

低温下における光無線給電効率の数値解析

Numerical Analysis of Optical Wireless Power Transmission Efficiency at Low Temperature

東工大未来研 [○](B4)小原 日向, 宮本 智之

FIRST, Tokyo Tech, [○]Hinata Kohara and Tomoyuki Miyamoto

E-mail: kohara.h.aa@m.titech.ac.jp

1.はじめに

光無線給電(OWPT)は多様な応用に魅力的だが、課題として、低い給電効率が挙げられる。光源の電光変換効率と受光器の光電変換効率の掛算が給電効率の上限となるため、典型的デバイスの利用では給電効率は 10%台になる。その改善は容易でないが、光源の半導体レーザおよび太陽電池の効率は低温で増加する。このため、低温システムにおける利用や、給・受電部の局所冷却などにより、光無線給電システムの高効率化が期待できる。

そこで本研究は、光無線給電の低温化の適用性解明に向け、今回は、温度に対する給電効率の基礎的解析を行ったので報告する。

2.半導体レーザの光出力変換効率

半導体レーザは低温化により、主にしきい値電流の低下と外部微分量子効率の上昇により効率が增加する。その温度特性は以下の式で表される。

$$I_{th}(T') = I_{th}(T) \exp[(T' - T)/T_0] \quad (1)$$

$$\eta_d(T') = \eta_d(T) \exp[-(T' - T)/T_1] \quad (2)$$

ここで、 $I_{th}(T)$ 、 $\eta_d(T)$ は温度 T におけるしきい値電流および外部微分量子効率、 T_0 、 T_1 は特性温度である。なお、特性温度自身にも温度依存性が存在するため、77-298K を 2 区間に分割して考慮した。

GaAs 系 QW レーザの特性を参考に、電光変換効率の温度依存性を解析した。Table 1 に用いたパラメータを、Fig.1 の点線に結果を示す。縦軸はピーク効率であり、入力電力 $IV = I(V_0 + RI)$ 、光出力 $P = (I - I_{th})SE$ 、 $SE = \eta_d \cdot \lambda / 1.2398$ の関係より P/IV から求めた。なお、簡素化のため、 V_0 、 λ 、 R の温度依存性は無視した。結果から、室温 (298K) でピーク効率 36%に対し、77K では 71%まで増加することが期待できる。

3.太陽電池の電力変換効率

太陽電池は低温下により、主に開放電圧 V_{oc} の増加と I-V カーブの急峻化つまりフィルファクター (FF) の増加により効率が增加する。その I-V 特性は以下の式で表される。

$$I = I_0(T) [\exp(eV/nkT) - 1] - I_{sc} \quad (3)$$

ここで $I_0(T)$ は逆方向飽和電流であり $\exp(-E_g/kT)$ の温度依存性を考慮した。 n 値は 1 を仮定している。

市販 Si 太陽電池の特性 (V_{oc} 、 $I_{sc}@AM1.5$) を参考に $I_0@RT$ を求め、量子効率 1、単色光 λ の $100(mW/cm^2)$ 入射を仮定し解析した。Table 2 に用いたパラメータを、Fig.1 の破線に結果を示す。結果から、室温 (298K) でピーク効率 45%に対し、77K では 85%まで増加することが期待できる。

4.光無線給電システム全体の給電効率

半導体レーザと太陽電池のピーク効率の掛算より、光無線給電システム全体の効率を計算した。Fig.1 の実線に結果を示す。室温 (298K) では 16%程度の給電効率だが、77K では 61%と大幅な効率増加が期待できる。また、-120°C 程度で 40%、-50°C で 28% である。-50°C でも室温の 1.8 倍近い効率となる。

5.結論

半導体レーザおよび太陽電池の効率を簡易モデルにより解析し、光無線給電システムの給電効率の温度依存性を解析した。298K で 16%程度の効率が 77K では 58%まで増加することを示した。光源、太陽電池とも、室温でより優れた特性のデバイスも報告されているため、その適用により、低温においてさらに高い効率も期待できる。

Table 1 Parameter of laser

$V_0(V)$	1.2
$I_{th}(mA) @RT$	40
$SE(W/A) @RT$	0.8
$\lambda (\mu m)$	1.0
$R(\Omega)$	3
$T_0(223-298K)(K)$	120
$T_0(77-223K)(K)$	150
$T_1(223-298K)(K)$	500
$T_1(77-223K)(K)$	650

Table 2 Parameter of solar cell

$V_{oc}(V) @RT, AM1.5$	0.575
$I_{sc}(A) @RT, AM1.5$	0.39
n value of diode	1
$P_{in}(mW/cm^2)$	100

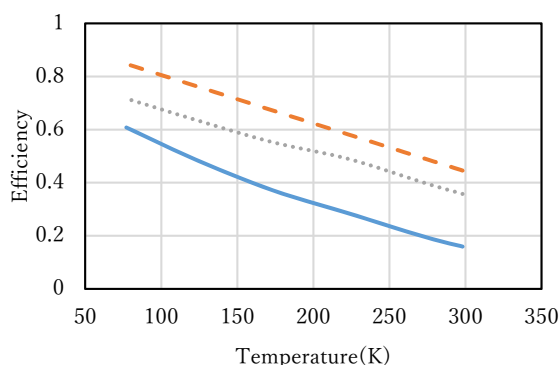


Fig. 1 Peak efficiency of laser, solar cell, and OWPT vs temperature