

光マイクロモーターの研究

[1] 組織

代表者：松本 貴裕

(名古屋市立大学 芸術工学研究科)

対応者：根尾 陽一郎

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

三村 秀典 (静岡大学電子工学研究所)

[2] はじめに

本研究では光を照射することによって回転する“光風車”，いわゆるラジオメーターについて扱う。ラジオメーターは1873年にWilliam Crookes博士によって発明された[1]。発明より100年以上が経っているが未だにその原理の詳細は確立されていない。構造は図1に示すように、密封された低真空の空間内に摩擦の小さな軸があり、軸上に羽根が取り付けられている。羽根は片面が研磨された状態か白色，もう片面が黒色で色付けられている。白の面と比べ、黒の面の方がより光エネルギーを吸収するため、羽根の両面において温度差が生じる。それにより、周囲の空気分子と関わり合うことで、黒の面が光に押されるように回転をする。

現在は主に科学の教材やインテリアグッズとして使用されることが多い。しかし、ラジオメーターがより効率的に光エネルギーを動的エネルギーに変換することが可能となれば、その用途は医療分野や新しいエネルギー発電の分野へ広げられると考えられる。

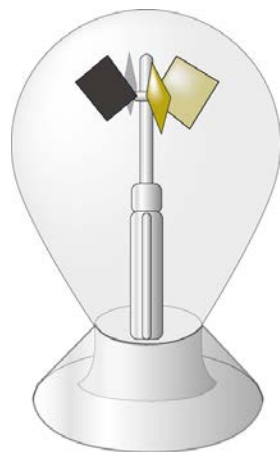


図1. 市販されている光ラジオメーター(光モーター)。

ラジオメーターの回転は光の圧力のみでは回転していなく、熱エネルギーと周囲の空気分子が関係して回転をしている。これは、高真空下では回転が生じないことや、冷暗所に入れた際に逆方向へ回転を始めること、ラジオメーターを手で覆った場合でも回転すること、回転する方向が光の圧力から受ける力とは逆方向であることからわかる。

また、これまでにラジオメーター効果を用いて制作された前例として Han らのマイクロモーターがある[2]。黒と白の面に塗り分けられた羽根の代わりに、金のナノ粒子で一樣にコーティングされたアールのつけられた羽根が用いられている。凸面の受光量が凹面と比べて多いことから温度差が生じ、羽根が回転する仕組みである。

[3] 光モーター原理実証実験

これまでに議論されてきた仮説の中から、本研究では以下の仮説を取り上げ、実証実験を行った。まず、黒の面が光を吸収することで赤外線を放射し、その放射によって周辺の空気分子が温められて回転が生じるという仮説[3]について実験を行った。本研究では、チャンバー内の封入気体を、赤外線を吸収しない窒素に変えることで検証した。また、同じく赤外線を吸収しないアルゴンについても封入し、実験を行った。この実験の結果を図2に示す。大気と窒素では回転スピードに大きな差は出なかった。このため、赤外線の放射による熱伝導は小さく、赤外線は回転には大きくは関係していないことがわかる。

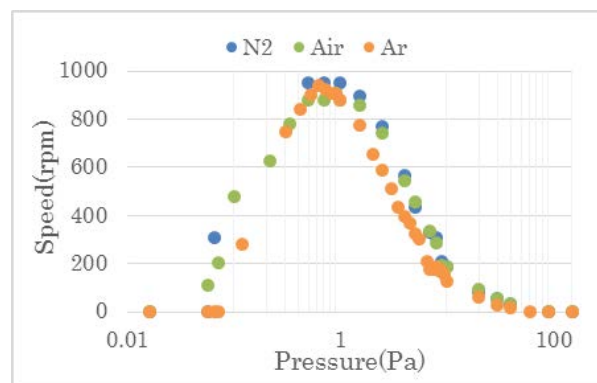


図2. 光モーターの回転数と真空度及び封入する気体種との関係を示すグラフ。青丸はN₂ガス、橙丸はArガス、緑丸は空気。

回転スピードの照射する光強度への依存性についての実験を行った。実験結果を図3に示す(青点)。光の強度におおよそ比例するように、回転のスピードが上がっていることがわかる。

ここで、羽根の表面温度と羽根に加わる力について考える。羽根の表面に衝突する気体分子の運動量の差によって回転が生じるとする。羽根の両面の圧力を記述することが可能な気体の状態方程式を考察することによって、光照射強度の平方根に比例することが判り、図3の理論曲線(実線)に示すように、光照射強度の平方根依存性は実験結果と理論の良好一致を見る。

[4] 高効率化の検討

実験結果から、黒の面の表面温度をあげ、両面の温度差を広げることや、羽根の縁に光を集中して集めることで高効率化が可能であると考えられる。本研究ではラジオメーターの羽根の素材に注目して高効率化の検討を行った。黒の面に用いる素材として考えられるのは、表面温度が上がりやすい素材や、多孔質の素材である。

本研究では、選択吸収膜とカーボンナノチューブ(CNT)について利用の検討を行った。選択吸収膜とは、可視光領域での吸収が高く、赤外領域では低いという特殊なスペクトルを持つ素材であり、本研究では薄い銅板についてのものを用いる。そのままの状態での実験や、選択吸収膜の裏面をコーティングしての実験、従来の羽根の一部に選択吸収膜を取り付けての実験を行った。実験結果から、質量が大き

く、黒の面の表面に凹凸がないため、現状の選択吸収膜をそのまま用いての利用は難しいと考えられる。

以上の結果から、羽根の黒の面を多孔質にすることが高効率化に有効であると考えられる。多孔質の素材を用いることで、面の中の熱伝導を抑制することができ、それぞれの面の中の温度差を広げることが可能である。また、入射した光を内部で散乱させることが可能であることから光の受光量が大きくなることや、気体分子の付着量が増えることで、回転を起こす力を大きくすることが可能である。また、白の面には熱伝導率の低い、凹凸のない素材を用いることが高効率化に有効であると考えられる。凹凸をなくすことで気体分子の付着量を減らすことができるためである。そのため、CNTのように筒状、もしくは棒状に原子が結びついたものを、熱伝導率の低い素材に付着させることが望ましいと考えられる。黒体CNT材料の成膜並びにこれを用いた光マイクロモーターの作製については、来期への課題となる。

[5] 参考文献

- [1] W. Crookes, "On Attraction and Repulsion Resulting from Radiation," *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* **164**, 501–527 (1874).
- [2] L.-H. Han et al., "Light-powered micromotor: design, fabrication, and mathematical modeling," *Journal of Micro-electromechanical Systems* **20**, 487–496 (2011).
- [3] L. B. Loeb, "The Kinetic Theory of Gases," McGraw-Hill, 2nd edition, 353–386 (1934).

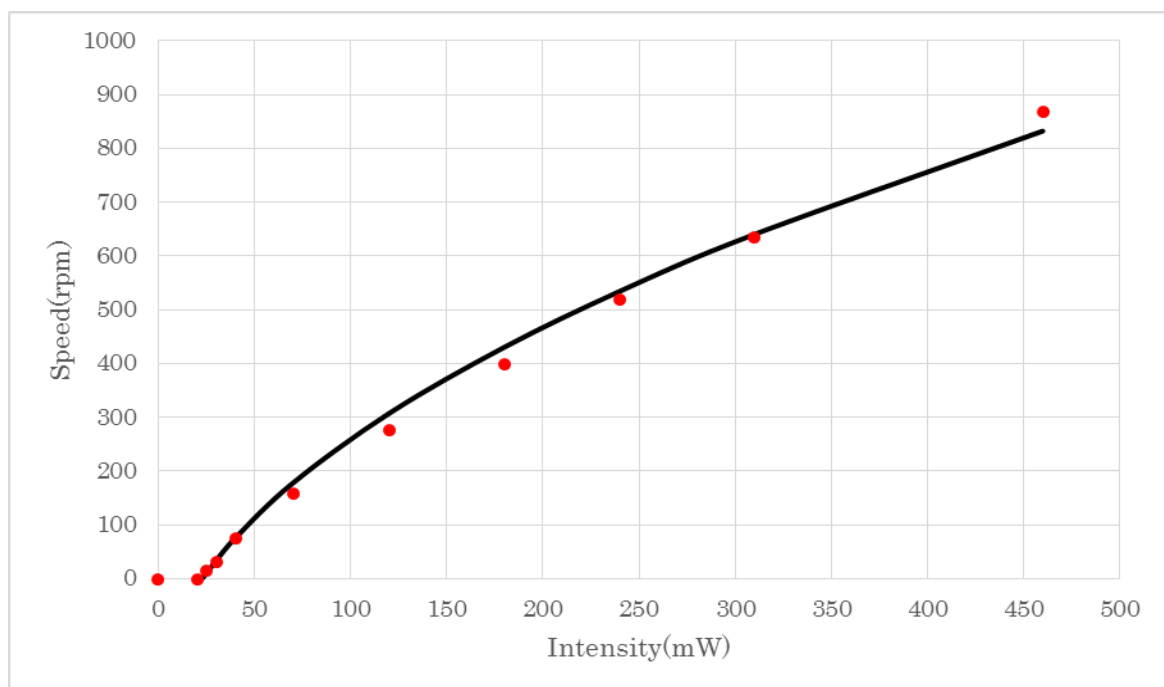


図3. 回転スピードの光強度への依存性の実験結果と理論上の曲線との比較(赤点:実験結果, 黒線:理論曲線).