را دارد.



خوب، اگر هرکدام از اینها کریستالی کامل باشد، ما چگونه می‌توانیم آنها را به گونه‌ای در هم ادغام کنیم تا (در سطح اتمی) لغزشی نداشته باشند⁸³؟ یعنی برای نمونه، شبکه‌ی متناوب آرسنید گالیوم ما در ارتباط با شبکه‌ی متناوب و متفاوت آرسنید ایندیم دچار لغزشی⁸⁴ اتمی نشود⁸⁵؟ خوب پاسخ ساده اینکه، در واقع، ما نمی‌توانیم چنین کنیم و لغزیدگی⁸⁶ مشکلی جدی است. آن مواد، در سطوح تماس، پیوندهایی ناکامل و آویزان⁸⁷ بوجود می‌آورند، که موجب وضعیت‌هایی غیرمنفصل⁸⁸ شده، و خوب در آن مکان‌ها راندمان ابزار⁸⁹ از دست رفته، و در نتیجه اتکاپذیری سلول خورشیدی⁹⁰ ما کاهش می‌یابد. بهمین دلیل، فن‌آوران برای ساخت چنین سلول‌هایی چندپشته مجبور به استفاده از ترکیبات پیچیده‌تر و متفاوت⁹¹ مواد بنحوی بوده‌اند که سه یا چهار اتم‌های دربرگیرنده‌ی هر ماده، نسبتی بسیار مشخص⁹² و فاصله‌های اتمی‌ای یکسان نسبت به یکدیگر داشته و می‌توانند همسان و جفت‌وجور شوند⁹³.

⁸²

Defined spacing amongst atoms

⁸³

How can they be integrated without slips?

⁸⁴

Gallium arsenide not having a slip in its lattice periodicity relative to the different periodic indium arsenide material

⁸⁵

Pitron, Guillaume, and Jacobsohn, Bianca. The Rare Metals War: The Dark Side of Clean Energy and Digital Technologies. Scribe US, 2020.

⁸⁶

Slips

⁸⁷

They create interfaces with dangling bonds

⁸⁸

Unpassivated states

⁸⁹

Sabu Thomas (Editor), Yves Grohens (Editor), Guillaume Vignaud (Editor), Nandakumar Kalarikkal (Editor), Jemy James (Editor.) Nano Optics: Fundamentals, Experimental Methods, and Applications. Elsevier, 2020.

⁹⁰

Solar cell's reliability

⁹¹

Stylianakis, Minas, M. Optoelectronic Nanodevices. MDPI AG, 2020.

⁹²

Three or four constituent atoms in very specific ratios such that the atoms get spaced out and could be matched

⁹³

Singh, Surya Prakash. Light Harvesting Nanomaterials. Bentham Books, 2015.



یعنی فاصله‌های اتمی اولی با دومی، و دومی با سومی، و سومی با چهارمی نسبتی مشخص و همسان دارند. نانوپژوهشگران چنین روشی را همسان‌سازی شبکه‌ای⁹⁴ می‌نامند⁹⁵. این روشی خلاق و موثر بوده و البته مسلماً می‌دانید که چنین رویکردی موجب تولید سلول‌های خورشیدی گران‌قیمتی⁹⁶ می‌شود.



البته مواردی هستند که در آنها چنین سلول‌های خورشیدی گران‌بها، بنحوی موثر⁹⁷ مورد استفاده‌اند⁹⁸. خوب، دلیل هزینه‌ساز بودن آنها هم بخاطر آن است که اغلب ما در فضاهایی بالا و مساحت‌هایی بزرگ (مانند پشت‌بام ساختمانی بزرگ) سلول‌ها را نصب می‌کنیم⁹⁹ و هزینه برای هر واحد مساحت بالا می‌باشد.



⁹⁴

Lattice matching

⁹⁵

Haus, Joseph, W. Fundamentals and Applications of Nanophotonics. Woodhead Publishing, 2020.

⁹⁶

Leads to costly solar cells

⁹⁷

Effectively

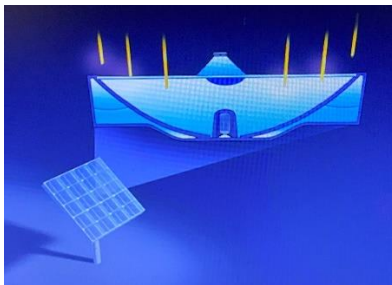
⁹⁸

Fisher, David. Heterostructural Interface Modelling. Materials research Forum LLC, 2019.

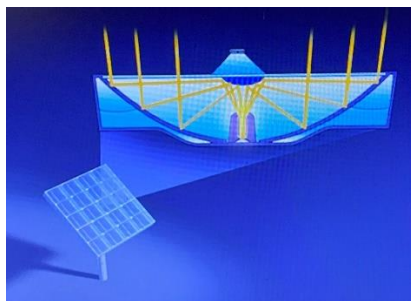
⁹⁹

Pandikumar, A. and Rameshkumar, Perumal. Nanostructured, Functional, and Flexible Materials for Energy Conversions and Storage Systems. Elsevier, 2020.

اگرچه حوزه‌ای نوری¹⁰⁰ بنام **تمرکزدهندگی فتوولتاییکی**¹⁰¹ هست¹⁰² که در آن روشی نوری، برای کانون‌دهی به نور خورشیدی بر روی سلول خورشیدی‌ای بسیار کوچک¹⁰³، مورد استفاده است.



در واقع، ما می‌توانیم تمرکزدهی بسیار بالایی¹⁰⁴ را با این روش کسب کنیم که بجای عملکرد در میزان یک خورشید نور، عملکردی¹⁰⁵ در ۱۰۰، ۴۰۰ یا ۵۰۰ خورشید¹⁰⁶ نور داشته باشیم. حالا چون ما می‌توانیم کانونی نوری بر تک‌سلولی خورشیدی (که مساحتی بسیار، بسیار کوچک دارد) فراهم بیاوریم، مسالهی هزینه‌ی بالا حل‌شده، پروژه مقرون‌بصرفه می‌شود.



بنابراین سلول‌های خورشیدی چند پشته‌ی خوب و بسیار کارآمد¹⁰⁷ که از طیف وسیعی از نور خورشیدی بهره می‌گیرند¹⁰⁸، در **حوزه ی نوری تمرکزدهندگی فتوولتاییکی**¹⁰⁹ مکان خود را یافته‌اند و بکارگرفته می‌شوند¹¹⁰. البته بیاد داشته باشیم که مشکل هزینه هم،

¹⁰⁰

Optical field

¹⁰¹

Concentrating photovoltaics

¹⁰²

Apostoleris, Harry, and Stefancich, Marco, and Chiesa, Mateo. Concentrating Photovoltaics (CPV): The Path Ahead. Springer, 2018.

¹⁰³

Focus the light onto a very small solar cell

¹⁰⁴

A very high concentration

¹⁰⁵

Dimroth, Frank, and Rubio, Francisca, and Anton, Ignacio. 8Th International Conference on Photovoltaic Systems – Proceedings. American Institute of Physics, 2012.

¹⁰⁶

Instead of operating at one Sun, we can operate at 100, 400 or 500 Sun

¹⁰⁷

Hao, Shaocong. Fiber Solar Cells: Materials, Processing and Devices. Springer, 2017.

¹⁰⁸

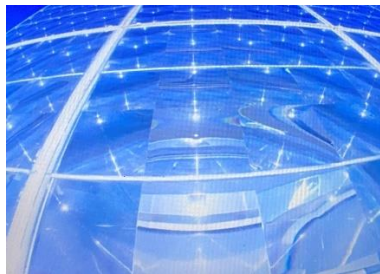
De Jager, C. The Hydrogen Spectrum of the Sun. Hassell Street Press, 2021.

¹⁰⁹

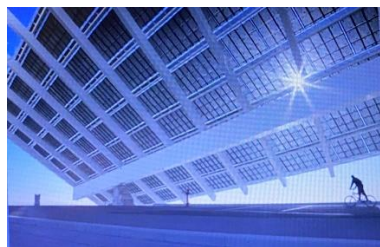
The Optical field of concentrated photovoltaics

¹¹⁰

اغلب دوچندان می‌شود زیرا برای تمرکزدهی دقیق به نور در این ابزارها و سیستم‌های نوری، نیاز به عدسی‌هایی دقیق و مسلماً گرانبها نیز داریم که خود موجب افزایش هزینه‌هاست.



خوب، حالا نکته‌ی مهم دیگر اینکه ما به نور خورشید می‌نگریم و تلاش داریم تا آن را به نقطه‌ای (همچون کانونی نوری¹¹¹) تمرکز دهیم¹¹²، اما زاویه‌ی تابش خورشید بر ابزار ما در طول روز در تغییر است¹¹³ و این چالش دیگری برای تمرکزدهی کانونی است، مگر اینکه ما قادر باشیم تا سلول‌های خورشیدی تمرکزدهنده‌ی¹¹⁴ خود را، در ارتباط با حرکت اشعه‌های نور خورشید¹¹⁵، تنظیم کنیم تا میزان باشند.



Smets arno, and Jaeger, Klaus, and Isabella, Olindo, and Van Swaij, Rene, and Zeman, Miro. Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technology and Systems. UIT Cambridge, 2016.

¹¹¹

Optical focal point

¹¹²

To focus

¹¹³

Watzke, Megan. Light: The Visible Spectrum and Beyond. Black Dog & Leventhal, 2015.

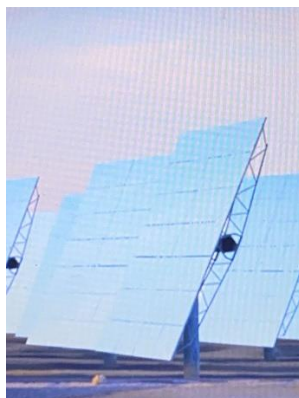
¹¹⁴

Concentrated optical solar cells

¹¹⁵

Relative to the Sun's rays

در نتیجه سلول‌های خورشیدی تمرکزدهنده‌ی ما نیاز به مسیرسنج زاویه‌ی تابش و مسیریاب نوری¹¹⁶ نیز دارند، که امروزه در دسترس نیز هستند¹¹⁷.



همه‌ی آنچه اشاره شد پیچیدگی‌های اتکاپذیری¹¹⁸، نگهداری و هزینه‌ی نصب ابزارها¹¹⁹ را به‌مراه می‌آورند¹²⁰. آنچه که فن‌آوران، در نهایت، می‌خواهند این است که آنها مایلند تا چنین ابزارهایی سَمِشْتَه¹²¹ (که در آنها با همسان‌سازی شبکه‌ای، رشد نیمه‌رساناهایی ترکیبی¹²² را طراحی کرده‌اند¹²³)، راندمان و کارکردی بسیار، بسیار بالا داشته باشند، بدون اینکه مشکلات پرهزینه‌گی و پیچیدگی داشته باشند¹²⁴. دقیقاً در همین زمینه‌ی بخصوص است که امروزه هیجان‌آورترین پژوهش‌های فن‌آوری نانو¹²⁵ برای ساخت سلول‌های خورشیدی انجام می‌شوند¹²⁶ تا راندمان ابزاری بالایی را، با بهره‌گیری از تمامیت طیف پهن‌آور نور خورشید، تضمین کنیم.

¹¹⁶

Optical tracker

¹¹⁷

Fujiwara, Hiroyuki, and Collins, Robert, W. Spectroscopic Ellipsometry for Photovoltaics: Fundamental Principles and Solar Cells Characterization. Springer, 2018.

¹¹⁸

Bett, Andreas, W. and McConnell, Robert, D. and sala, Gabriel, and Dimroth, Frank. 6Th International Conference on Photovoltaic Systems – Proceedings. American Institute of Physics, 2010

¹¹⁹

Complications in terms of cost, reliability and maintenance of these installations

¹²⁰

V Tewary (Editor), Y Zhang (Editor) Modeling, Characterization and Production of Nanomaterials: Electronics, Photonics, and Energy Applications. Woodhead Publishing, 2015.

¹²¹

Triple junction devices

¹²²

Growing compound semiconductors in a lattice matching fashion

¹²³

Gorjian, Shiva, and Shukla, Ashish. Photovoltaic Solar Energy Conversion: Technologies, Applications, and Environmental Impact. Academic Press, 2020.

¹²⁴

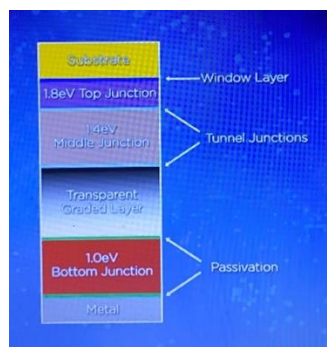
Bisquert, Juan. The Physics of Solar Cells: Perovskites, Organics, and Photovoltaic Fundamentals. CRC Press, 2017.

¹²⁵

The most exciting nanotechnology research

¹²⁶

Fulay, Pradeep, and Lee, Jung-Kun. Electronic, Magnetic, and Optical Materials. CRC Press, 2016.



اینجا مایل هستیم که به برخی حوزه‌های متفاوت پژوهش‌های نانویی برای بکارگیری بهینه‌ی طیف پهنای خورشید بپردازیم¹²⁷. نخستین زمینه، سلول‌های خورشیدی ارگانیک یا پولیمری نامیده می‌شوند. در بیشتر فصول کتاب "سفر به ریزها"، در مورد موادی غیر ارگانیک، برای نمونه نیمه‌رساناهای سیلیکونی یا نیمه‌رساناهای آرسنید گالیومی، یا در مورد نقش سیلیکن در الکترونیک و یا نقش شیشه در صنعت ارتباطات نوری، نوشتیم. اما در بخش‌هایی که به زیست‌شناسی، زیست‌مواد و زیست‌ملکول‌ها¹²⁸ پرداختیم، پیرامون ملکول‌های ارگانیک کربن‌پایه نوشته شد.

پژوهشگران حوزه‌ی ابزارهای فتوولتاییک ارگانیک¹²⁹ (یا ابزارهای نیروی نوری ارگانیک) در تلاش بوده‌اند تا شاخصه‌های بسیار مناسب موادی ارگانیک را، برای ساخت سلول‌هایی خورشیدی، آنچنان بکار بگیرند تا آنها بسیار مقرون‌به‌صرفه‌تر باشند¹³⁰. خوب، نخست اینکه، یکی از فوری‌ترین امتیازها در رویکرد ارگانیک پژوهشگران، انعطاف فیزیکی¹³¹ مواد ارگانیک می‌باشد، زیرا که مطلقاً درست است که مواد جهان زیست‌شناختی ما¹³²، بطور کلی، نرم‌تر و منعطف‌تر¹³³ از سلول‌های خورشیدی سفت سیلیکن پایه¹³⁴ هستند. کارهای اولیه‌ی طراحی و ساخت سلول‌های (از نظر فیزیکی) منعطف¹³⁵، با شاخصه‌های هزینه‌ی پایین تولید و نصب شان، اصولاً از حوزه‌ی پولیمرهای ارگانیک¹³⁶ آغاز شد¹³⁷.

¹²⁷

Butcher, Ginger & National Aeronautics and Space Administration. Tour of the Electromagnetic Spectrum. US National Aeronautics and Space Administration, 2011.

¹²⁸

Biology, biomaterials and biomolecules

¹²⁹

Rand, Barry, P. and Richter, Henning. Organic Solar Cells: Fundamentals, Devices, and Upscaling. Pan Stanford, 2014.

¹³⁰

Willeke, Gerhard P. Advances in Photovoltaics: Part 2. Academic Press, 2013.

¹³¹

Physical flexibility

¹³²

Our biological world materials

¹³³

Ding, Liming. Organic solar Cells: Materials Design, Technology and Commercialization. Wiley – VCH, 2022.

¹³⁴

Rigid silicon based solar cells

¹³⁵

Rajendran, Saravaran, and Karimi-Maleh, Hassan, and Qin, Jiaqian, and Lichtfause, Eric. Metal, Metal Oxides, and Metal Sulfides for Batteries, Solar Cells, Photocatalysis and Health Sensors. Springer, 2021.

¹³⁶

From the field of organic polymers

¹³⁷

حوزه‌ی هم‌نهشتی ملکول‌های ارگانیک¹³⁸، و خود حوزه‌ی پژوهشی ملکول‌های ارگانیک، بی‌نهایت توسعه‌یافته¹³⁹ است¹⁴⁰. در واقع، این همان حوزه‌ای است که به ما ظرفیت هم‌نهشتی داروهای نوین¹⁴¹ را برای کاربردهای زیست‌پزشکی¹⁴² داده است. این همان حوزه‌ای است که به ما امکان تولید پولیمرهایی گوناگون را داده است که در زندگی روزمره استفاده می‌کنیم و می‌توانیم آنها را برای پارچه و قماش و بافته‌ها یا برای ساختن لاستیک‌های مصنوعی¹⁴³ بکار بگیریم. بنابراین، حوزه‌ی هم‌نهشتی ارگانیک بسیار پیشرفته و توسعه‌یافته است. در نتیجه، شیمی‌دان‌های این حوزه قادرند طیف بسیار وسیعی از ملکول‌ها را برای عملکردهایی بسیار دقیق و دلخواه طراحی کنند.

در فتوولتاییک ارگانیک¹⁴⁴، البته هدف اصلی جذب بسیار قدرتمند¹⁴⁵ و همچنین هدایت یا رسانش انرژی¹⁴⁶ (هدایت الکترون‌ها) در راستای زنجیره‌هاست¹⁴⁷. دهه‌ها پیش، پژوهشگران توانستند روش‌های ساخت همین ملکول‌های ارگانیک را بیابند. البته در آن زمان، آنها بعنوان عایق¹⁴⁸ شناخته شده بودند و هنوز بمثابه موادی الکترونیکی که قادر به رسانش باشند، شمرده نمی‌شدند¹⁴⁹. دانشمندان بتدریج روش‌هایی را برای بکارگیری پیوندهایی که می‌توانستند در امتداد زنجیره‌ی چنین پولیمرهایی مهندسی کنند¹⁵⁰، یافتند. در نتیجه، آنها الکترون‌هایی غیرمحل را بوجود آوردند که در عین حال در همه‌جای زنجیره‌ها حضور داشتند¹⁵¹. بر این اساس، پژوهشگران کیفیات خوب نیمه‌رساناها را در درون سیستمی ارگانیک هم‌تاسازی¹⁵² کردند.

Paranthaman, Parans, M. and Wong-Ng, Winnie, and Bhattacharya, Raghu, N. Semiconductor Materials for Photovoltaic Solar Cells. Springer, 2016.

¹³⁸

Synthesis of organic molecules

¹³⁹

Incredibly well-developed

¹⁴⁰

Bisquert, Juan. The Physics of Solar Cells: Perovskites, Organics, and Photovoltaic Fundamentals. CRC Press, 2017.

¹⁴¹

Capacity to synthesize new drugs

¹⁴²

Biomedical applications

¹⁴³

Synthetic rubber

¹⁴⁴

Organic photovoltaics

¹⁴⁵

Gassim, Omer Abdalla Omer. Conjugate Polymer Solar Cells. Scholars' Press, 2016.

¹⁴⁶

Strong absorption but also conduction of energy

¹⁴⁷

Parker, Philip, M. The 2023 – 2028 World Outlook for Organic Solar Cells. ICON Group International, Inc. 2022.

¹⁴⁸

Insulators

¹⁴⁹

Zaidi, Saleem Hussein. Crystalline Silicon Solar Cells: A Paradigm Shift in Electricity Generation. Springer, 2021.

¹⁵⁰

Using the bonds that they could engineer along these chains of polymers

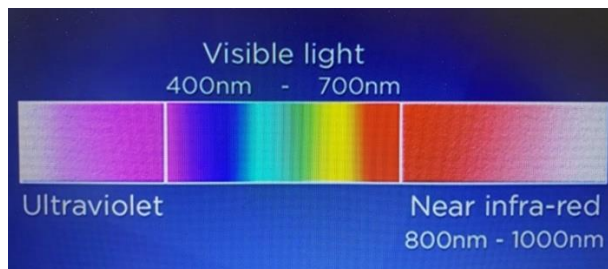
¹⁵¹

Dittrich, Thomas. Materials Concept for Solar Cells. Imperial College Press, 2014.

¹⁵²

Replicated the good qualities of semiconductors within this organic system

آنچه دانشمندان انجام دادند طراحی و ساخت ملکولی اندازپذیر (که توانایی اشل بالاتر داشت¹⁵³) بود، که در ظرفی هم‌نهشته شده¹⁵⁴، و با دستگاه چاپی به زیرسطحی منتقل و چاپ شود¹⁵⁵، اما آن ملکول می‌توانست همچون نیمه‌رسانایی عملکرد داشته باشد. خوب، با چنین توانمندی‌ای¹⁵⁶، آشکارا پلانفرمی نیرومند برای طراحی و ساخت سلول‌های خورشیدی کم‌هزینه¹⁵⁷ فراهم شد¹⁵⁸. البته همانگونه که پیشتر نوشتیم، بخش دیگر ساخت سلول‌های خورشیدی خوب، اندیشیدن پیرامون بکارگیری تمامیت طیف نور خورشید می‌باشد¹⁵⁹.



روش‌های ارگانیک امتیازات دیگری¹⁶⁰ هم دارند. مهم‌ترین امتیاز¹⁶¹، این است که فن‌آوران قادرند که کارکرد این مواد را¹⁶² (یعنی مشخصا نوسانات یا رزونانس نوری آنها را¹⁶³) آنچنان طراحی و تعریف¹⁶⁴ کنند که دقیقا آنها بین خواص تک‌اتم‌ها و خواص نیمه رساناها¹⁶⁵ قرار بگیرند¹⁶⁶.

¹⁵³

A designed molecule that could be scaled up

¹⁵⁴

Rand, Barry, P. and Richter, Henning. Organic Solar Cells: fundamentals, Devices and Upscaling. Pan Stanford, 2014.

¹⁵⁵

Synthesized in a beaker, printed with an inkjet printer on a substrate, but function as a semiconductor

¹⁵⁶

Capability

¹⁵⁷

Low-cost solar cells

¹⁵⁸

Goldsmith, Alfred David. Electro-Optical Sensor Systems: Including Geometric and Physical Optics, Electromagnetic Waves, Optics & Aberrations, IFOV, FOV for Radiometry. Independently Published, 2020.

¹⁵⁹

Klaus-Peter Moellmann (Author), Michael Vollmer (Author.) Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and applications. Wiley – VCH, 2018.

¹⁶⁰

Other advantages

¹⁶¹

The most important advantage

¹⁶²

Schmidt-Mende, Lukas, and Weickert, Jonas. Organic and Hybrid Solar Cells: An Introduction. De Gruyter, 2016.

¹⁶³

Their function (specifically their optical resonance)

¹⁶⁴

Design and define

¹⁶⁵

Between the properties of individual atoms and the properties of semiconductors

¹⁶⁶

Fulay, Pradeep, and Lee, Jung-Kun. Electronic, magnetic, and Optical Materials. CRC Press, 2016.

خوب، اگر بخاطر داشته باشید، در فصل پیشین نوشتیم که تک‌اتم‌ها سطوح بسیار مشخص و متمایز انرژی¹⁶⁷ داشته، در صورتیکه در مورد نیمه‌رساناها با باندهای انرژی روبرو هستیم.

فن‌آوران قادرند که آن سطوح بسیار دقیق و متمایز انرژی (که در اتم‌ها تعریف شده هستند) را به مقیاس‌هایی ملکولی تبدیل کنند تا ملکول‌های ارگانیک در فضایی بین دو اندازه‌ی طولی (اغلب چند نانومتری¹⁶⁸) قرار بگیرند. در نتیجه‌ی چنین خلاقیت و نوآوری، در درون ملکول‌های ارگانیک، گذار نوری بی‌نهایت نیرومندی اتفاق می‌افتد¹⁶⁹. در نتیجه‌ی جذب نوری بی‌نهایت نیرومندی¹⁷⁰ که در این ملکول‌های ارگانیک طراحی‌شده صورت می‌پذیرد¹⁷¹، ما قادریم لایه‌ی بسیار بسیار نازک چنین موادی را استفاده کنیم و همزمان جذب کاملی نوری داشته باشیم¹⁷².

برای مثال، اگر بخواهیم که با سیلیکن جذبی کامل از تمامیت طیف نور خورشید¹⁷³ بدست آوریم، به ضخامتی نزدیک به ۱۰۰ میکرومتر از آن ماده نیازمند هستیم که ضخامتی بالا برای نیمه‌رسانا شمرده می‌شود. اما برخی از ملکول‌های ارگانیک، در پهنای باندی جذبی¹⁷⁴ خود، قادرند که جذبی کامل را در اندازه‌ای حدود ۲۴ تا ۳۶ نانومتری بدست آورند. آنها مواد جاذب بی‌نهایت نیرومندی هستند؛ این یعنی آنها بی‌نهایت سیاه هستند. حالا، این واقعیت که ما می‌توانیم چنین جذبی را در باندی چنین کم‌پهنای متمرکز کنیم¹⁷⁵، البته تلویحا بدین معناست که ما لزوماً تمامیت طیف خورشیدی را هنوز بکار نگرفته‌ایم¹⁷⁶ و نیاز به راهبردی در فتوولتائیک ارگانیک¹⁷⁷ داریم تا بدرستی پاسخگوی چنین چالشی باشیم.

خوب، حالا دقیقاً همین‌جاست که ما با مخلوط کردن نیمه‌رساناهایی که خواصی گوناگون دارند، یعنی با استفاده از همان سلول‌های خورشیدی دو پشته و سه‌پشته که در آنها هر لایه‌ای شامل ملکول‌های ارگانیک گوناگونی است، پاسخگوی چالش هستیم¹⁷⁸. فن‌آوران توانسته‌اند هر لایه را آنچنان مهندسی کنند که مشخصاً بخشی از طیف نور خورشید را نیرومندانه جذب کرده و بدینوسیله بر

¹⁶⁷

Very discrete energy levels

¹⁶⁸

In between those two length scales (typically a few nanometers,) spatially

¹⁶⁹

Zarrabi, Nasim. Optoelectronic Properties of Organic Semiconductors: Charge Generation and Recombination in Next-Generation Photovoltaic Devices. Springer, 2022.

¹⁷⁰

As a result of an extremely strong absorption of light in these designer organic molecules

¹⁷¹

Sattler, Klaus, D. Handbook of Nanophysics: Nanoelectronics and Nanophotonics. CRC Press, 2010.

¹⁷²

Achieve very complete absorption of light

¹⁷³

Complete absorption of the Sun's full spectrum

¹⁷⁴

Bandwidth of absorption

¹⁷⁵

Concentrate into this narrow band

¹⁷⁶

Flitsyan, Elena, and Chernyak, Leonid. Electron Injection Effects in Wide-Band-Gap Semiconductors. LAP Lambert Academic Publishing, 2014.

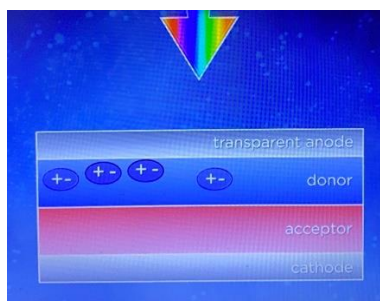
¹⁷⁷

A strategy in Organic Photovoltaics

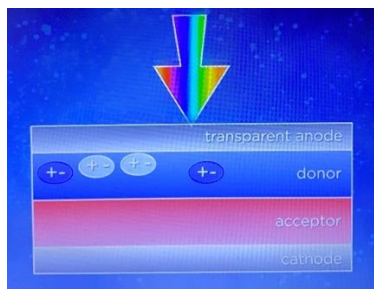
¹⁷⁸

Ding, Liming. Organic Solar Cells: Materials Design, Technology and Commercialization. Wiley – VCH, 2022.

محدودیت کارکردی باندی کمپنا غلبه کند¹⁷⁹. طراحی‌های مهندسی سلول‌های خورشیدی ارگانیک فن‌آوران، بسیار خلاقانه و زیبا هستند. سلول‌های خورشیدی، در واقع، بر اساس اصول فیزیکی نسبتاً متفاوتی از ابزارهای سنتی اتصالی (مانند دیودها که بنیان الکترونیک بوده‌اند) کارکرد دارند. فن‌آوران، از سویی آنها را به فتودیودها برای ردیاب‌های نوری¹⁸⁰، و از دیگر سو به ابزارهایی فتوولتاییک برای استفاده در حوزه‌ی فتوولتاییک¹⁸¹ با بکارگیری نیمه‌رساناهای غیرارگانیک¹⁸²، تبدیل کرده‌اند. ایده‌ای که در زمینه‌ی کارهای فتوولتاییک ارگانیک مشخصاً متمایز بوده¹⁸³ و در دهه‌ی ۹۰ میلادی توسط دانشمندان معرفی شد، مفهوم "محل‌اتصال‌های اهداکننده - گیرنده"¹⁸⁴ بود.



در این زمینه بجای ساخت نوعی ابزار نیمه‌رسانا با دو نوع ناخالصی گوناگون، که کیفیت وفور و فقدان الکترون‌ها را باعث می‌شد، روش دیگری معرفی شد. چنین ملکول‌هایی ارگانیک بهیچوجه گرایش به داشتن وفور الکترون‌های آزاد ندارند. در عوض، آنها می‌توانند آنچنان مهندسی شوند که سطوح انرژی در دو ملکول ارگانیک متفاوت¹⁸⁵، با یکدیگر آنچنان همسان و جفت‌وجور شوند تا عدم تقارن بوجود آورند¹⁸⁶.



¹⁷⁹

Feller, Brian, P. Optical Investigation of Transition Metal Implanted Wide Gap Semiconductors. BiblioScholar, 2012.

¹⁸⁰

Photo diodes for light sensors

¹⁸¹

Yang, Yang, and Li, Gang. Progress in High-Efficient Solution Process Organic Photovoltaic Devices: Fundamentals, Materials, Devices and Fabrication. Springer, 2015.

¹⁸²

Photovoltaic devices for inorganic semiconductor-based photovoltaics

¹⁸³

Sargent, Ted. Infrared Photovoltaics Made by Solution Processing. Nature Photonics 3, 2009.

¹⁸⁴

Donor-Acceptor Junctions

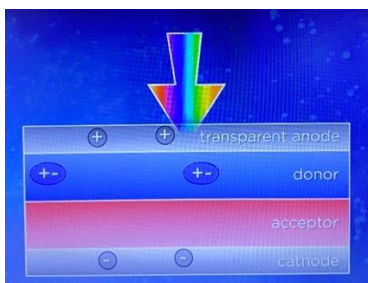
¹⁸⁵

Energy levels in two different organic molecules

¹⁸⁶

Matched up in such a way to create asymmetry

در فصل پیشین پیرامون نیاز به عدم تقارن¹⁸⁷ برای ساخت سلول‌های خورشیدی نوشتیم¹⁸⁸. آنها می‌توانند آنگونه جفت‌وجور شوند تا الکترون‌های تولیدشده در طبقه‌ی نخست ملکول‌ها¹⁸⁹ که اهداکننده¹⁹⁰ خوانده می‌شوند، بنحوی موثر به ملکول‌های مجاور که کارکرد گیرنده¹⁹¹ دارند، منتقل شوند¹⁹².



در اساس، هنگامیکه نور وارد سلولی خورشیدی می‌شود، آنچه "برانگیزاننده¹⁹³" خوانده‌شده، تولید می‌کند. بنابراین، ذره‌ای برانگیخته، در نهایت شکافته‌شده¹⁹⁴، بدرون ملکول‌های گیرنده¹⁹⁵ کشیده می‌شود و در نتیجه زمان بیشتری را برای سلول خورشیدی فراهم می‌کند تا شارژ آن ذره‌ی برانگیخته استخراج شود. دلیل اینکه استخراج کارآمد شارژ¹⁹⁶ آنها مهم است بخاطر آن است که خواص ترابری آنها، یعنی تحرک الکترون‌ها درون چنین موادی، آهسته‌تر از آنچه درون نیمه‌رساناهای کاملاً منظم، از قبیل سیلیکونی و یا نیمه‌رساناهای بر ساخته‌ی آرسنید گالیوم¹⁹⁷، هست، می‌باشد¹⁹⁸. بهمین دلیل دانشمندان با چنین روشی، شارژ برانگیخته آنها را پیش از ناپدید شدن، استخراج می‌کنند. این یعنی اینکه نیاز به زمان بیشتری داریم تا انرژی چنین ابزارهایی را استخراج کنیم، و مهندسی "محل اتصال اهداکننده - گیرنده¹⁹⁹"، این فرصت را فراهم می‌کند.

¹⁸⁷

Asymmetry

¹⁸⁸

Van de Walle, C. G. Wide-Band-Gap Semiconductors: Proceeding of the Seventh Semiconductor Symposium. North Holland, 2012.

¹⁸⁹

Electrons generated in the first class of organic molecules

¹⁹⁰

Donor

¹⁹¹

Acceptor

¹⁹²

Potter, Kelly, S. and Simmons, Joseph. Optical Materials. Elsevier, 2021.

¹⁹³

Exciton

¹⁹⁴

Ultimately split apart

¹⁹⁵

Acceptor molecules

¹⁹⁶

Efficient extraction of the charge

¹⁹⁷

Perfectly regular semiconductors such as silicon or gallium arsenide

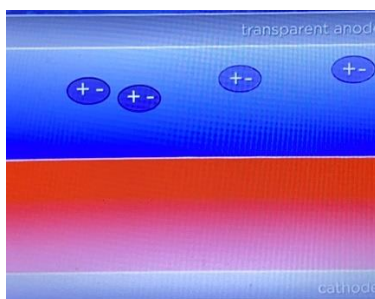
¹⁹⁸

Broeker, Benjamin. Electronic and Structural Properties of Metal-Organic Interfaces: Electron Donor and Acceptor Molecules. Suedwestdeutscher Verlag Fuer Hochschulschriften, 2011.

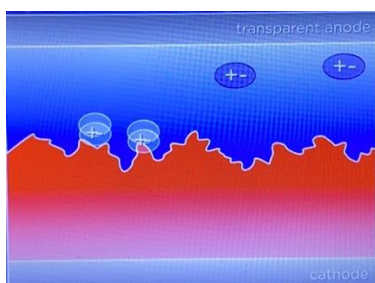
¹⁹⁹

Donor-Acceptor Junction

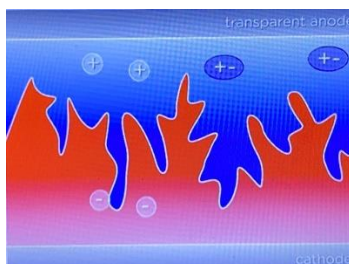
کارهای مهندسی بسیار خلاقانه و زیبایی بر روی محل اتصال‌های اهداکننده - گیرنده انجام شده است و نه تنها در زمینه‌ی استخراج انرژی که توضیح داده شد، بلکه همچنین در حوزه‌ی طراحی و فضا سازی²⁰⁰ برای آنها. پژوهشگران، روش‌هایی را برای درهم تداخل‌گری اهداکننده و گیرنده²⁰¹، طراحی و مهندسی کرده‌اند. مشکل آنجاست که اگر تنها صفحه یا سطح تماس²⁰² ساده‌ای بین اهداکننده و گیرنده ساخته شود، همانگونه که پیشتر نوشتیم، می‌بایست ابزار بسیار ضخیم باشد تا توانایی جذب همه‌ی نور را داشته²⁰³ و همچنین قادر به استخراج کارآمد همه‌ی الکترون‌های پرنرژی باشد.



در نتیجه فن‌آوران بنحوی نوآورانه، با مواد اهداکننده و گیرنده انگشتیهایی درهم تداخل‌گر²⁰⁴ طراحی کرده‌اند.



با چنین خلاقیتی، آنها توانسته‌اند اندازه‌ی سطح تماس مواد را افزایش دهند که برای جذب نور بسیار سودمند بوده‌است.



در عین حال، آنها تضمین کرده‌اند که در هر نقطه‌ی اهداکننده که الکترونی برانگیخته تولید می‌شود، آن الکترون نزدیک به دریچه‌ی انتقالی به ماده‌ی گیرنده است، یعنی آن الکترون در سطح تماسی نزدیک با گیرنده است تا بسادگی استخراج شود.

²⁰⁰

In the spatial domain

²⁰¹

Interpenetration of donor and acceptor materials

²⁰²

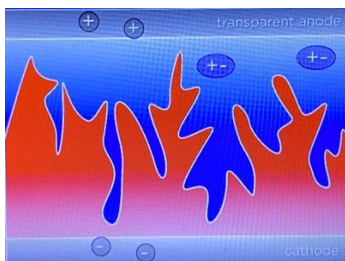
Only a simple plane or interface

²⁰³

Amusia, Miron, and Chernysheva, Larissa, and Yarzhemsky, Victor. Handbook of Theoretical Atomic Physics: Data for Photon Absorption, Electron Scattering, and Vacancies Decay. Springer, 2012.

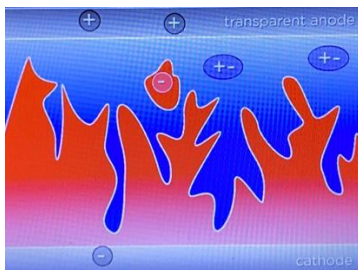
²⁰⁴

Interpenetrating fingers



زیبایی طراحی چنین موادی نانوساختاری (نانوساختاری در مقیاس‌های ۱۰، ۲۰ یا ۳۰ نانومتری) در آنجاست که نیازی به هیچ نوع نقش‌اندازی با بکارگیری تیزاب، و یا قالب یا شابلونی نداریم²⁰⁵، بلکه نانودانشمندان شیمیدان، خود مواد را چنان طراحی کرده‌اند که در ارتباط با یکدیگر چنین جداسازی‌ها را بوجود می‌آورند. زیبایی طراحی در آنجاست که هنگامیکه مواد با یکدیگر مخلوط می‌شوند، ماده‌ی "الف" گرایش به شکل‌دهی به فاز خود است، و ماده "ب" بشکلی بسیار جالب فازی در هم‌تداخل‌گر با ماده‌ی نخستین ایجاد می‌کند تا همین انگشت‌ها بوجود بیایند. کارهای مهندسی مواد شگفت‌انگیزی، برای چنین خواصی تعریف‌شده²⁰⁶، انجام پذیرفته‌شده و می‌شود تا کارآمدترین نتایج²⁰⁷ حاصل شوند²⁰⁸.

خوب حالا چنین انگشتانی در هم‌تداخل‌گر برای اهداف ما بسیار مفید هستند اما شکل‌گیری جزیره‌هایی مجزا، بسیار ناخوشایند است.



اگر در مهندسی مواد ارگانیک، ما مناطقی مجزا داشته باشیم، قادر نخواهیم بود تا الکترونی را از آنها استخراج کنیم. بسیاری از روش‌های زیبای مهندسی مواد ما، دقیقاً بر اساس ساخت جداسازی سطح‌تماس²⁰⁹ در مقیاس طولی درست²¹⁰ می‌باشد، تا محل‌اتصال یکبارچه و مستمر²¹¹، برای استخراج الکترون از اهداکننده به درون گیرنده‌مان، داشته باشیم²¹²، و در عین حال هیچ‌گونه جزیره‌ی مجزا و ناخوشایندی تولید نشود. در دهه‌ی گذشته، فن‌آوران با مهندسی زیبای مواد، سلول‌های خورشیدی چند پشته‌ای را با بکارگیری ملکول‌هایی ارگانیک ساخته‌اند. در واقع، نوآوری‌هایی در این زمینه انجام شده تا هر تک‌لایه‌ای، الکتروود خود، یعنی هادی خود را

²⁰⁵

No need for an etching process, etchant nor a template

²⁰⁶

Defined properties

²⁰⁷

Most efficient results

²⁰⁸

Diebold, Alain, C. Handbook of Silicon Semiconductor Metrology. CRC Press, 2019.

²⁰⁹

Interface segregation

²¹⁰

In the right length scale

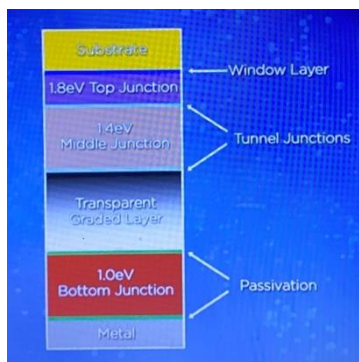
²¹¹

A continuous junction

²¹²

Logothetides, S. Handbook of Flexible Organic Electronics: Materials, Manufacturing and Applications. Woodhead Publishing, 2016.

برای اتصال به نیمه‌رساناها، و سپس به محل اتصال²¹³ داشته باشد، تا در نهایت بتوانیم در درون سلول‌های خورشیدی نوین خود، چند محل اتصال²¹⁴ بوجود آوریم.



در این زمینه، دانشمندان اغلب از روش‌های پردازشی محلول و رویه‌کشی چرخشی²¹⁵ استفاده می‌کنند²¹⁶. با چنین خلاقیتی، ما توانسته‌ایم ساخت سلول‌های خورشیدی کم‌هزینه‌ای را تحقق ببخشیم، و بنحوی هم‌زمان با بکارگیری ایده‌ی ساخت سلول‌هایی چندپشته، برداشتی کارآمدتر، بهتر و موثرتر²¹⁷ از تمامیت طیف‌نوری خورشید، با راندمانی بالا، داشته باشیم. البته از خاطر نبریم که فن‌آوری نانو در شکل‌دهی به مواد برساننده‌ی²¹⁸ سلول‌ها نیز مورد استفاده بوده‌است²¹⁹. برای نمونه، باکی‌بال‌های نانویی²²⁰ ما بازیگرانی مهم²²¹ در ساخت "محل اتصال‌های اهداکننده - گیرنده"²²² هستند. این ملکول²²³ که شبیه به توپ فوتبال هست و اندازه‌ای چند نانومتری دارد، در سلول‌های خورشیدی ارگانیک، مسئولیت شرکت در فرآیند استخراج و جذب نور²²⁴ را دارد.

²¹³

The junction

²¹⁴

Multiple junctions

²¹⁵

Solution processing and spin coating

²¹⁶

Tsymbal, Evgeny, and Zutic, Igor. Spintronics Handbook: Spin Transport and Magnetism, Nanoscale Spintronics and Applications. CRC Press, 2019.

²¹⁷

Adams II, Thomas, A. Process Modeling and Simulation of Energy Systems. MDPI, 2019.

²¹⁸

Constituent materials

²¹⁹

Nix, William, D. A Century of Materials science and Engineering at Stanford: from Steels to Semi-Conductors to Nano- and Bio-Materials. Stanford Historical Society, 2019.

²²⁰

Our nanosize bucky balls

²²¹

Whaley, Brigitta, and Rice, Stuart, A. and Dinner, Aaron, R. Advances in Chemical Physics. Wiley, 2018.

²²²

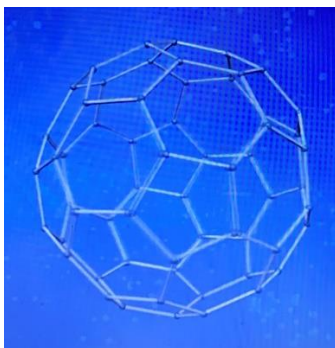
Donor – acceptor junctions

²²³

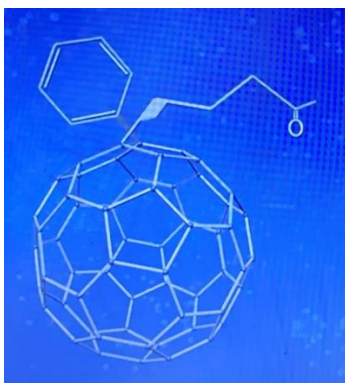
Laalioui and Saida. Perovskite-Based Solar Cells: From Fundamentals to Tandem Devices. De Gruyter, 2022.

²²⁴

Responsible for participating in extraction and absorption of light



باکی‌بال‌ها ساختار باندی الکترونیکی بسیار تنظیم شونده‌ای²²⁵ دارند و (اگرچه در واقعیت، در محلول‌ها حل‌شدنی نیستند²²⁶) پژوهشگران توانسته‌اند آنها را در وضعیت طبیعی خود حل‌شونده²²⁷ کنند. فن‌آوران قادرند ملکول‌هایی را به سطح باکی‌بال‌ها بنحوی متصل کنند تا در محلولی مناسب حل شوند و اینگونه، با شاخصه‌های جالب ساخت سلول‌های خورشیدی ارگانیک، سازگار²²⁸ شوند²²⁹.



در اینجا مایلیم دوباره به غیرارگانیک‌ها، یعنی به همان نیمه‌رساناهای کریستالی سنتی²³⁰، و بویژه به حوزه‌ی سلول‌های نقطه‌کوآنتومی کلوییدی خورشیدی²³¹، اشاره‌ای داشته‌باشم²³². در فصل‌های پیشین و البته در زمینه‌ای متفاوت (یعنی در صنعت اطلاعات و

²²⁵

Very tunable electronic band structure

²²⁶

Insoluble

²²⁷

Soluble in their own native state

²²⁸

Compatible with the attractive features of making organic solar cells this way

²²⁹

Arshak, Raffie. Investigation of Organic Polymer-based Films for Flexible Solar Cells. LAP Lambert Academic Press, 2014.

²³⁰

Traditional crystalline semiconductors

²³¹

Colloidal quantum dot solar cells

²³²

Enrichi, Francesco, and Righini, Giancarlo. Solar Cells and Light Management: Materials, strategies and Sustainability. Elsevier, 2019.

ارتباطات) پیرامون نقطه‌های کوآنتومی²³³ نوشتیم. برای یادآوری اینکه نقطه‌های کوآنتومی ذراتی نیمه‌رسانا هستند، که اغلب اندازه‌ای چند نانومتری دارند، و کریستال‌هایی غیرارگانیک‌اند.



بنابراین نقطه‌های کوآنتومی، ذراتی نیمه‌رسانا هستند که ساختاری باندهای²³⁴ دارند و ما می‌توانیم آنها را (براساس اندازه‌شان) از طریق تاثیر کوآنتوم‌مقداری²³⁵، تنظیم و تعریف²³⁶ کنیم.

تنظیم‌شوندگی طیفی²³⁷، یکی از شاخصه‌هایی است که ما برای کاربردهایی گوناگون استفاده کرده‌ایم. برای نمونه، در مبحث تصویر‌یاب‌ها اشاره داشتیم که ما چگونه آنها را تنظیم می‌کنیم تا، ذرات نیمه‌رسانا (در آنها)، چه رنگی را به خود جذب نمایند²³⁸، که البته در رویکردهای عملکردی نیمه‌رساناهای سنتی²³⁹ چنین چیزی امکانپذیر نبود.



در زمینه‌ی سلول‌های خورشیدی، چنین تنظیم‌شوندگی‌ای بسیار جذاب و مهم است. با تنظیم‌کردن اندازه‌ی این ذرات، یعنی با تغییر شکاف باندهای آنها²⁴⁰، ما می‌توانیم اینکه آنها نور قابل‌رویت را جذب کنند یا فروسرخ، و یا حتی طول‌موج‌های بلندتر فروسرخ را، تغییر دهیم²⁴¹.

²³³

Tong, Xin, and Wang, Zhiming, M. Core/ Shell Quantum Dots: Synthesis, Properties and Devices. Springer, 2020.

²³⁴

Band structure

²³⁵

Quantum size effect

²³⁶

Define and tune

²³⁷

Spectral tunability

²³⁸

Williams, Mo. Opposites Abstract. Hyperion Books for Children, 2021.

²³⁹

In functional approaches of traditional semiconductors

²⁴⁰

By changing their band gap

²⁴¹

لطفاً به سلسله‌مقالات “سرشت علم” من، بویژه مقاله‌ها و فایل صوتی شماره ۵۶، رجوع کنید :

<https://t.me/natureofscience>

یکی از گیرایی‌های کارکرد²⁴² با نقطه‌های کوآنتومی بمثابه ذرات، بهره‌گیری از تأثیر کوآنتوم‌مقداری²⁴³ است. هنگامیکه در مورد سلول‌های خورشیدی دویشته²⁴⁴ نوشتیم اشاره کردم که فن‌آوران نیازمند هستند تا موادی گوناگون با ترکیباتی متفاوت²⁴⁵ بیابند تا بتوانند بر روی یکدیگر سوار کنند²⁴⁶. آنها می‌بایست شیوه و راهکاری برای همسان‌سازی و جفت‌وجورکردن فاصله‌ها (یا شبکه‌ی²⁴⁷) اتمی مواد²⁴⁸ داشته باشند و خوب، در اساس، این همان چالش هزینه‌مندشدن ابزارهاست، که در مبحث ابزارهای فتوولتائیک تمرکزدهنده²⁴⁹ بدان پرداختم²⁵⁰. حالا، وقتی که ما با تنظیم‌شوندگی در تأثیر کوآنتوم‌مقداری²⁵¹ کار می‌کنیم، تنها به تک‌ترکیبی از ماده در نیمه‌سانا و در فن‌آوری خود نیازمندیم. با مهارتی خلاقانه در هم‌نشستی و در پردازش ابزارها²⁵² (که تنها متکی بر تک‌نیمه رسانایی تک‌ترکیبی²⁵³ هستند) فقط با تغییر دستورالعمل²⁵⁴، از تأثیر کوآنتوم‌مقداری (به‌نگام هم‌نشستی ذرات) یاری می‌گیریم و می‌توانیم با چنین متدی شکاف باندی مشخصی را انتخاب کنیم.

با چنین نانوذراتی نیمه‌سانا، ما راهی برای ساخت سلول‌های خورشیدی دویشته یا سه‌پشته داریم که بر بنیان نقطه‌های کوآنتومی کلوییدی²⁵⁵ بنا می‌شوند²⁵⁶. در دهه‌ی اخیر، فن‌آوران توانایی ساخت سلول‌هایی خورشیدی را گزارش داده‌اند که شکاف باندی محل اتصال‌های برسان‌ده‌شان²⁵⁷ (در سلولی دویشته²⁵⁸)، کاملاً و بنحوی مناسب و خالص با تک‌ماده‌ای، از طریق تأثیر کوآنتوم‌مقداری

242

Appealing in working with

243

Quantum size effect

244

Tandem solar cells

245

Different materials with different compositions

246

Stack on top of each other

247

Jennette, Robert, L. Size Effect in the Three-Dimensional Ising Lattice. Forgotten Books, 2019.

248

Some kind of way to match the materials' lattices, match the spacing of their atoms

249

Concentrating photovoltaic devices

250

Apostoleris, Harry, and Stefancich, Marco, and Chiesa, Matteo. Concentrating Photovoltaics (CPV): The Path Ahead. Springer, 2018.

251

Tunability in quantum-size effect

252

Creative skills in synthesis and processing of devices

253

A single semiconductor having a single composition

254

Only by changing the recipe

255

Tandem and triple-junction solar cells based on colloidal quantum dots

256

Konstantatos, Gerasimos, and Sargent, Edward, H. Colloidal Quantum Dot Optoelectronics and Photovoltaics. Cambridge University Press, 2013.

257

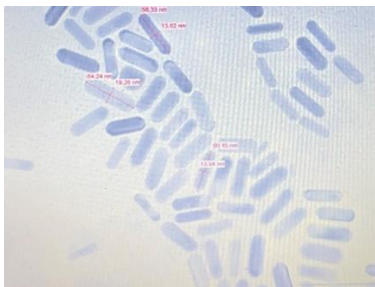
Band gaps of the constituent junctions

258

In a tandem cell

انتخاب شد. این ثابت کرد که ما قادریم تنها با تکماده‌ای، سلولی خورشیدی ساخته و با بکارگیری تأثیرات کوآنتومی، مهارت لازم برای کنترل بر شکاف بانندی بدست آوریم، بدون اینکه نیازی به ماده‌ی دیگری داشته باشیم.

یکی از زیبایی‌های مهندسی این نانوذرات نیمه‌رسانا، نداشتن محدودیت در شکل‌دهی²⁵⁹ به آنهاست. یعنی ما نیازی به محدودکردن خود به شکل نقطه‌های کوآنتومی، یا به این نانوذرات نیمه‌رسانا نیستیم²⁶⁰، بلکه می‌توانیم آنها را به شکل ساختارهایی دراز، که اغلب نانومیل (یا نانومیل²⁶¹) خوانده می‌شوند، نیز بسازیم.



در نانومیل‌ها، البته ارجحیت یا تمایل گردشی در محور و راستای طولی²⁶² آنهاست²⁶³. بدیگرسخن اینکه، ما کریستال نیمه‌رسانای کاملی داریم که بسیار سازگار با الکترون‌هایی غیرمحلی در راستای طولی²⁶⁴ است. چنین موادی در دهه‌ی گذشته، بدلیل خواص ترابری الکترونیکی²⁶⁵ خود، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند.

البته بخاطر داشته باشیم که وقتی ما چنین میل‌هایی را از محلول خارج کرده، بر زیرسطحی، روکش‌وار لایه‌اندود می‌کنیم²⁶⁶، محتمل‌ترین رویداد، افقی‌وار خوابیدن²⁶⁷ آنها بر آن سطح است که دقیقاً اتفاق می‌افتد.

²⁵⁹

No limit to a single shape

²⁶⁰

Klimov, Victor, I. Nanocrystal Quantum Dots. CRC Press, 2010.

²⁶¹

NanoRods

²⁶²

Preference for flow along the length axis

²⁶³

Krahne, Roman, and Manna, Liberato, and Morello, Giovanni, and Figuerola, Albert, and George, Chanramohan, and Deka, Sasanka. Physical Properties of Nanorods. Springer, 2013.

²⁶⁴

A semiconductor crystal that's very compatible with the delocalized electrons along its length

²⁶⁵

Electronic transport properties

²⁶⁶

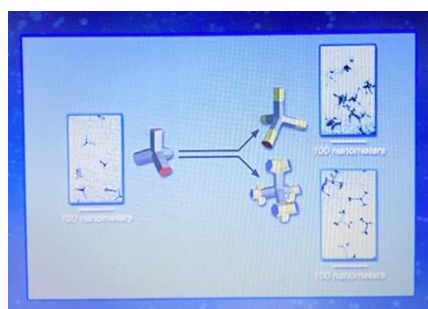
Take the rods out of solution and coat them onto a substrate

²⁶⁷

The rods lie down



خوب حالا، ترابری الکترونیکی بر روی سطح می‌باشد²⁶⁸، و همانگونه که بارها در مورد سلول‌های خورشیدی اشاره داشتیم، در مسیر عمودی است که ما نیاز به استخراج الکترون‌ها داریم. در نتیجه، ما نیاز به روشی داریم که چنین مواد جذب‌کننده‌ی نور، عمودی²⁶⁹ بایستند. در همین حوزه است (که همانگونه که در فصل شانزده نیز نوشته‌شد) فن‌آوران نانو به زیبایی، میل‌هایی سه‌پایه²⁷⁰ را مهندسی کرده‌اند، تا آنها بر سه‌پایه نشسته، الکترون‌ها قادر باشند در مسیر طولی جریان یابند.



با چنین مهندسی‌ای خلاق و سویهمندکردن میل‌ها، بهترین مسیر ترابری الکترونی²⁷¹، همان مسیر مورد نیاز در راستای طولی آنهاست. در حوزه‌ی دیگری که جامدات کوآنتومی نویدبخش بوده²⁷² و اخیراً پیشرفت‌هایی چشمگیر داشته‌اند، ساخت ابزارهایی خورشیدی و همچنین ساخت مواد برای سلول‌های خورشیدی بوده است²⁷³. آنچه انجام می‌دهیم این است که ما با بهرمگیری از تنظیم‌شوندگی اندازه مقداری ذرات کوآنتومی²⁷⁴، می‌توانیم آنها را، درست همانگونه که تخم‌مرغ‌ها در کارتنی ردیف می‌شوند، بسته‌بندی کنیم، و اغلب آنها را ابرشبکه²⁷⁵ می‌نامیم.

²⁶⁸

Now, their transport is in the plane

²⁶⁹

These light absorbing materials to stand up

²⁷⁰

Tetrapod nanorods

²⁷¹

Cai, Wei. Computational Methods for Electromagnetic Phenomena: Electrostatic in Solvation, Scattering and Electron Transport. Cambridge University Press, 2013.

²⁷²

Quantum solids have had great promise

²⁷³

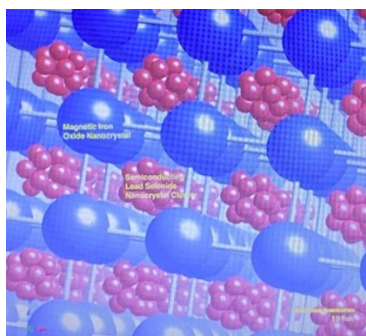
Tawhid, Zaman. Fabrication and Characterization of a Si-based Solar Cell. LAP Lambert Academic Publishing, 2020.

²⁷⁴

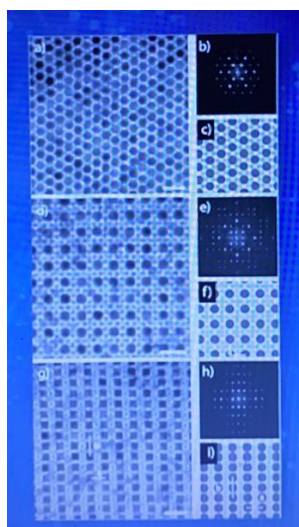
Taking advantage of their size-effect tunability

²⁷⁵

Superlattice



در فصل گذشته که پیرامون نانودرون مایه‌ها²⁷⁶ نوشتیم، برخی از تصاویر را دیدیم. آنها بسیار زیبا و جالب، و در مقیاس‌های طولی متفاوت، مهندسی شده‌اند و این ابرشبکه‌ها با استفاده از کریستال‌ها طراحی و شکل‌داده شده‌اند²⁷⁷. در واقع، ما توانسته‌ایم اتم‌ها را بنحوی سویهمند (اغلب در میزان نیم‌نانومتری) و بگونه‌ای تکرار شده و منظم²⁷⁸ (درست مانند تخم‌مرغ در کارتن) آنچنان مهندسی کنیم تا نانوذره‌ای حدوداً با قطر سه نانومتری بسازیم. در تصویر پایین مشاهده می‌کنید که چندین ذره‌ی مشابه، بنحوی خودسازمان‌یافته و ردیف‌شده، شبکه‌ی کاملی²⁷⁹ را ساخته‌اند.



ما چندین مقیاس طولی منظم داریم و هر یک از مقیاس‌های طولی مهم می‌باشد. نخستین و کوچک‌ترین مقیاس طولی، موجب ردیف شدن اتم‌هاست که در نهایت خواص نیمه‌رسانا²⁸⁰ و بویژه خواص ترابری مورد درخواست ما را می‌سازد²⁸¹. سپس، مقیاس طولی

²⁷⁶

Nanomotifs

²⁷⁷

Usanov, D. A. and Nikitov, S. A. and Skripal, A. V. and Ponomarev, D. V. One-Dimensional Microwave Photonic Crystals: New Applications. CRC Press, 2019.

²⁷⁸

We have ordered oriented atoms (on a scale of a half nanometer) repeating themselves

²⁷⁹

Identical particles ordering, self-organizing into a perfect lattice

²⁸⁰

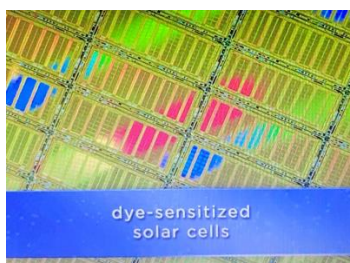
Limonov, Mikhail, F. and De La Rue, Richard, M. Optical Properties of Photonic Structures: Interplay of Order and Disorder. CRC Press, 2016.

²⁸¹

Pierret, Robert. Semiconductor Device Fundamentals. Addison Wesley, 1996.

دوم که کمی بزرگتر و حدود دو - سه نانومتر است، مشخصه‌ی طول موج الکترون‌هاست²⁸². این همان مقیاس طولی است که نیاز داریم تا در آن فرارسانی الکترون‌ها²⁸³ صورت پذیرد. اگرچه در پژوهش‌های اولیه، بر روی نقطه‌های کوآنتومی کلوییدی، ترابری الکترون‌ها ضعیف بود و کارکرد سلول‌های خورشیدی را محدود می‌کرد، اما پژوهش‌های اخیر بسیار نویدبخش و خوشبینانه بوده‌اند. با متصل کردن نانوذرات به یکدیگر و بسته‌بندی آنها در ابرشبه‌ها²⁸⁴، خواص ترابری الکترون‌ها بسیار بهینه شده‌است²⁸⁵. با چنین پیشرفت‌هایی فنی، توانسته‌ایم تا سلول‌های خورشیدی نقطه‌کوآنتومی کلوییدی بسیار کارآمد و در عین حال کم‌هزینه و مقرون به صرفه بسازیم²⁸⁶ که بنحوی مناسب و ساده هم قابل تولید²⁸⁷ هستند.

در پایان این فصل، مایل هستم تا کمی پیرامون باصطلاح نسل سوم سلول‌های خورشیدی بنویسم²⁸⁸. سلول‌های خورشیدی رنگ حساس²⁸⁹ به واقع²⁹⁰ همگرایی جالب²⁹¹ برخی حوزه‌های سنتی شیمی، از قبیل الکتروشیمی²⁹²، است که بنیان باطری‌هایی‌ست که برای برداشت انرژی خورشیدی²⁹³ مورد استفاده هستند²⁹⁴.



282

Characteristic wavelength of electrons

283

Propagation of electrons

284

With coupling these nanoparticles together and packing them into a superlattice

285

Luque, Antonio, and Mellor, Alexander Virgil. Photon absorption Models in Nanostructured Semiconductor Solar Cells and Devices. Springer, 2015.

286

Ghatak, Kamakhya Prasad, and Mitra, Madhuchhanda, and Biswas, Arindam. Heisenberg's Uncertainty Principle and the Electron Statistics in Quantized Structures. Springer, 2022.

287

Very convenient and simple to manufacture

288

Milnes, A. G. Heterojunctions and Metal-Semiconductor Junctions. Academic Press, 2012.

289

Dye-sensitized solar cells

290

Pawar, Udayraj. Dye-Sensitized Solar Cells based on ZnO and TiO₂ Nano Architectures. LAP Lambert Academic Publishing, 2018.

291

Fascinating convergence

292

Achaya, D. Core/ Shell Nanoparticles. LAP Lambert Academic Publishing, 2020.

293

The basis for batteries with solar energy harvesting

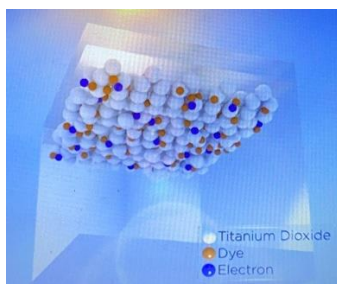
294

Pandey, Adarsh Kumar, and Ahmad, Muhammad Shakeel, and Shahabuddin, Syed. Dye-Sensitized Solar Cells: Emerging Trends and Advanced Applications. Academic Press, 2021.

کارکرد آنها چنین است که جذب نور را با بکارگیری رنگ²⁹⁵ کسب می‌کنند²⁹⁶. در آنها، رنگ‌مایه‌هایی²⁹⁷ که اغلب برای رنگ غذا یا پوشاک²⁹⁸ استفاده شده‌اند، بکار گرفته می‌شوند²⁹⁹. چنین ملکول‌هایی برای جذب نور بسیار خوب عمل می‌کنند، اما بخودی خود هادی نیستند. بینش و خلاقیت فن‌آوران حوزه‌ی سلول‌های خورشیدی رنگ‌حساس، در اساس، آن بوده که رنگ‌مایه‌ها را بر اسفنجی در سطحی درونی از ماده‌ای نیمه‌رسانا (که در ترابری الکترون‌ها³⁰⁰ خیلی خوب است) تعبیه می‌کنند³⁰¹.



در واقع، شکل تعبیه چنین است که کل اسفنج (که سطحی وسیع داشته و شفاف هم هست) با رنگ‌مایه‌ای آنچنان پراگیری نفوذی³⁰² می‌شود که هر رنگ‌مایه‌ای، مستقیماً و فوراً، متصل به و در نزدیکی گیرنده‌ای الکترونی قرار گرفته³⁰³ تا گیرنده قادر باشد که الکترون را استخراج کند.



295

Dyes

296

Ziarani, Ghodsi, and Moradi, Razieh, and Lashgari Negar, and Kruger, Hendrick, G. Metal-Free Synthetic Organic Dyes. Elsevier, 2018.

297

Pigments

298

Often used for food coloring or to dye clothing

299

Pandikumar, A. and Rameshkumar, Perumal. Nanostructured, Functional, and Flexible Materials for Energy Conversions and Storage Systems. Elsevier, 2020.

300

Richard Brito (Author), Vitor Cardoso (Author, Contributor), Paolo Pani (Author, Contributor.) Superradiance: New Frontiers in Black Hole Physics. Springer, 2020.

301

Put on a sponge in the inner surface of a semiconductor material (that's very good at transport of electrons)

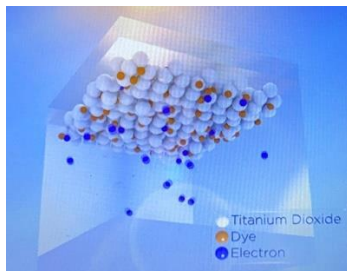
302

The huge surface area of a transparent sponge is infiltrated with pigments

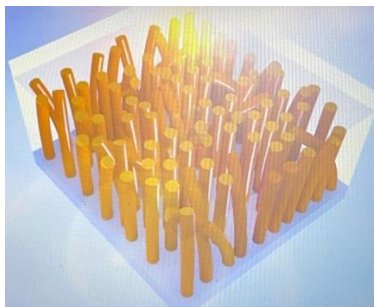
303

Every dye pigment, is directly and immediately coupled with (and in immediate proximity of) an electron acceptor

چنین خلایقیتی در ارتباط با، و متکی بر، همان سلول‌های خورشیدی ارگانیک³⁰⁴ می‌باشد که (اگر بخاطر داشته باشید) مواد آنها در هم تداخل‌گری³⁰⁵ داشتند. در هر دو مورد، ما با روش‌هایی علمی و سخت‌افزاری فنی، از ظرفیت‌مان در مهندسی نانومواد بهره می‌گیریم تا سطح‌تماس آنها را برای تأثیراتی سودمند، افزایش دهیم. در این مورد مشخص، هدف ما از سویی بدست آوردن میزان جذبی³⁰⁶ بالا³⁰⁷، و از دیگر سو تضمین جفت و اتصال هر گیرنده‌ی الکترونی³⁰⁸ با هر ملکول رنگ‌مایه³⁰⁹ است³¹⁰.



البته و در واقع شیوه‌ی دیگری هم در دنیای نانو برای چنین ابزارهایی داریم. در شیوه‌ی نخست، همانگونه که نوشتیم، پوسته‌ای کروی و اسفنجی را در درون کره‌ای دیگر بسته‌بندی کرده³¹¹ و به آن رنگ‌مایه‌ای متصل می‌کنیم³¹². در پژوهش‌های اخیر، فن‌آوران ردیفی از انگشتانی نانویی (بجای نانوسیم‌ها) می‌سازند و رنگ‌مایه بر آنها قرار داده و متصل می‌شود.



³⁰⁴

Ding, Liming. Organic Solar Cells: Materials Design, Technology and Commercialization. Wiley-VCH, 2022.

³⁰⁵

Interpenetration

³⁰⁶

Kawamata, Jun. Two-Photon Absorption Materials: Science and Application. Jenny Stanford Publishing, 2022.

³⁰⁷

High absorption

³⁰⁸

Goodnick, Stephen, M. and Krokin, Anatoli, and Nemanich, Robert. Semiconductor Nanotechnology: Advances in Information and Energy Processing and Storage. Springer, 2018.

³⁰⁹

Ensure that every one of our dye pigment molecules is coupled to an electron acceptor

³¹⁰

Choy, Wallace, C. H. Organic solar Cells: Materials and Device Physics. Springer, 2013.

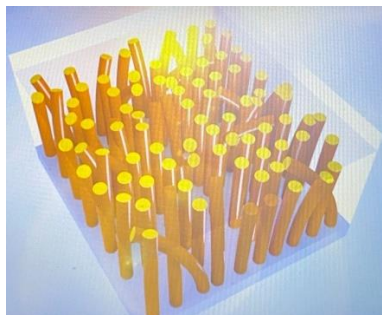
³¹¹

Tunc, I. Charging Properties of Metal @ Dielectric Core Shell Nanoparticles. LAP Lambert Academic Publishing, 2020.

³¹²

Rao, C. N. R. and Govindaraj, A. and Panchakarla, Leela Srinivas. Nanotubes and Nanowires. Royal Society of Chemistry, 2021.

یعنی بجای روش بسیار دشوار ترابری، با قراردعی و اتصال دو کره (که یکی از آنها اسفنجی است) در درون یکدیگر، با بکارگیری شیوهی دوم³¹³ و ردیف انگشتان، نقطه‌ی تماس‌هایی³¹⁴ بهتر حاصل می‌شود. در روش دوم استخراج الکترون‌هایی که درون رنگمایه تولید می‌شوند، ساده‌تر است³¹⁵ و انتقال مستقیم آنها از ابزار هم کارآتر³¹⁶ صورت می‌پذیرد³¹⁷. برای تشبیه، مانند فرستادن الکترون‌ها از درون تونلی آسانسوری (بالابر) که حداکثر راندمان استخراج الکترونی را برآورده‌کنند³¹⁸.



بسیاری از فن‌آوری‌های هیجان‌انگیزی که تاکنون معرفی کردم، هم‌اکنون به شکلی تجارتي به بازار معرفی شده‌اند. برای نمونه، ما امروزه از خواص فیزیکی موادی منعطف³¹⁹ در سلول‌های خورشیدی³²⁰، برای کاربردهای تجاری³²¹ بهره می‌گیریم³²². در بسیاری موارد هم، امروزه از تنها نصب آنها بر پشت‌بام‌ها و یا درهم‌کردن آن مواد با دیگر مواد سازنده فراتر رفته‌ایم. بسیاری از آن کالاها، از قبیل کوله‌پشتی‌هایی خورشیدی، موبایل‌ها یا تبلت‌هایی خودشارژ‌شونده³²³،

³¹³

Schaepers, Thomas. Superconductor/ Semiconductor Junctions. Springer, 2001.

³¹⁴

Better contact points

³¹⁵

Zang, Ling. Energy Efficiency and Renewable Energy Through Nanotechnology. Springer, 2011.

³¹⁶

More efficient direct transmission

³¹⁷

Luo, Fang Lin, and Ye, Hong. Advanced DC/ AC Inverters: Applications in Renewable Energy. CRC Press, 2016.

³¹⁸

Ohtsu, Motoichi. Optical and electronic Process of Nano-Matters. Springer, 2013.

³¹⁹

Properties of physically flexible materials

³²⁰

Armaroli, Nicola, and Balzani, Vincenzo, and Serpone, Nick. Powering Planet Earth: Energy Solutions for the Future. Wiley – VCH, 2012.

³²¹

Commercial applications

³²²

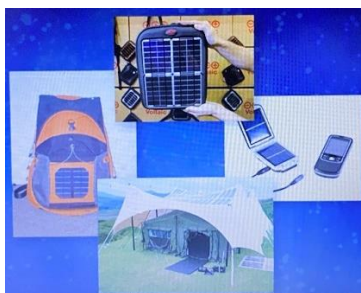
Pagliaro, Mario, and Palmisano, Giovanni, and Ciriminna, Rosaria. Flexible Solar Cells. Wiley – VCH, 2008.

³²³

Self-charging mobile phones or tablet devices



و یا چادرهای مجهز به برداشت‌کننده‌های انرژی³²⁴،



امروزه در دسترس هستند³²⁵. همه‌ی چنین موفقیت‌هایی، بدلیل پیشرفت‌های سخت‌افزاری جهشی در فن‌آوری نانو³²⁶ است که بما امکان برداشت انرژی خورشیدی و تبدیل آن به کاربردهای برقی انرژی را داده‌است³²⁷.
وقت و روزگار خوش. دانا و توانا باشید.
ر. رخشانی³²⁸

³²⁴

Tents equipped with energy harvesting devices

³²⁵

Kim, Hee-Je. Solar Power and Energy Storage Systems. Jenny Stanford Publishing, 2019.

³²⁶

Breakthrough hardware advances in nanotechnology

³²⁷

Wade, J., and Castrillon, Melissa. Nano: The Spectacular Science of the Very (Very) Small. Candlewick, 2021.

³²⁸

برای دسترسی به مقاله بشکل پی دی اف و همچنین به فایل صوتی، از "کیو آر کد" زیر با موبایل عکس گرفته و مستقیم به کانال تلگرام بروید

