



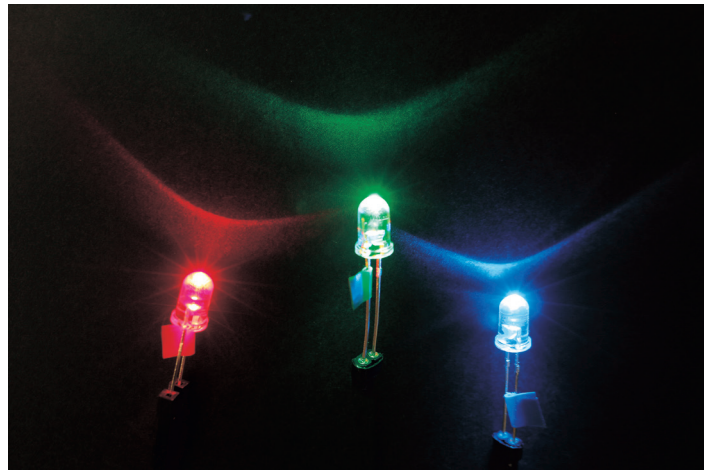
第7回
科学の甲子園 全国大会

実技競技②

「光と色とエネルギー」

LED と蓄光

問題



18世紀末から19世紀にかけて、ガスを熱源として使う技術が確立するとともに、熱源としてだけでなく、ガスによる照明事業が始まった。いわゆるガス灯による照明である。そして、19世紀後半には、照明は炎によるものから電気へと変わり、1879年には白熱灯、1938年には蛍光灯が作られた。そして現在は、LED照明が主流になりつつある。



【小樽運河のガス灯】



【白熱電球の街灯】

LEDとはLight（光）、Emitting（出す）、Diode（ダイオード）のそれぞれの頭文字を略したもので、「発光ダイオード」とも呼ばれる。LEDは、白熱灯や蛍光灯に比べて省電力、長寿命、視認性や演色性に優れ、屋内外を問わずに幅広く使える利便性を持ち合わせているので、照明器具、道路交通表示板や交通信号機と様々な分野で幅広く採用されている。

LEDの発光色は、ガリウム(Ga)、窒素(N)、インジウム(In)、アルミニウム(Al)、リン(P)などといったLEDチップに使われる半導体を構成する化合物が放出する光の波長によって決まる。光の3原色は赤・緑・青であり、この3原色が揃うことによって初めて白色光を作り出すことができる。LEDを用いてより自然な白色を作るためには、1960年代に開発された赤色LEDと緑色LEDに加え、青色LEDの発明が必要不可欠であった。2014年のノーベル物理学賞を受賞した赤崎、中村、天野の3人の日本人による青色LEDの発明とその実用化の功績はたいへん大きい。その製品化は中村氏が勤めていた日亜化学が1993年に口火を切った。青色LEDに蛍光剤を塗布すると簡易に白色光が得られる。LEDの照明への利用が進んだ大きな理由の一つでもある。



【水銀灯の街灯】



【LEDの街灯】

【LED が発光するしくみ】

図1でLEDが光るしくみを説明しよう。

LEDは2種類の半導体(n型半導体とp型半導体と呼ばれる)が運ぶプラスとマイナスの電気が結合して光を発している。n型半導体は、例えばシリコン(Si)結晶中に、リン(P)など価電子が5個の原子を不純物として注入させると、自由に動ける電子が生じ、その電子が電気を伝える役割をする。

p型半導体は、Si結晶中に、ホウ素(B)など価電子が3個の原子を不純物として注入することによって

得られる。電子数が不足し、正孔状態(ホール)となっているところが、プラスの電気的な性質を持ち電気を伝える役割をするのである。

p型半導体とn型半導体を接合し、p型半導体部分にプラス、n型半導体部分にマイナスの電圧をかける(順方向に電圧を加える)と正孔と電子が接合部分に向かって移動し、電流を一方方向にしか流さない素子ができる。このとき、p型半導体とn型半導体の接合部分(pn接合)での電子のエネルギー移動(遷移)を利用して発光させるのが、LEDである。

なお、pn接合周辺には、その性質からエネルギーが蓄積されることになる。

電子と正孔を再結合させるために外から加える電圧を V [V:ボルト]、移動する電子の電気量を e [C:クーロン] とすると、 $V \times e$ [J:ジュール] という大きさのエネルギーが発光するために必要なエネルギーであると考えることができる。 e は、 1.6×10^{-19} [C] (電気素量) という値である。

本実技では、5色のLED等を用いた実験を行って、発光とその色の関係、光の持つエネルギーについて調べることとする。以下の【課題1】、【課題2】、【課題3】、【課題4】で指示された実験を行い、その結果をまとめ、問1～問6に答えよ。

なお、実験器材の説明、実験の手順、実験上の注意等は、「実技競技の手引き」にまとめられている。これにしたがって実験を進めること。

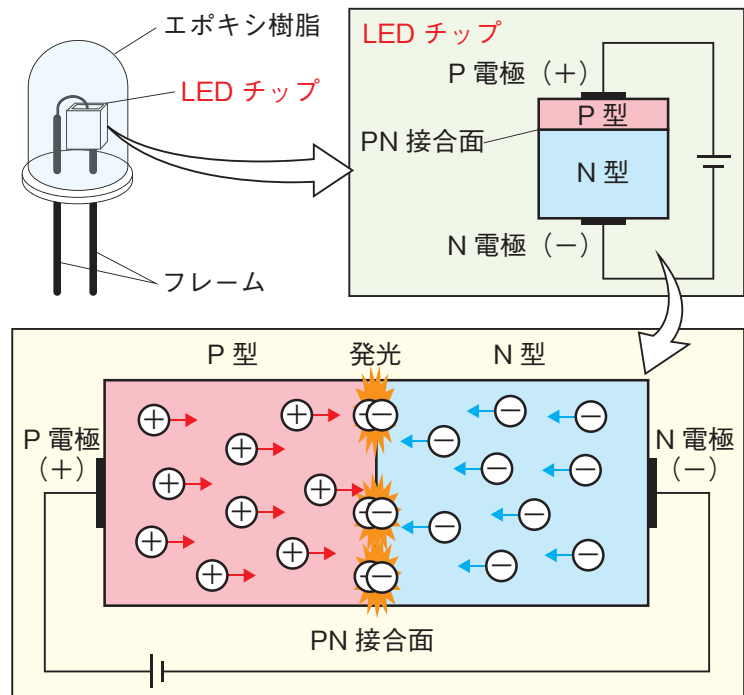


図1 LEDが光るしくみ

注意：実験における色の観察ではそれぞれ異なる可能性があるため、グループで協力して進めること。また、各LEDを明るくしすぎないように注意すること。

【課題 1】

5色のLED(赤・黄・緑・青・紫)は、何〔V〕の直流電圧を加えると光りはじめるか調べよ。

問 1 (1) 5色のLEDの発光最低電圧を解答用紙に記入せよ。

(2) 【LEDが発光するしくみ】を参考に、5色のLEDが発光するために必要なエネルギーを算出し、解答用紙に記入せよ。

問 2 問 1の結果および表 1 から、発光する光の振動数 ν (ギリシャ文字：ニュー)〔Hz：ヘルツ〕と発光に必要なエネルギー〔J〕の関係を表すグラフを描き、直線を引いてこの傾きを計算せよ。

表 1 LEDの光の色とピーク波長・振動数

色	赤	黄	緑	青	紫
ピーク波長 λ 〔nm〕	660	590	525	470	405
振動数 ν 〔Hz〕	4.55×10^{14}	5.08×10^{14}	5.71×10^{14}	6.38×10^{14}	7.41×10^{14}

※ $1[\text{nm}] = 1.00 \times 10^{-9}[\text{m}]$

この【課題 1】で求めた直線の傾きは、プランク定数： h と呼ばれるたいへん重要な定数である。このプランク定数： h によって、振動数 ν 〔Hz〕の光が持つエネルギー： E 〔J〕は、 $E = h\nu$ という式で表すことができる。

【課題2】

LEDは、順方向に電圧を加えた際に発光する半導体素子である。同様の半導体に光を当てると起電力が発生するという現象が起こる。デジタルカメラの撮像素子、光検知を目的として作られたフォトダイオードは光を当てると起電力が発生するという現象を用いている。しかし、これらも素子としての基本的構造はLEDと同じである。

3色のLED(赤・緑・青)を実験装置の発光側に接続し(これを発光側素子と呼ぶ)発光させ、これらの光を実験装置の受光側に接続した3色のLED(赤・緑・青)と麦球(白熱電球)で受光する(これを受光側素子と呼ぶ)。このとき、受光側素子に生じる起電力を調べよ。

問3 解答用紙に指示されているすべての組み合わせについて、受光側素子に生じる起電力を測定し、解答用紙に記入せよ。ただし、発光側素子の電圧は、表2で示した電圧とする。

表2 LEDの光の色と発光側素子の設定電圧

色	赤	緑	青
設定電圧 V [V]	2.1	2.9	3.1

問4 実験結果について、次の(1)~(2)に答えよ。

- (1) **問3**の実験結果から、発光側のLEDの色と受光側のLEDの色がどのような組み合わせのとき、受光側に起電力が生じていると考えられるか、解答用紙に簡潔に書け。
- (2) **【課題1】**と**【課題2】**の実験結果から、LEDの発光および光を受けて起電力を生じるしくみについて、麦球の結果とも比較しつつ、物質の中の電子の状態に注目してチームで議論し、考察した内容を解答用紙に記入せよ。

【課題3】

コンサートなどで使うケミカルライトと呼ばれるライト棒や、夏祭りの夜店などで売られている腕輪(図2)は電源がなくても光る。これは、封入されている液体の化学反応により発光するが、繰り返し発光させることはできない。

これに対して、蓄光シートは繰り返し発光させることができる。夜中や停電時、電源がない場所でも光るので、図3のように階段や手すりなどに使用され、人が安全に昇降できるようにその位置や場所を示してくれる。

ここでは、暗箱内に置かれた蓄光シート上での5色のLEDの点滅や蓄光シート上での移動等を行い、蓄光について考えることとする。

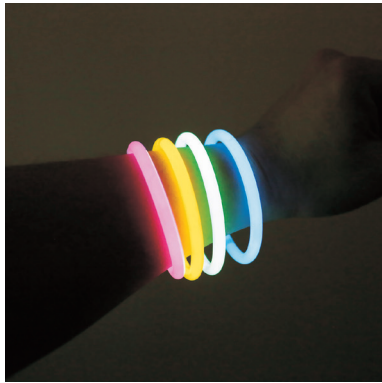


図2 光る腕輪

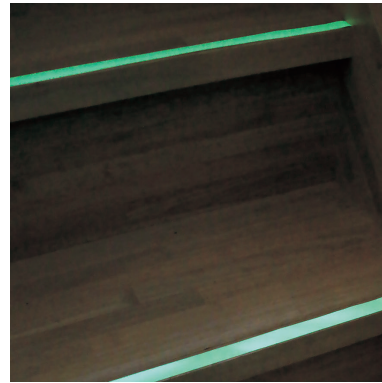


図3 蓄光テープを張った階段

問5 次の(1)~(3)に答えよ。

(1) 蓄光シートに5色のLEDの光を照射する。照射された蓄光シート面の変化について以下の観点で観察し、その結果をそれぞれの色について答えよ。

・発光の有無 ・発光の継続時間 ・発光の強度 ・発光の色 ・その他

(2) (1)の観察の結果を整理し、そのまとめを解答用紙に記入せよ。

(3) この実験の結果から、蓄光シートの蓄光のしくみについてチームで考察し、その結果を解答用紙に記入せよ。

【課題4】

これまでの実験・観察・考察を総合的にまとめてみよう。

問6 【課題1】～【課題3】の実験・観察の結果および考察を総合し、次の観点を参考にチームで話し合い、光と色のエネルギーについてまとめた結果を解答用紙に記入せよ。

参考観点

- ・LEDと麦球（白熱電球）と蓄光シートの発光のしくみの違いについて
- ・実験結果から生じた疑問
- ・その他