

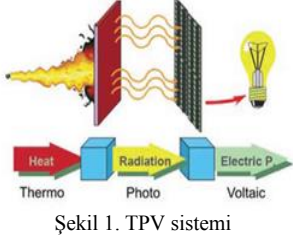
GAZİ ÜNİVERSİTESİ TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ

GİRİŞ

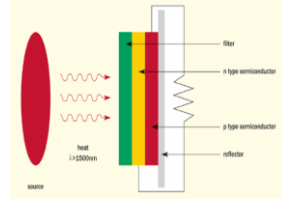
Kombiler hem binaların ısıtılması hem de ihtiyaç duyulan sıcak su teminini sağlayan cihazlardır. Kombiler farklı ısı gücünde tasarlanmaktadır. Ürettiği sıcak suyun bina içerisinde sirkülasyonu ve sıcak su gerektiren mahallere suyun taşınması için ortalama olarak 150W enerjiye gereksinim duyarlar. Özellikle kırsal ve şebeke problemi olan bölgelerde elektriğin sık sık kesilmesi hem ısıtma ihtiyacında hem de sıcak su temininde konforun aksamasına neden olmaktadır. Ülkemizde yıllık kombi satışı 1 Milyon civarındadır. Bu proje ile kombilerin yanma odasında sıcak su teminin sağlandığı yanma odası duvarlarındaki ısıtım radyasyonu ile Termofotovoltaik (TPV) sistem vasıtasıyla elektrik sağlanacaktır. Böylelikle hem sıcak su temini hem de sistem için gerekli 150W elektrik enerjisi üreten KESİNTİSİZ bir kombi tasarımı gerçekleştirilecektir.

TERMO FOTOVOLTAİK (TPV) SİSTEM

TPV sistemleri statik enerji dönüştürücüleridir. Kızılötesi siyah cisim ışımasını (termal enerji) elektrığe dönüştürürler. TPV sistemleri, düşük enerji bant aralığı ve TPV diyotunun aktif bölgesi ile yayıcı arasındaki daha yakın mesafeden dolayı daha yüksek verimlilik ve daha yüksek çıktı enerji yoğunluğu sağlamaktadır. Fotovoltaik (PV) cihazlarının gözle görülebilir ışığı (güneş enerjisi) elektrığe dönüştürmesiyle aynı şekilde çalışırlar. TPV sistemleri ısı enerjisini ışık enerjisine çevirerek fotovoltaik sistemlerle elektrik üreten dönüştürücüdür (Şekil 1). Tipik bir TPV cihazı dört ana bileşenden oluşur. Bunlar, Şekil 1'de görülebileceği üzere, bir termal enerji kaynağı ile ısıtılan bir yayıcı, spektral kontrol için radyatör veya filtre, toplayıcı (PV diyotu) ve reflektördür (Şekil 2).

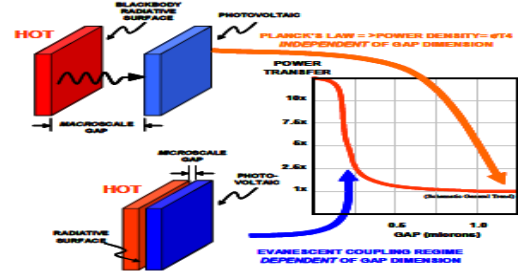
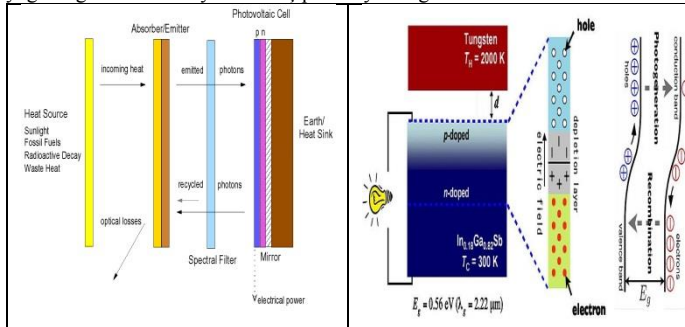


Şekil 1. TPV sistemi



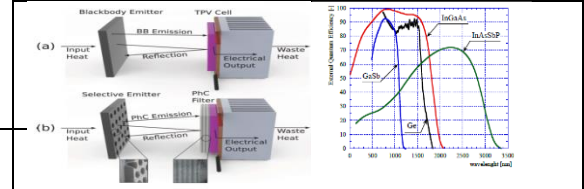
Şekil 2. TPV çalışma sistemi

TPV sistemlerinde, ışıma ve PV hücre foto-duyarlık spektrasında daha iyi eşleşme sayesinde verimlilik artışı sağlayan, seçici yayıcı (örneğin tungsten yapı), seçici filtreler/aynalar ve yayıcıya alt-bant boşluk foton yansıtması için arka yüzey reflektörler kullanılmaktadır. Bir PV hücresinde seçici yayıcının arka yüzey reflektör ile birleştirilmesi spektral kontrolün kalitesine son derece bağlı olan daha fazla genel TPV verimliliği sağlayan bir spektral kontrol yöntemidir. Spektral kontrol olmadan, TPV enerji dönüşümü son derece azalır. Verimlilik için PV yayıcısının başka bir parametresi de TPV diyotuna olan mesafesidir. Uzak alan TPV'de, ışıma ısı transferi vakumdaki hallerin yoğunluğu σT^4 limiti ile sınırlıdır. Bu ifade σ : Stefan-Boltzmann sabiti ve T Kelvin sıcaklığıdır. Ancak, yayıcı ile TPV diyotu arasında mikro ölçekli bir boşluğa sahip bir TPV için, mikron-altı boşluğu sıcak radyatördeki enerjinin TPV diyotuna direk olarak doğrudan ışımasına (tünel geçişi) olanak sağlar ve arada bulunabilecek n indeksindeki bir dielektrik için daha yüksek bir $n^2 \sigma T^4$ limiti ile sonuçlanır. Bu nedenle, sıcak radyatörden TPV diyotuna ışıma ısı transferi önemli düzeyde artabilir (bakınız Şek. 3) ve bu durum elektrik enerjisi yoğunluğunda daha büyük kazanç potansiyeli sağlar.



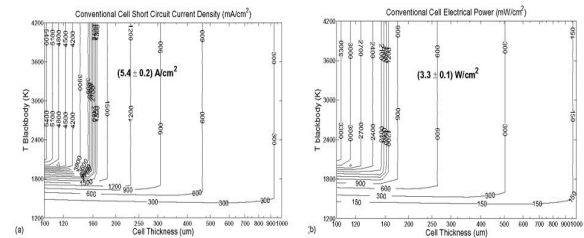
Şekil 3. Yayıcı yüzey ile TPV diyotu arasında mikro ölçekli boşluğa sahip bir sistem elektrik enerjisi yoğunluğunda daha büyük kazanç potansiyeline sahiptir.

Termal ışımadan dolayı fotonların düşük enerji bant aralıklı PV maddesi üzerinden elektron-boşluk çiftlerine dönüştürülmesiyle yapılır ve bu elektron-boşluk çiftleri akım üretir. Cihaz, bir soğurucu veya ısı kaynağı ile yeniden salınan sekonder termal ışıma elektrığe dönüştürür ki 3550 °C ile 800 °C üzeri sıcaklıklar, TPV teknolojisi kullanarak geri dönüşüm için yeterli ısı üretebilir. Bu sıcaklıklarda bulunan yüzeylerde kızılötesi ışıma ($\lambda > 1500$ nm) TPV duyarlıdır. TPV cihazları, çok geniş sıcaklık aralıklarını kapsayan tek tip veya çeşitli farklı tiplerde yarı iletken içerebilen 0.75 eV'dan az enerji bant aralığına sahip diyotlara dayanmakta olup, sekonder ışıma dalga boyunda maksimum verimlilik için tasarlanmıştır. Bu nedenle, TPV araştırmalarının çoğunluğu, tümü direk enerji bant aralıklı yapıdaki yarı iletkenler olan galyum antimonit, GaSb, indiyum galyum arsenit, InGaAs, indiyum galyum arsenik antimonit, InGaAsSb ve indiyum arsenik antimonit fosfor, InAsSbP gibi yarı iletkenlere odaklanmıştır.

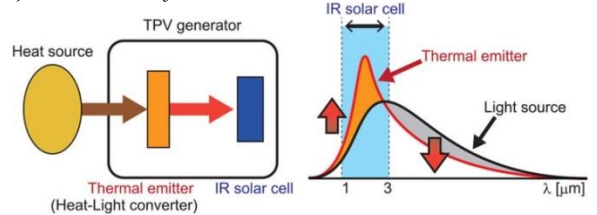


Şekil 4. Fotonik kristaller ile spektral şekillendirme yöntemi

Kombi yanma odası yaklaşık 0.1m² olup yaklaşık 150W bir enerjiye gereksinim duymaktadır. Bu enerjinin 80W'ı sirkülasyon pompası içindir. Şekil 5 de görülebileceği üzere mevcut alanda bu enerjiyi TPV teknolojisi ile üretme potansiyeli yüksektir.



Şekil 5. TPV enerji üretimi



Solar & Alternative Energy

Sliver cells challenge conventional silicon solar cells

Niraj Lal and Andrew Blakers

In thermophotovoltaic systems, novel thin photovoltaic cells, are limited by carrier-transport resistance but operate comparably to conventional cells within practical parameters.

27 April 2009, SPIE Newsroom. DOI: 10.1117/2.1200904.1593



Thermophotovoltaic (TPV) systems are direct-conversion heat engines that use photovoltaic cells to generate electricity from the radiant energy emitted by a heated object.^{1,2} In typical TPV systems, the object is heated to temperatures of 1300–2000K. Concentrated sunlight or various other sources can provide this heat, enabling silent, portable, and durable electricity generation. The surrounding photovoltaic cells collect the radiation from the emitter. Photons not absorbed by the cells are reflected back to the emitter by a mirror, thus conserving emitter energy (see Figure 1).

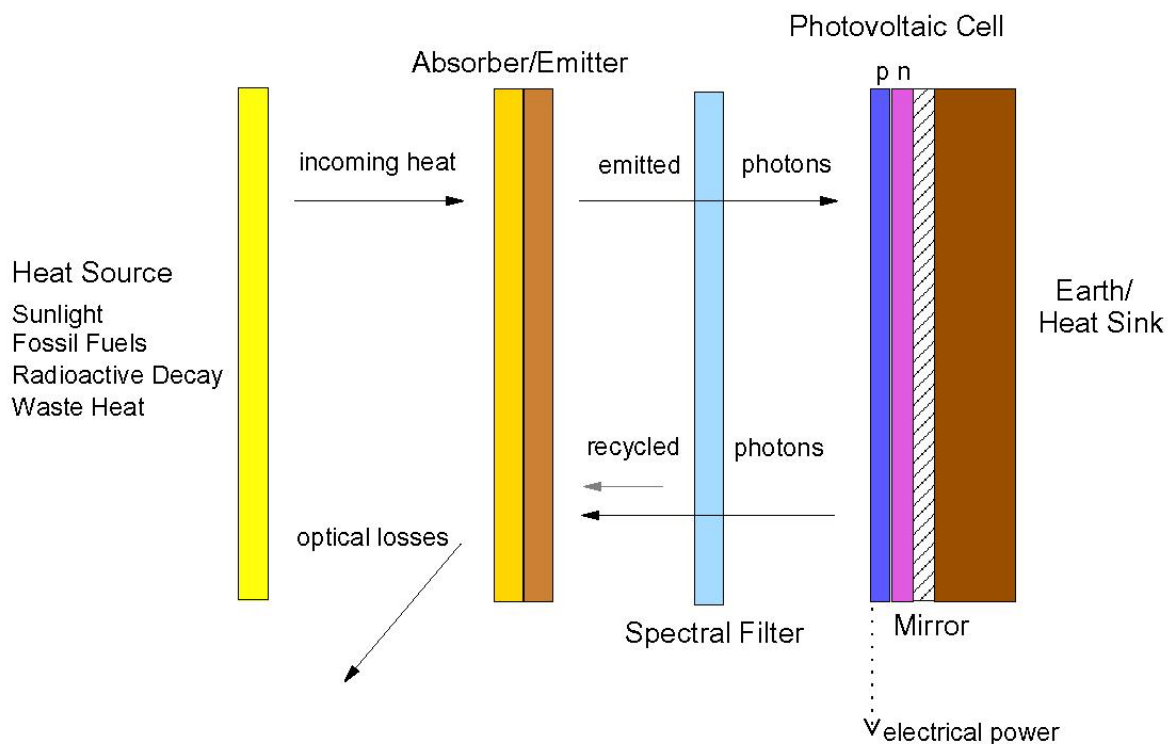


Figure 1. Schematic diagram of a thermophotovoltaic (TPV) system.

The main limiting factors of TPV systems are spectral filtering, cell-conversion efficiency, adequate systems modelling, and thermal management,^{3,4} as well as access to suitable, low-cost, efficient solar cells. Silicon solar cells have low cost and high efficiency, but a higher-than-optimum band gap (1.1eV). An early theoretical study by Swanson⁵ indicated that the optimal thickness for silicon cells in TPV systems was ~25 μm . Sliver technology is a novel method of fabricating highly efficient (>20%) thin silicon solar cells.^{6,7} Here, we model the application of silicon sliver cells in TPV systems and compare their performance with conventional silicon back-contact cells.⁸

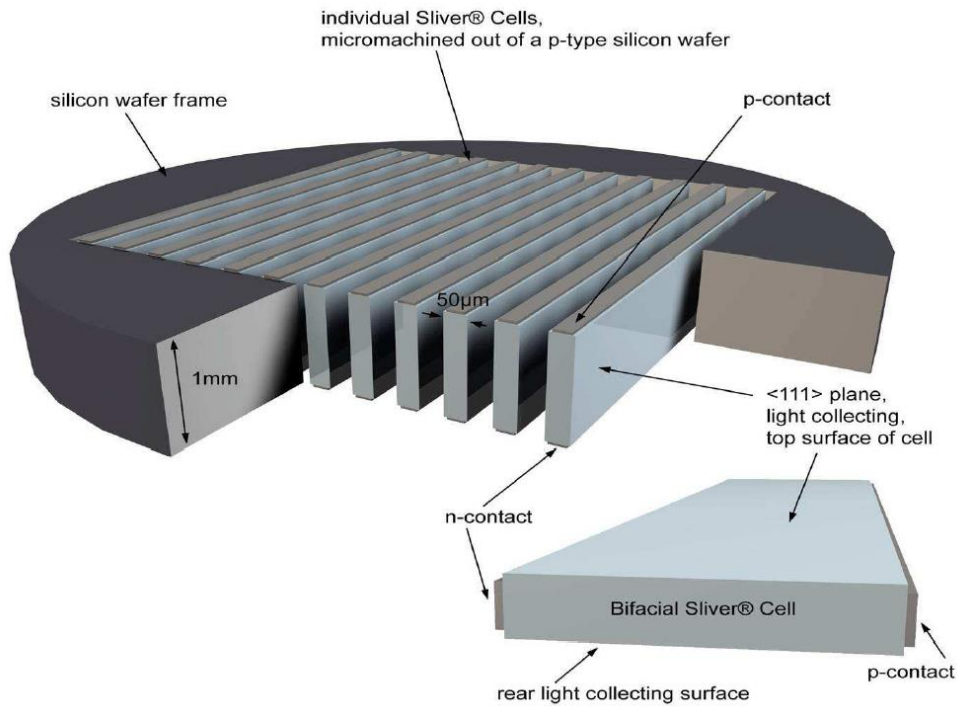


Figure 2. Diagram of sliver-cell fabrication.²

Sliver cells are processed within the wafer and subsequently extracted to form many individual cells (see Figure 2).² The cells are flexible, bifacial, and thin, generally between 20 and 100µm. When used in TPV systems, the geometry of sliver cells allows for high rates of absorption and photon recycling, direct heat sinking, and low circuit-resistive losses through submodule interconnection. Sliver cells have contacts on their edges, which appear to be of considerable importance for operation at high illumination densities, including in TPV systems.²

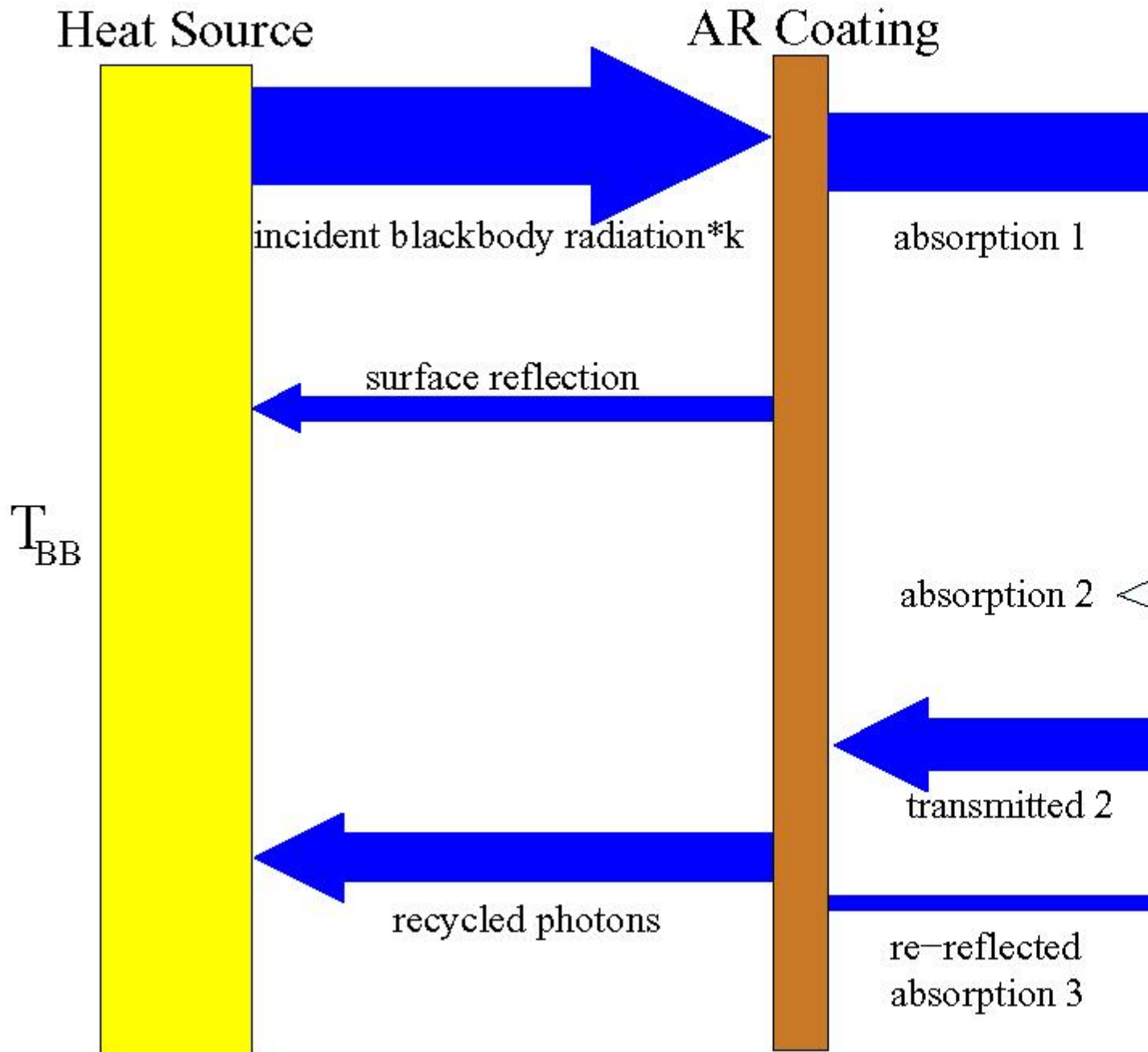


Figure 3. Schematic diagram of the TPV computational model. T_{BB} : Blackbody temperature, AR: Antireflective, PV: Photovoltaic.

We developed a 1D computational model to compare sliver with conventional cells in TPV systems (see Figure 3). External variables were set at excellent but achievable levels. Transport-resistance losses are significant for both conventional and sliver-cell TPV systems. The resistance of conventional cells depends linearly on cell height.⁹ In contrast, the resistive power loss for sliver cells depends inversely on the cell height and is proportional to the *square* of the cell *width*. The difference between the transport-resistance losses for the two cell types proved to be significant.

A state-of-the-art back-contact cell was analyzed in an idealized TPV system. We took the efficiency of the TPV system to be the ratio of electrical power output to the power required to keep the blackbody at a constant temperature. At a practical TPV temperature of 2000K, the modelled efficiency for the conventional silicon cells is ~27% (see Figure 4). It is also important to consider the output power density of the TPV system. Figure 5 shows that the primary advantage for thin conventional cells is due to their decreased resistance and not to lower levels of free-carrier absorption. This was contrary to our initial expectations.

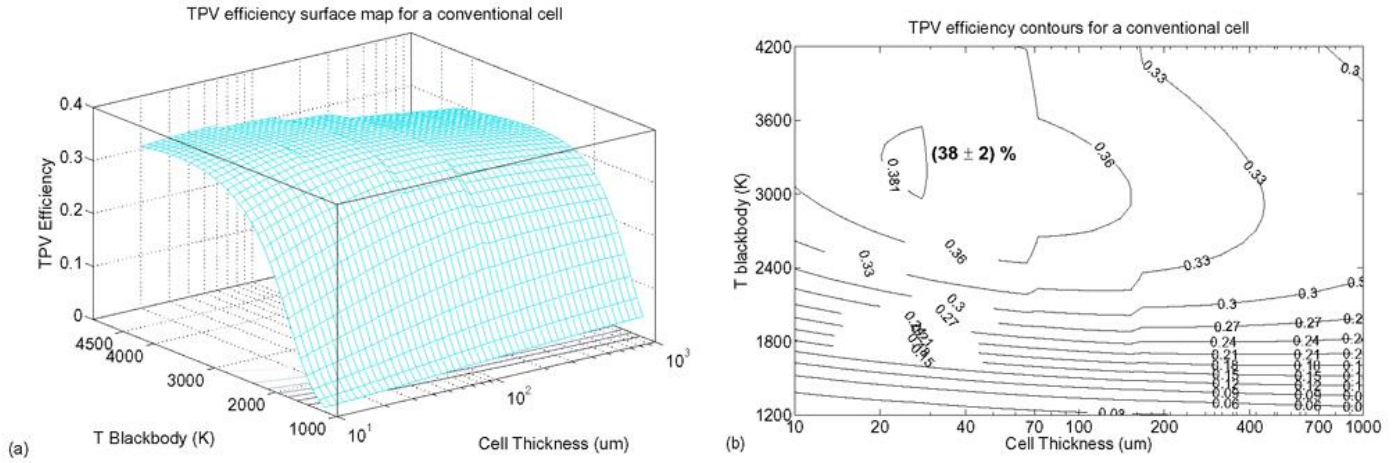


Figure 4. Conventional-cell efficiency surface (a) and contour map (b). Conventional silicon cells exhibit a broad maximum for low cell thicknesses and relatively high blackbody temperatures.

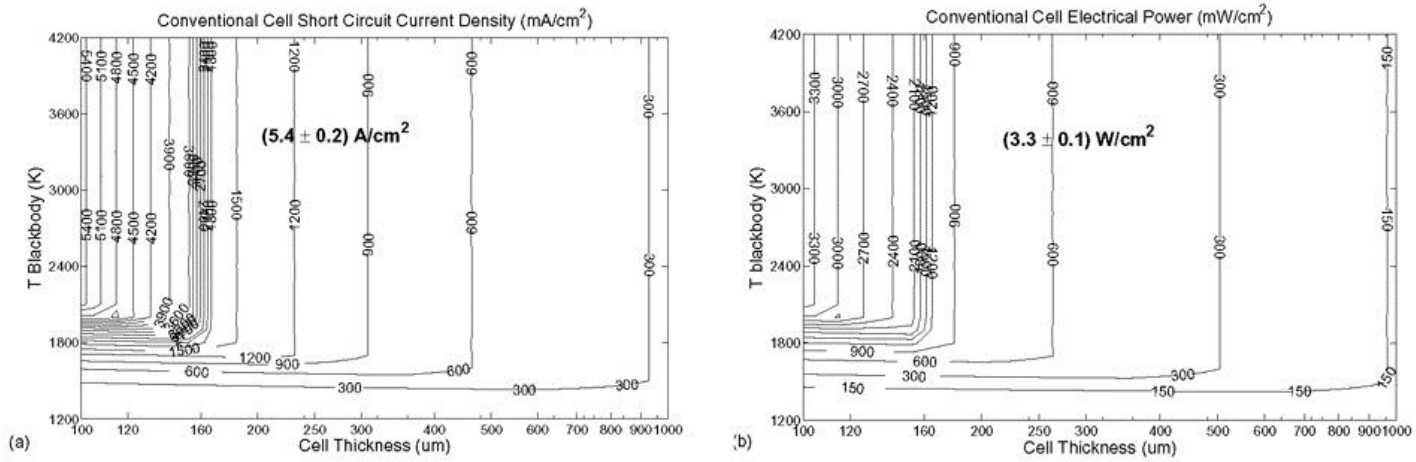


Figure 5. Conventional thin cells yield high output power densities.

We performed a similar analysis for sliver cells. We found a broad efficiency maximum for high blackbody temperatures and *large* cell thicknesses (see Figure 6). Sliver-cell relative maximum efficiencies were $\sim 85\%$ of those achieved by conventional cells, but comparable at practical emitter temperatures. Figure 7 shows that electrical output densities for the optimum cell design are a factor of five *lower* than for conventional cells. This is caused by transport-resistance losses, which depend on the square of cell width, kept here at $300\mu\text{m}$. Halving sliver width, however, would result in a fourfold reduction in lateral resistive losses.

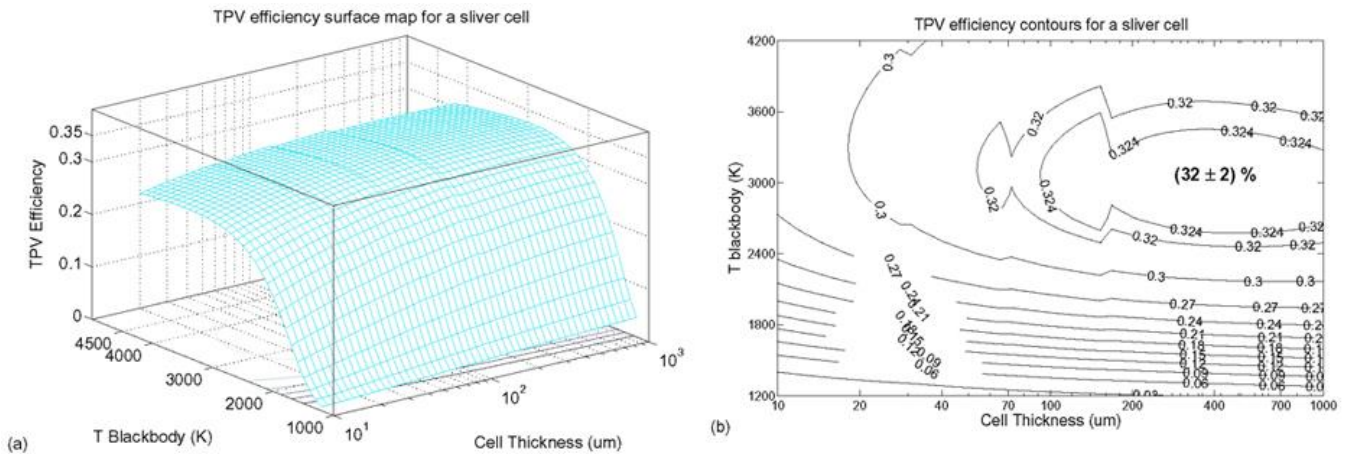


Figure 6. Sliver-cell efficiency surface (a) and contour map (b).

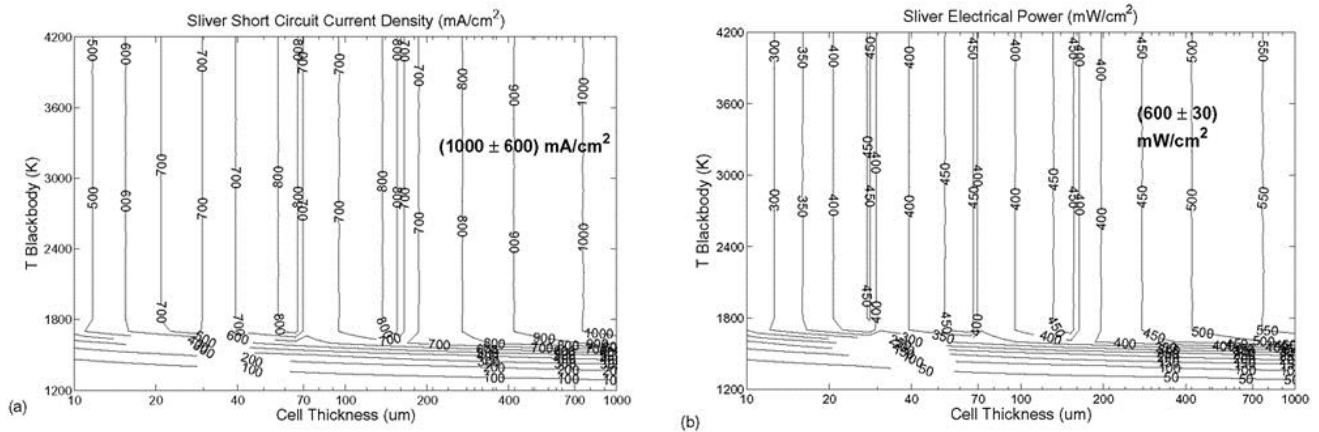


Figure 7. The relatively broad efficiency maximum is due to sliver-cell performance being limited by cell width, which is kept at $300\mu\text{m}$.

Within the range of parameters examined, we found that sliver cells do not offer an efficiency advantage over well-designed conventional cells in TPV systems. However, the practical considerations of heat-sinking, submodule resistances, and metal contact area at high incident power densities are likely to favor sliver-cell geometries. Sliver-cell output power densities at high TPV-illumination intensities were strongly limited by lateral transport resistance, although reducing sliver-cell width would dramatically decrease transport-resistance losses. Our ongoing research focuses on the feasibility of using thin, narrow sliver cells in TPV systems.

Niraj Lal thanks the community at the Australian National University (ANU) Centre for Sustainable Energy Systems, in particular Evan Franklin, who provided valuable assistance with programming. He also acknowledges the support of the ANU Angus Nicholson Scholarship.

Niraj Lal

Department of Physics
Australian National University
Canberra, Australia

<http://np.phy.cam.ac.uk>

Niraj Lal graduated from the Australian National University in 2007 as the Angus Nicholson Honours Scholar, which is awarded for passion and academic excellence in science. He is currently studying for a PhD in third-generation photovoltaics as a Gates Scholar at the Nanophotonics Centre of the University of Cambridge (UK).

Andrew Blakers

Centre for Sustainable Energy Systems
Department of Engineering
Australian National University
Canberra, Australia

Andrew Blakers is a professor and the director of the Centre for Sustainable Energy Systems.

References:

1. A. DeVos, *Endoreversible Thermodynamics of Solar Energy Conversion*, Oxford Univ. Press, Oxford, 1992.
2. N. Harder, P. Wurfel, Theoretical limits of thermophotovoltaic solar energy conversion, *Semicond. Sci. Technol.* 18, no. 5, pp. S151-S157, 2003.
3. D. Martin, C. Algora, Key issues for an accurate modelling of GaSb TPV converters, *Proc. 5th Conf. TPV Gener. Electr.*, pp. 442-451, 2002.
4. T. Coutts, An overview of thermophotovoltaic generation of electricity, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 66, pp. 443-452, 2001.
5. R. M. Swanson, Silicon photovoltaic cells in thermophotovoltaic energy conversion, *Proc. Int'l Electron Devices Mtg.* 18, no. 5, pp. 70-73, 1978.

6. A. Blakers, K. Weber, Sliver cells – a complete photovoltaic solution, *Proc. IEEE 4th World PV Energy Conf.*, 2006.
7. E. Franklin, V. Everett, A. Blakers, K. Weber, Sliver solar cells: high-efficiency, low-cost PV technology, *Adv. OptoElectron.* 2007, 2007. Article ID 35383, doi:10.1155/2007/35383
8. N. Lal, A. Blakers, Sliver cells in thermophotovoltaic systems, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 93, pp. 167-175, 2009.
9. M. Green, *Solar Cells*, Prentice Hall, New Jersey, 1986.

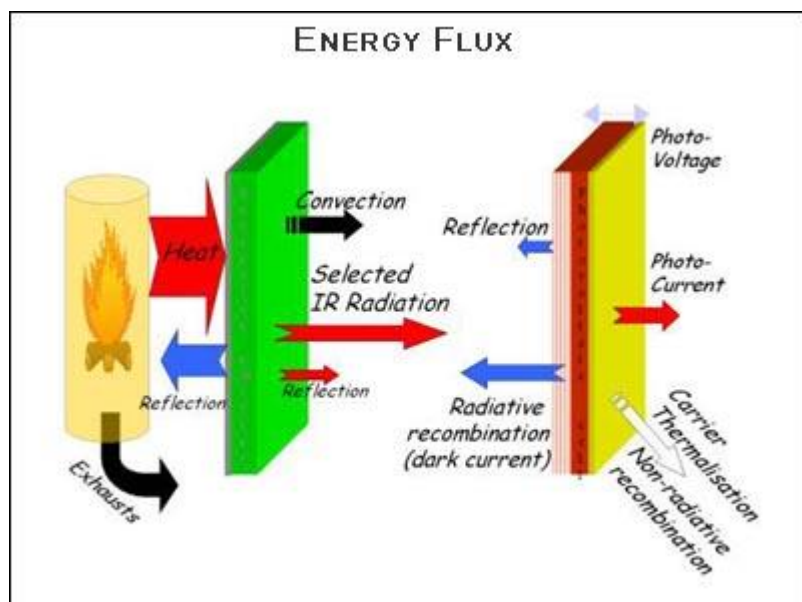
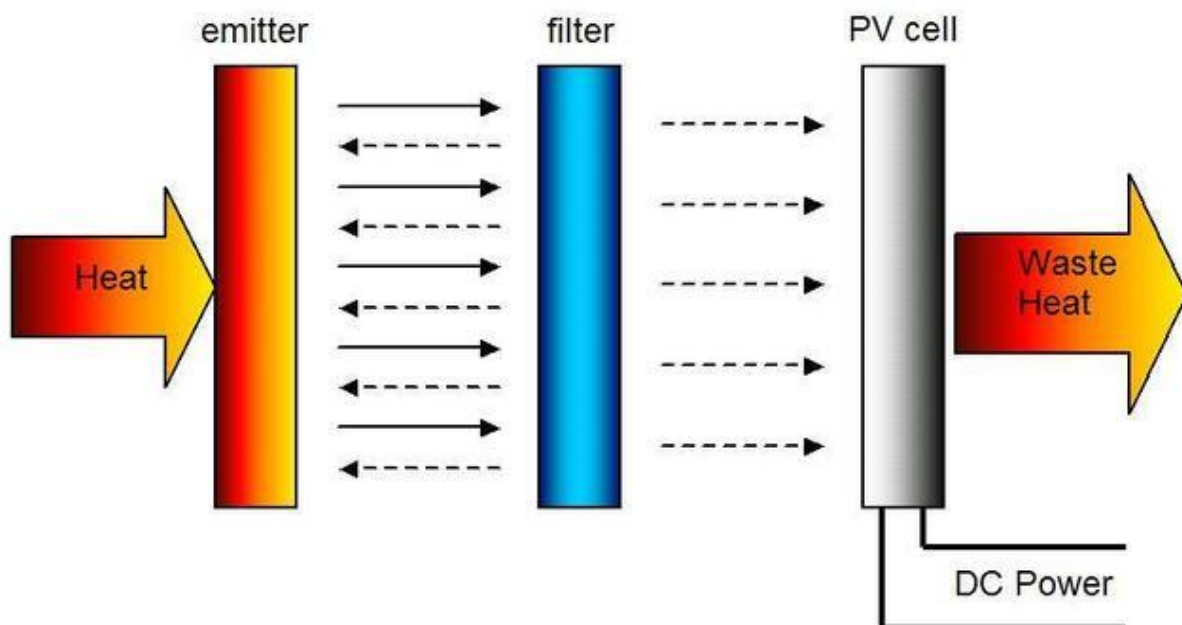


Figure 3 - Scheme of Thermo-photo-voltaic system

