

カーボンナノチューブの熱光物性と太陽エネルギー変換応用

(京大エネ研¹⁾ ○宮内 雄平¹

Thermal optical properties of carbon nanotubes and their application to solar energy conversion
(¹*Institute of Advanced Energy, Kyoto University*) ○Yuhei Miyauchi¹

Solar energy utilization technologies have been of central importance over recent years as the key to conquer the urgent social requirement for reducing CO₂ emission on a global scale. In addition to solar photovoltaics, which is a typical technology for solar energy harvesting, utilization/management technologies of solar thermal energy have also been of great interest because of their high energy conversion efficiency and relatively low cost. One of the key components in solar thermal technologies is a device with wavelength-selective absorptivity that enables highly efficient solar energy collection, called wavelength-selective absorber. When the selective absorber is used in conjunction with an ideal wavelength-selective thermal emitter that can generate thermal radiation limited to a desired near-infrared wavelength region, sunlight with a broadband spectrum can be spectrally shaped into narrow-band near-infrared light that is quite useful for various energy applications.

We will discuss our recent progress on the studies of fundamental thermal optical properties of individual single-walled carbon nanotubes (SWCNTs)¹⁾ and macroscopic membranes of single chirality-enriched²⁾ semiconducting SWCNTs toward highly efficient solar energy collection and spectral conversion. SWCNTs are ultra-thin cylindrical nanomaterials consisting of monolayer sp² carbon network, and their physical properties, including their band gaps, are determined by their diameters and chiral structures. Optical spectra of SWCNTs with semiconducting band gaps are dominated by thermally stable excitons whose resonant wavelengths in the near-infrared region are determined by the structure of SWCNTs. This unique exciton property enables an excellent steepness and tunability of the wavelength cut off when SWCNTs are used as the absorber. Moreover, recently, we found that excitons in SWCNTs are stable even at elevated temperatures more than 1500-2000 K owing to the high thermal stability of SWCNTs themselves and large binding energy of quasi one-dimensional excitons, and thermal radiation with narrow spectral bandwidth arising from thermal generation and radiative recombination of excitons is available¹⁾; this is an ideal property^{1,3)} as a material for selective emitters. The detailed optical and thermal optical properties of individual SWCNTs¹⁾ and their assembly⁴⁾ will be presented, and their potential applications in solar energy conversion will be discussed.

Keywords : Carbon Nanotube; Optical Properties; Thermal Properties; Solar Energy, Exciton

地球規模での CO₂ 排出量削減という喫緊の社会課題を克服する鍵として、近年、太陽エネルギー利用技術の重要性がますます高まっている。太陽エネルギー利用の代表的技術である太陽光発電に加えて、太陽エネルギーの熱的利用・マネジメント技術についても、エネルギー変換効率がよく比較的 low コストであることなどから、大きな関心を集めている。太陽熱利用技術のキーコンポーネントは、高効率な太陽エネルギー収集を可能にする波長選択吸収体である。また、波長選択吸収体を、所望の波長

範囲に限定した熱放射の発生が可能な理想的な波長選択熱エミッタと組み合わせて用いると、広帯域スペクトルを持つ太陽光を、様々なエネルギー利用用途に非常に有用な狭帯域近赤外光にスペクトル整形することができる。

本報告では、高効率な太陽エネルギー収集とスペクトル変換の実現に向けた、孤立単層カーボンナノチューブ(SWCNT)¹⁾、および単一カイラリティ分離²⁾半導体型SWCNT集積膜の熱光学特性研究の最近の進展を紹介する。SWCNTは単層のsp²炭素ネットワークからなる極細の円筒状ナノ材料であり、バンドギャップを含む各種物性は、その直径とカイラル構造によって決定される。バンドギャップを持つ半導体型SWCNTの光学スペクトルは、熱的に安定な励起子に支配されており、その近赤外領域における共鳴波長はSWCNTの構造によって決まる。このユニークな励起子特性は、太陽光選択吸収体に要求される急峻かつ調整可能な近赤外波長カットオフを実現するために有用である。さらに、最近我々は、物質自体の高い熱安定性と擬一次元励起子の大きな結合エネルギーにより、SWCNTでは、1500~2000 K以上の高温条件下でも励起子が安定に存在し、励起子の熱的生成と放射再結合によって狭帯域の近赤外熱放射が発生することを見出した¹⁾。このようなSWCNTの熱光学特性^{1,3)}は、波長選択エミッタ材料として理想的なものである。発表では、孤立SWCNT¹⁾およびSWCNT集積膜⁴⁾の詳細な光学および熱光学特性と、その太陽エネルギー変換応用について議論する。

1) T. Nishihara, A. Takakura, Y. Miyauchi, and K. Itami, *Nat. Commun.* **2018**, 9, 3144.

2) Y. Yomogida, T. Tanaka, M. Zhang, M. Yudasaka, X. Wei, and H. Kataura, *Nat. Commun.* **2016**, 7, 12056.

3) S. Konabe, T. Nishihara, and Y. Miyauchi, *in preparation*.

4) T. Nishihara, A. Takakura, M. Shimasaki, K. Matsuda, T. Tanaka, H. Kataura, and Y. Miyauchi, *in preparation*.