発光ダイオードに関する特性などについて調べたこと (Ver.2)

東　武大 (95-0081)

平成 10 年 12 月 17 日

1　前回のレポートから再考した点および未だ疑問な点

- まず、光度の単位 lm(=cd*str) と MKSA の換算が間違っていたこと。波長 550nm 程度の波動であれば、1lm=$\frac{1}{683}$W としても良かったのである。
- LED の強度 (cd) は電流 (mA) には比例しない。ダイオードに応じて電流と強度に関する特性曲線がメーカーによって公表されており、今回扱うような LED では log-log のグラフであれば、直線になる。
- 1 photon detection の意味を履き違えていた。前回は 1 秒あたり 1 光子と考えていたがこれは誤りであり、短時間 (SSPA の実験では 400ns のパルス)pulse を光らせた間に光子が 1 つ入るようにすればいいのである。
- 前回の考察では、光量はスリットに依存せず、pinhole の大きさ、及び光源から Pinhole までの距離のみに効いてくると考えた。前回の setup に沿って考えるなら、評価のし方にどこに欠陥があったのかがまだ理解できていない。

2　回路室の発光ダイオードの特性

まずは、今回の実験の光源として用いるべきダイオードは、153 号室の回路室にあるものを用いる。これは東芝製のもので、赤色のものは TLR102A と TLR143、緑色のものは TLG102A と TLG143 である (東芝のホームページ'http://doc.semicon.toshiba.co.jp/docweb3/noseek/jp/td/td2.htm' に、詳しい個々の製品の特性が載ってありそうであるが、Acrobat Reader を必要とするので学校からは読めなかった)。その特性は以下の表の通りである。以下の物理量はそれぞれ、次のような意味である。

品番	標準半値角[1]	ピーク波長 (nm)	強度 (cd)	標準順電圧 (V)	最大順電流 (mA)
TLG102A	230 °	565nm	0.0030(cd)	2.1V	25mA
TLG143	20 °	565nm	0.0400(cd)	2.1V	25mA
TLR102A	230 °	700nm	0.0002(cd)	2.1V	25mA
TLR143	20 °	700nm	0.0110(cd)	2.1V	25mA

表 1: 回路室の発光ダイオードの特性

- 標準半値角 (°)= $2\theta_{1/2}$:全エネルギーフラックスの半分が収まるような角度の幅のこと。以下では簡単のためこの角度分布の中に、光量の半分が一様に分布し、その外にある光は無視する。
- 強度:電流 15mA に対する値であり、その特性はダイオードの品番によって異る。てとえば TLG143 については、下図に示すような特性を持つ、よってほぼ $(intensity)_{(cd)} \propto (current)^{1.5}_{(mA)}$を満たすと考える。なお、単位は (cd:カンデラ) であり、これは 1(cd)=1(lm/str) つまり、ルーメンを単位立体角当たりで割った物理

量である。また、ルーメン (lm) とは、光度パワーのことであり、各波長における放射束$\phi(\lambda)_{(W)}$に、波長の比視感度 $V(\lambda)$ をかけて加えたものである。$F_{(lm)} = 680\int_0^\infty V(\lambda)\phi(\lambda)d\lambda$として得られる。

- 上に述べた比視感度とは、ようするにダイオード光の波長分布のことである。これはダイオードによってことなる分布を示すが、例えば緑色ダイオード TLG143 の場合であれば、下図のようなグラフとして近似できる。簡単のため、放射束は波長に依存しないとして粗く評価すれば、$1_{(lm)} = \frac{1}{683\,(W)}$として得ることができる。
- 標準順電圧:電流 20mA に対する値。また、電流と電圧とでは下のグラフのような特性を持つ。

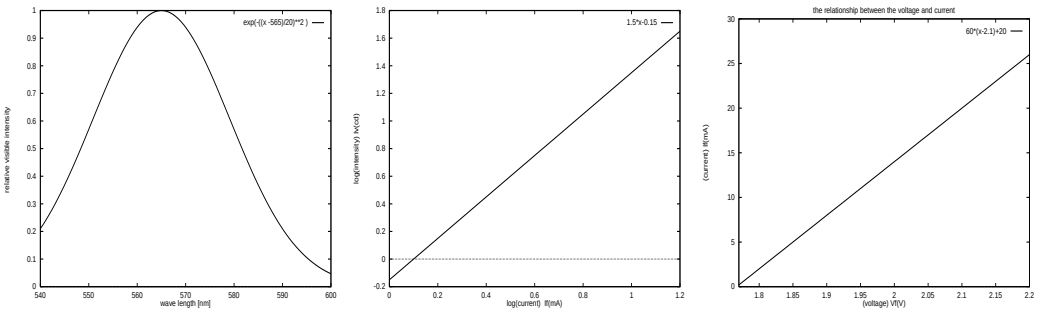
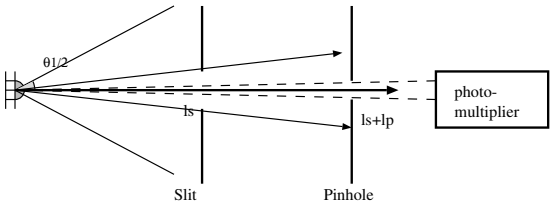


図 1: TLG143 の、左から順に発光強度の分布、強度-電流特性、電圧-電流特性

3　1 光子検出を実現するための set up の評価

以上の情報を手がかりにして、この実験で 1 photon 検出を行なうためのスリットとピンホールの評価を行なうことにする。下図のように光が Slit と Pinhole によって遮られているとする。



ls : the length between the LED and the Slit
lp: the length between the Slit　and the Pinhole
rs:the radius of the Slit
rp:ther radius of the Pinhole

図 2: LED 光の流れの遮られ方

さて、ここで LED の光が $A_{(cd)}$であったとする。このとき detector に到着する格子の数を求めたい。波長は $\lambda_{(m)}$、pulse の時間は $T_{(s)}$、Slit、Pinhole の半径はそれぞれ $r_{s(m)}$、$r_{p(m)}$とし、$l_{s(m)}$は光源から Slit までの距離、$l_{p(m)}$は Slit から Pinhole までの距離、$T_{(sec)}$を gate を開く時間とする。以下では簡単のため標準半値角の間に一様に光が分布していて、その外には全く光子が存在しないものとする。

- まず、slit の面積と、光の放射しうる部分の面積 (半径 l_s で、天頂角$\theta_{1/2}$までの部分の面積) の比は、$r_s^2\pi$:$2\pi l_s^2(1-$

$\cos\theta_{1/2}$) である。よって、立体角 $\frac{r_s^2\pi}{l_s^2\sin^2\theta_{1/2}}{}_{(str)}$ である。従って、光の流量は、

$$W_{slit} = \frac{\frac{A}{2}r_s^2\pi}{683l_s^2\sin^2\theta_{1/2}{}_{(W)}} \tag{1}$$

と表せられる。

- つぎに、pinhole を通過しうる光について。スリットを通った光は、Pinhole の壁面のうち面積 $(\frac{r_s(l_p+i_s)}{l_s})^2\pi$ の部分にあたるので、Pinhole を通り抜ける光のエネルギー流量は、$W_{pin} = W_{slit}(\frac{r_p l_s}{r_s(l_p+l_s)})^2_{(W)}$ である。
- つぎに、1pulse 当たりに入るエネルギーについて。Pinhole の半径は十分小さいので、Pinhole を通った光は全て検出器の窓に入りうるとする。そうすれば、単位時間あたり $W_{pin(Joule/sec)}T_{(sec)}$ のエネルギーが得られる。
- 最後に、光子の数の見積りについて。光子 1 つ当たりのエネルギーは $\frac{hc}{\lambda}$ である。よって、これで全エネルギーを割ればよい。
- また、光のエネルギー流量は、順電流に比例する量であると見做しても良いので、流れる電流を I_{mA} であるとすれば、TLG143 の特性曲線を利用すれば光子のエネルギーは、上で求めた値の $(\frac{I}{15})^{1.5}$ 倍となるはずである。

以上より、この setup で、photomultiplier に流れ込む光子の個数 n は、

$$n = \frac{AT\pi}{1366\sin^2\theta_{1/2}}(\frac{r_p}{(l_p+l_s)})^2\frac{\lambda}{hc}(\frac{I}{15})^{1.5} \tag{2}$$

として表される。ここで、例えば緑色ダイオード TLG143 に関して計算してみれば、入力光子の数がほぼ 1 個になるためには pulse による gate を開く時間を 400ns とすれば、

$$(\frac{r_p^2 I^{1.5}}{(l_p+l_s)^2}) = 1.67\times10^{-8} \tag{3}$$

となればよい。

- たとえば、Pinhole の半径が 0.1_{mm}、光源から Pinhole までの距離を 20_{cm} 程度とすると、順電流を約 $0.16_{\mu A}$ 程度にすればよい。
- また、逆に必要な pinhole の大きさを評価すると、電流が 1_{mA} とするとき pinhole の半径は 0.026_{mm} 程度であれば良いことになる。