


나노패턴 응용 태양전지 연구동향 II

나노패턴 응용 태양전지 연구동향의 전반적인 소개글에 이어서 발표자료를 중심으로 구체적인 연구동향을 사례별로 소개하고자 한다.

1. 나노패턴의 필요성 (광전효율향상/저중량,저가)

Research Motivation – Nano Solar Cell

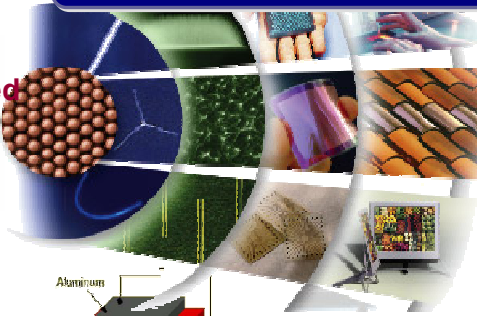


광전 효율 증가

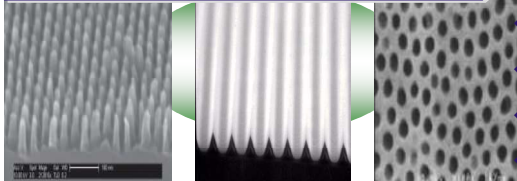
저중량, 저가

Market: 2.4B\$(2006), 3.0B\$(2008)
(NT Market Evaluation, BBC)

Nano-Structured Solar Cell



Why Nano ? / Where Nano ?



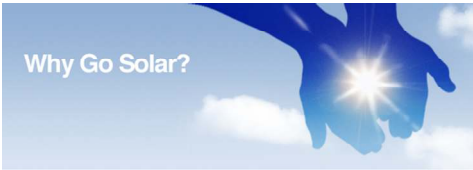
Aluminum
F
TO
Plastic foil
NanoStructured Semiconductor

- ❖ Better Light Trapping Features
- ❖ Large Electrical Contact Area
- ❖ Increased Carrier Collection Efficiency
- ❖ Nanocrystal / Nanoparticle Structure.

나노패턴의 필요성은 유기태양전지뿐만 아니라 실리콘 태양전지/염료감응/연료전지등 다양한 분야에서 응용이 가능함.


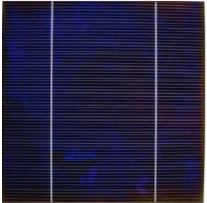
미츠비시 전기 주식회사는 실용적인 150mm² 사이즈의 다결정 실리콘 태양전지 셀에 대하여, 동사가 작년에 달성한 세계 최고의 광전 변환 효율 18.6%를 0.3포인트 상회하는 **18.9%**를 달성해 세계 최고 효율을 2년 연속으로 갱신했다. 초저반사 표면 구조 (하니컴 재질) 적용

Solar Cell

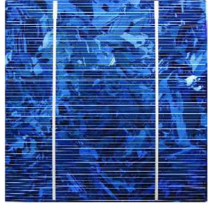


Why Go Solar?

Poly silicon Solar cell using Low-reflective honeycomb-textured structure

Newly developed PV cell
(Lower reflection and crystal grains can hardly be seen.)



Current PV cell
(Higher reflection and crystal grains can clearly be seen.)

18.9% 2009-02-18

Issue ?

- Production Cost
- Abundance of natural resources

New materials is needed for solar cell

실리콘 태양전지도 나노 패턴을 잘 활용하면 효율 향상 효과를 가져올 수 있음.
사진은 2009.02.18일에 Mitsubishi 전자에서 폴리실리콘 태양전지 효율 18.9% 를 위해서 저반사 벌집구조의 패턴을 활용한 사례.

2. 태양전지 및 유기태양전지 효율 비교

- 화합물 반도체: 효율이 가장 높지만 가격 및 대량생산 문제점 효율 20%이상
- 단결정 실리콘: 고효율(20%이상), 고가의 재료비 문제점
- 폴리실리콘: 가격 대비 효율면에서 우수 (대량생산에 유리)
- CIGS: 효율 10%후반, 환경/유독성 문제
- 염료감응: 효율 10% 초반, 모듈 효율 10% 이상 향상 필요.
- 유기태양전지: 셀효율 6%, 효율면에서 가장 떨어짐, 대량 생산면에서 유리

Solar cell

Table I. Confirmed terrestrial cell and submodule efficiencies measured under the global AM1.5 spectrum (1000 W/m²) at 25°C

Classification*	Effic. [†] (%)	Area [‡] (cm ²)	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF [§] (%)	Test centre (and date)	Description
Silicon							
Si (crystalline)	24.7 ± 0.5	4.00 (da)	0.706	42.2	82.8	Sandia (3/99)	UNSW PERL ¹⁰
Si (multicrystalline [¶])	20.3 ± 0.5	1.002 (ap)	0.664	37.7	80.9	NREL (5/04)	FhG-ISE ¹¹
Si (thin-film transfer)	16.6 ± 0.4	4.017 (ap)	0.645	32.8	78.2	FhG-ISE (7/01)	U. Stuttgart (45 μm thick) ¹²
Si (thin-film submodule)	10.4 ± 0.3	94.0 (ap)	0.492 [§]	29.5 [§]	72.1	FhG-ISE (8/07)	CSG Solar (1–2 μm on glass; 20 cells) ¹³
III–V cells							
GaAs (crystalline)	25.9 ± 0.8	0.998 (ap)	1.038	29.4	84.7	FhG-ISE (12/07)	Radboud U. Nijmegen⁵
GaAs (thin film)	24.5 ± 0.5	1.002 (t)	1.029	28.8	82.5	FhG-ISE (5/05)	Radboud U. Nijmegen ⁵
GaAs (multicrystalline)	18.2 ± 0.5	4.011 (t)	0.994	23.0	79.7	NREL (11/95)	RTI, Ge substrate ¹⁴
InP (crystalline)	21.9 ± 0.7	4.02 (t)	0.878	29.3	85.4	NREL (4/90)	Spire, epitaxial ¹⁵
Thin-film chalcogenide							
CIGS (cell)	19.2 ± 0.6[¶]	0.994(ap)	0.716	33.3	80.3	NREL (1/08)	NREL, CIGS on glass⁶
CIGS (submodule)	16.6 ± 0.4	16.0 (ap)	0.661 [§]	33.4 [§]	75.1	FhG-ISE (3/00)	U. Uppsala, four serial cells ¹⁶
CdTe (cell)	16.5 ± 0.5 [¶]	1.032 (ap)	0.845	25.9	75.5	NREL (9/01)	NREL, mesa on glass ¹⁷
Amorphous/nanocrystalline Si							
Si (amorphous)**	9.5 ± 0.3	1.070 (ap)	0.859	17.5	63.0	NREL (4/03)	U. Neuchatel ¹⁸
Si (nanocrystalline)	10.1 ± 0.2	1.199 (ap)	0.539	24.4	76.6	JQA (12/97)	Kaneka (2 μm on glass) ¹⁹
Photochemical							
Dye sensitised ^{††}	10.4 ± 0.3	1.004(ap)	0.729	21.8	65.2	AIST (8/05)	Sharp ²⁰
Dye sensitised (submodule)^{†††}	8.2 ± 0.3	25.45 (ap)	0.703[§]	19.0[§]	61.2	AIST (12/07)	Sharp, nine serial cells⁷
Dye sensitised (submodule)^{†††}	8.2 ± 0.3	18.50 (ap)	0.659[§]	19.8[§]	62.9	AIST (6/08)	Sony, eight serial cells⁸
Organic							
Organic polymer ^{††}	5.15 ± 0.3	1.021(ap)	0.876	9.40	62.5	NREL(12/06)	Konarka ²¹
Organic (submodule)^{†††}	1.1 ± 0.3	232.8 (ap)	29.3	0.072	51.2	NREL (3/08)	Plextronics (P3HT/PCBM)⁹
Multijunction devices							
GaInP/GaAs/Ge	32.0 ± 1.5	3.989(t)	2.622	14.37	85.0	NREL (1/03)	Spectrolab (monolithic)
GaInP/GaAs	30.3	4.0 (t)	2.488	14.22	85.6	JQA (4/96)	Japan Energy (monolithic) ²²
GaAs/CIS (thin film)	25.8 ± 1.3	4.00 (t)	—	—	—	NREL (11/89)	Kopin/Boeing (4-terminal) ²³
a-Si/μc-Si (thin submodule) ^{†††}	11.7 ± 0.4	14.23(ap)	5.462	2.99	71.3	AIST (9/04)	Kaneka (thin film) ²⁴



History of OSC

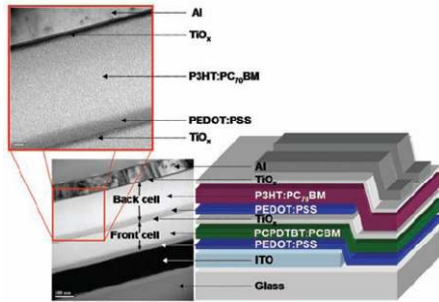
1. 2003 – P3HT:PCBM(1:4), $\eta=0.2\%$, J.C. Hummelen *et al*, *Synthetic Metal*, 2003, 138, 299
2. 2003 – P3HT:PCBM (1:1), $\eta=3.5\%$, F. Padingger *et al*, *Adv. Funct. Mater.*, 2003, 13, 85
3. 2004 – P3HT:PCBM (1:1), $\eta=5\%$, Christoph J. Brabec (SIEMENS)
4. 2005 – P3HT:PCBM (1:0.6), $\eta=5.2\%$, Marisol Reyes-Reyes *et al*, *Org. Lett.*, 2005, 7, 5749
5. 2005 – P3HT:PCBM (1:2), $\eta=4.4\%$, Y. Yang *et al*, *Nature Mater.*, 2005, 4, 864,
6. 2005 – P3HT:PCBM (1:0.8), $\eta=4.9\%$, K. Kim *et al*, *App. Phys. Lett.*, 2005, 87
7. 2006 – P3HT:PCBM (1:1), $\eta=4.4\%$, Youngkyoo Kim *et al*, *Nature Mater.*, 2006, 5, 197
8. 2006 – P3HT:PCBM (1:1), $\eta=5\%$, P. Schilinsky *et al*, *Adv. Funct. Mater.*, 2006, 16, 1669
9. 2006 – P3HT:PCBM (1:0.8), $\eta=5\%$, K. Lee *et al*, *Adv. Mater.*, 2006, 18, 572
10. 2007 – PCPDTBT:PC71BM (1:2), $\eta=5.5\%$, G.C. Bazan *et al*, *Nature Mater.*, 2007, 6, 1
11. 2009 – new polymer, $\eta=5.5\%$, <http://www.toray.co.jp> (2009.03.23)

Cf). 2007 – P3HT:PCBM (1:0.8)/PCPDTBT:PC71BM, $\eta>6\%$, TiOx optical spacer, Tandem, K. Lee *et al*, *Science*, 2007, 317, 222



Tandem OSC

Tandem Polymer Solar Cells



Efficiency = 6.5%.

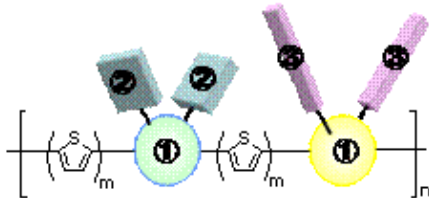
The TiOx layer serves as an electron transport and collecting layer

Kwanghee Lee & Alan J. Heeger, Science 2007



유기태양전지 6.5% 효율 태양전지 (GIST 이광희 교수 & Heeger 교수) Tandem cell 이용

新規ポリマー系ドナーの構造



①アクセプターとのエネルギー差を高める骨格
→高いVocの実現

②③バルクヘテロ構造に適した置換基
→JscとVocの両立を実現

図1 新規ポリマー系ドナーの設計コンセプト

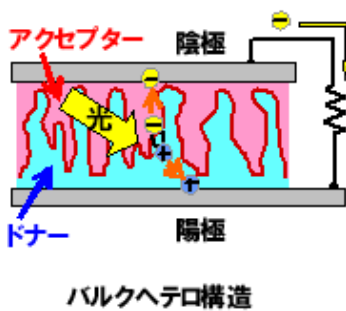


図2 発電層の構造

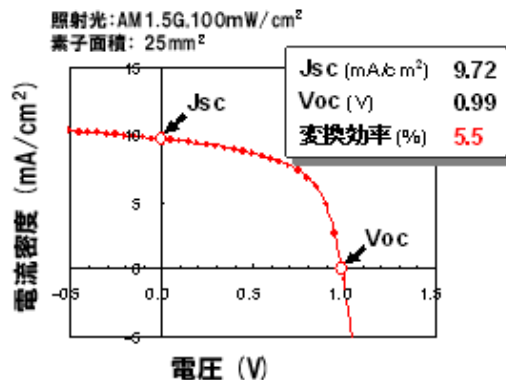


図3 開発した有機薄膜太陽電池の性能

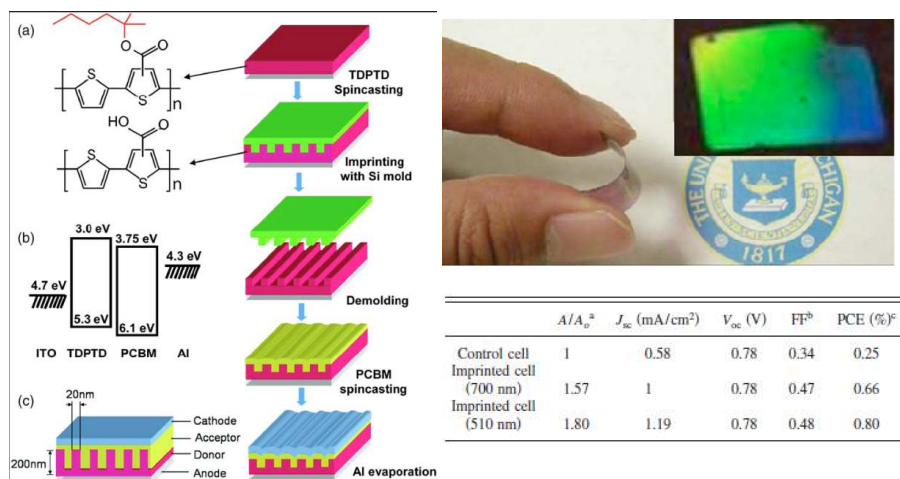
2009 - new polymer, $\eta=5.5\%$, <http://www.toray.co.jp> (2009.03.23)

<일본 도레이주식회사에서 단일셀로는 세계 최고의 효율 달성 (새로운 물질 합성)>

트레이는 독자적인 폴리머 설계 기술과 유기 합성 기술을 구사해 유기 박막 태양전지의 변환 효율 향상의 핵심이 되는 폴리머계 도너 재료를 새롭게 개발했다고 발표함. 본 도너 재료는 폴리머 골격에 엑셉터 재료와의 에너지 차이를 높이는 구조를 도입해 약 1V 높은 개방 전압(V_{oc} : Open-Circuit Voltage)을 실현. 최적의 발전층 구조의 형성을 가능하게 하는 치환기를 도입해 합선 전류(J_{sc} : Short-Circuit Current)를 전압과 함께 높은 수준으로 만족시키는 데 성공. 이것에 의해 유기 박막 태양전지에서는 세계 최고 수준의 변환 효율인 5.5%를 달성. 실용 내구성에 영향을 주는 산화에 대해서 안정적인 분자 구조를 도입해 대기 중에서의 장기간 보존에도 높은 성능을 유지.

3. 나노패턴 응용 유기 태양전지 연구동향

3.2.Organic Nanopattern



M.S. Kim et al. APL 90, 123113, 2007
(Power conversion efficiency: 0.8 %)

2007년 미시간 대학의 김진상 교수와 Guo 교수팀이 임프린트기술을 이용하여 수백 나노패턴을 가지는 유기태양전지를 제작 보고함. 문제점은 효율이 낮다는 점인데 구조적인 면에서 이상적인 구조가 아니고, 활성층 물질을 P3HT대신 TDPTD를 사용해 효율이 낮음 (용해도 문제 해결이 필요함)

다음 회에는 나노패턴응용 유기태양전지 연구동향을 활성층 패터닝 논문중심으로 좀 더 자세히 살펴보고자 한다. ¹

¹ 작성자: 최대근 (한국기계연구원 나노공정장비 연구실), 문의: lamcdg@kimm.re.kr (042-868-7846)