発光ダイオードの温度センシング特性

兵庫教育大学大学院（院生）○西村 尚大
兵庫教育大学大学院　　小山 英樹

１．はじめに

ダイオードの電気的な特性は温度に大きく依存する。非直線的な温度特性を示すサーミスタとは異なり，電流一定の条件下では，ダイオードの順方向電圧は温度の上昇とともにほぼ直線的に減少する[1,2]。その特性を活かし，ダイオードを温度センサとして用いた温度測定装置が研究・検討されている[3]。特性が直線的であることから，直流増幅回路を組むだけで簡単に温度測定装置を作ることができるため，教育現場での使用も試みられている[4]。

発光ダイオード（LED）も基本的には半導体の *pn* 接合から構成されているため，一般の整流用 Si ダイオードと同様，温度センシング能力をもつ。実際，GaP の LED が 77K～533K の広い温度範囲で直線的な温度特性を示すことが Acharya と Vyavahare によって報告された[5]。LED は Si ダイオードよりもバンドギャップエネルギー（E_g）が大きいため，逆方向飽和電流が小さく，少ない駆動電流（すなわち低消費電力）で温度センシングができるという特長を持っている。しかし，LED の発光色や材料による違い（特に最近の高輝度 LED を使用した場合）など，詳しい検討はなされていない。また，実際に LED を温度センサとして用いた温度測定装置についての報告も見られない。

LED はホームセンターなどでも販売されており，一般の整流用ダイオードよりも入手がしやすく馴染みがある。また，微弱ではあるが光電変換もできるので，温度と光の複合センサとして使用することもできる。１個の LED で整流，発光，光電変換，温度測定という半導体の４つの機能を同時に学べる教材・教具（例えば工業高校の電気・電子分野における専門教科・課題研究などで利用するためのもの）を開発することも可能である。

本研究は，LED の温度センシング特性を詳細に調べ，LED を温度センサとして用いた温度測定装置を開発することを目的としている。ここでは，発光色の異なるいくつかの高輝度 LED について温度特性を測定し比較したので，その結果を報告する。

２．ダイオードの順方向電圧の温度依存性

理想的な *pn* 接合ダイオードの順方向電流 I は，逆方向飽和電流よりも十分大きい領域で（1）式のように表される[6]。

$$I \cong I_0 \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

ここで q は電子１個の電荷量，V は順方向電圧，k はボルツマン定数，T は絶対温度である。I_0 は逆方向飽和電流で，

$$I_0 = A_s \exp\left(\frac{-E_g}{kT}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

で表される。係数 A_s は $T^{(3+\gamma/2)}$（γ は定数）に比例する温度依存性をもつ[6]が，指数部分の方が温度 T に対する変化が大きいので，通常 A_s の温度依存性は無視できる。

(1)，(2)式より

$$V = \frac{k}{q} \cdot \ln\left(\frac{I}{A_s}\right) T + \frac{E_g}{q} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

が導かれる。A_s の温度依存性を無視すると，ダイオードの順方向電圧 V が温度 T に対して直線的に変化することがわかる。

３．実験方法及び結果

（１）実験方法

表１に示すように４個の LED と１個の Si ダイオード, 計５個のダイオードを用いた。それぞれ, 恒温槽（日本ブロアー製バイオチャンバーLS-5N）に入れ，プログラマブル直流電源（アドバンテスト R6144）により一定の電流を供給したまま, 10℃から 70℃まで５℃刻みで温度を上昇し, マルチメータ（Keithley 2000 型）で順方向電圧を測定した。電圧の測定は，恒温槽内の温度が十分安定（すなわち電圧が安定）したのを確認してから行った。

（2）実験結果

I = 10 mA として測定したときの結果を図１に示す。使用したすべてのダイオードで，順方向電圧が温度に対し直線的に減少する結果が得られた。グラフから求めた傾きを表２に示す。ダイオード B（青色 LED）が最も大きな傾き（-2.45 mV/℃）を示している。ダイオード G，Y，R は Si ダイオードよりも小さい傾きを示した。

４．考察

順方向電圧の温度に対する傾きの大きさは B, Si，Y，R，G の順になっており，E_g との相関は見られない。E_g の大きい材料を使ったダイオードの方が傾きが大きいとの記述が文献[5]にあるが，必ずしもそうではないことが明らかになった。しかしながら，E_g の最も大きい B（青色 LED）において，Si ダイオードより約 50%大きな傾きが得られている。このことから，LED が高感度のダイオード温度センサとして期待できることが示された。

表１．実験に使用したダイオード

記号	発光色	型番
R	赤	HLMP-C115
Y	黄	HLMP-C315
G	緑	HLMP-C515
B	青	E1L51-3B0A2
Si	（Si ダイオード）	1S2076A

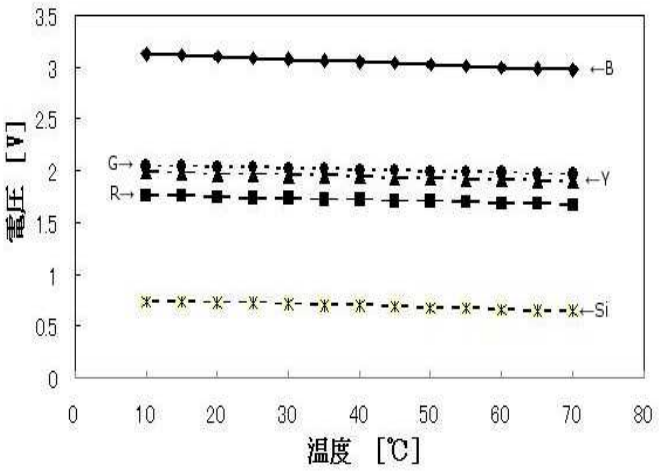

図１．順方向電圧の温度依存性

表２．各ダイオードの傾き

ダイオード	B	G	Y	R	Si
傾き (mV/℃)	-2.45	-1.36	-1.53	-1.49	-1.65

５．まとめ

以上，本研究では発光色（E_g）の異なる LED について順方向電圧の温度依存性を調べ，温度センサとして使用可能であることが確認できた。今後は小電流での特性を同様に評価し，それらの実験結果をもとに温度計測装置の回路やシステムの検討を行う予定である。

参考文献

1) 二木久夫，村上孝一：温度センサ，日刊工業新聞社 (1980).

2) 池田徹之，南部英夫，松原芳夫：温度センサの原理<Ⅲ>，岐阜高専紀要第 35 号，pp.97-120 (2000).

3) 高嶋徳明，木村光照：絶対温度に比例する出力を持つダイオード温度センサの検討，IEEJ. Trans. SM , Vol.127, No.6, pp.328-332 (2007).

4) 西岡正泰，伊藤康明：ダイオード温度計を用いた液体の比熱の測定, 物理教育第２６巻第２号 pp.133-136 (1978).

5) Y. B. Acharya and P. D. Vyavahare：Study on the temperature sensing capability of a light-emitting diode , Rev. Sci. Instrum. Vol.68, No.12, pp. 4465-4467 (1997).

6) S. M. Sze and K. K. Ng：Physics of Semiconductor Devices, 3rd ed., Wiley (2007).