

・4日目、5日目

・実験課題

3日目の光導波路とフォトクロミック材料を組み合わせ、光スイッチを作成すること。

・実験目的

光スイッチの原理を理解すること。

・使用器具

グリーンレーザー(エドモンド社製 90572H)、紫外線ランプ(omron 製 ZUV-C20H)
ハロゲンランプ(LuminarAceLA-150UX)、フォトディレクター(THORLABS DET36A/M)
ディスプレイ、スライドガラス、注射器、回転ステージ、フォトクロミック材料
グレーティングカプラ

・実験方法

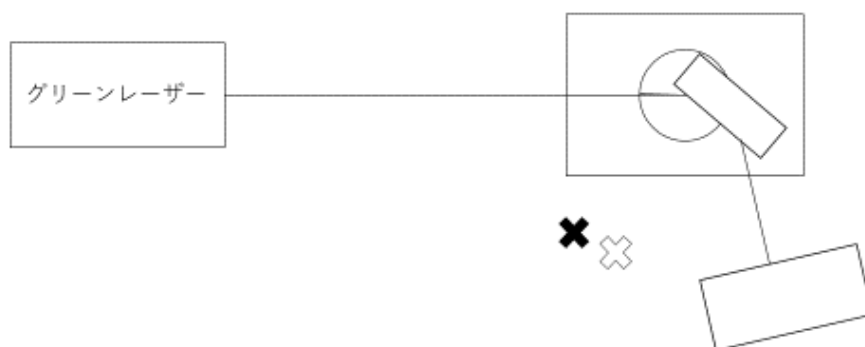


図 4-1 光スイッチにおける光学系

・4日目

3日目の光学系図 3-1 のヘリウムネオンレーザーをグリーンレーザーに取り換えて、スライドガラスをフォトクロミック材料を入れたセルに取り換えた。セルのグリーンレーザーが入射する箇所にはグレーティングカプラを、もう一方の場所にはプリズムをそれぞれオイルを用いて取り付け。回転ステージの角度を変化させて、セル内でレーザー光が導波している様子が確認出来た角度でステージを固定した。

導波した光がプリズムから出てくる場所にフォトディテクターを設置して、ディスプレイ上で電圧を確認した。

次に、図 4-1 の黒×の位置に紫外線、白×の位置にハロゲンランプを設置した。

最初にセル内のフォトクロミック材料に紫外線を照射させた時の電圧の変化を測定した。次に、紫外線の電源を切ってハロゲンランプをセル内のフォトクロミック材料に照射させた時の電圧の変化を記録した。

・5日目

4日目に使用したフォトクロミック材料を新しく調合したフォトクロミック材料に変更した。また、紫外線の装置も変更した。

4日目と同様にしてまず紫外線の強度を100%にして光スイッチのオフのスイッチング速度を測定した(測定1回目)。次に、紫外線の強度を100%から50%に変更して、光スイッチをオフにするスイッチング速度とハロゲンランプを用いてオンにするスイッチン速度を測定した(測定2回目)。最後に、ハロゲンランプの手前に凸レンズ($f=50\text{mm}$)を置き、セルから10cmの位置に凸レンズを設置して、光スイッチのオンオフのスイッチング速度を測定した(測定3回目)。

・実験結果

・4日目

フォトクロミック材料に紫外線を照射させた時の電圧の変化は以下のようになった。

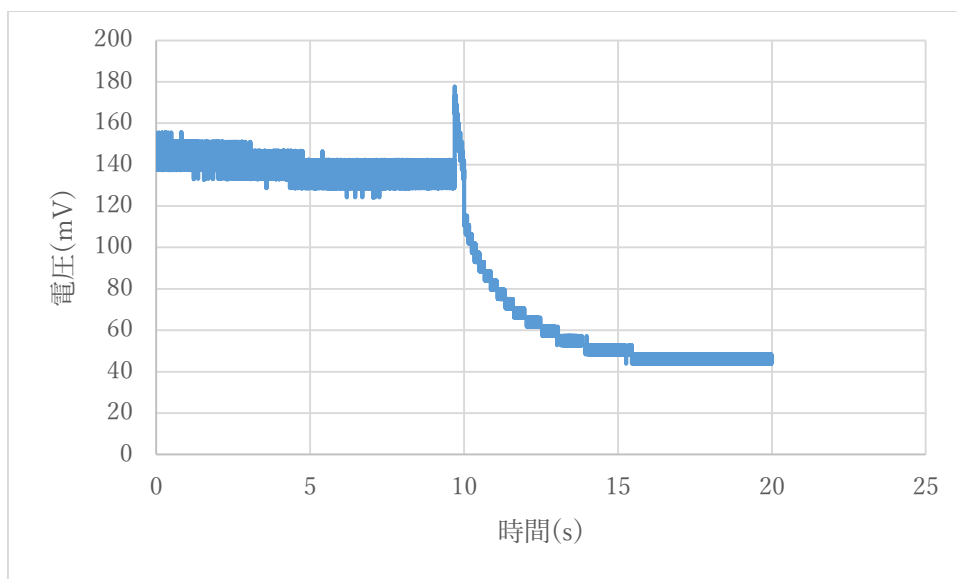


図 4-2 光スイッチをオフにする時の電圧変化

図 4-2 からフォトクロミック材料が開環体に変化するとグリーンレーザーを吸収することが分かる。

また、変化時の関数を $y=133.76 \cdot e^{-\frac{t}{T}}$ (T;時定数)として定義すると

$133.76 \div e=49.28$ から $T=15.32(s)$ と考えられて、 $t=9.58(s)$ に紫外線を照射開始したことと合わせると、スイッチングの速度は $5.74(s)$ となる。

なお、フォトクロミック材料は薄く赤紫色に変化していた。

紫外線を照射させたフォトクロミック材料にハロゲンランプを照射させた時の電圧変化は以下の様になった。

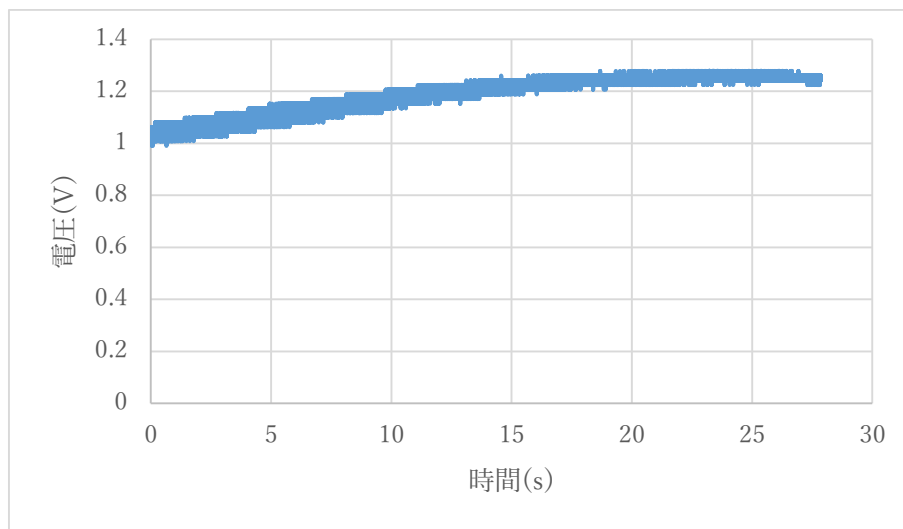


図 4-3 光スイッチをオンにするときの電圧変化

ハロゲンランプを照射させることでフォトクロミック材料が透明な色に戻り、電圧も増加した。また、ハロゲンランプからの光がフォトディテクターに反映されたので、測定される電圧が大きくなった。また、スイッチング速度は観測時間が短いので確定はできなかった。しかし、紫外線を照射させた時に比較すると時間は大幅に増えたことが分かった。また、フォトクロミック材料は透明な液体に戻っていた。

・5日目

1回目の測定結果は以下の様になった。

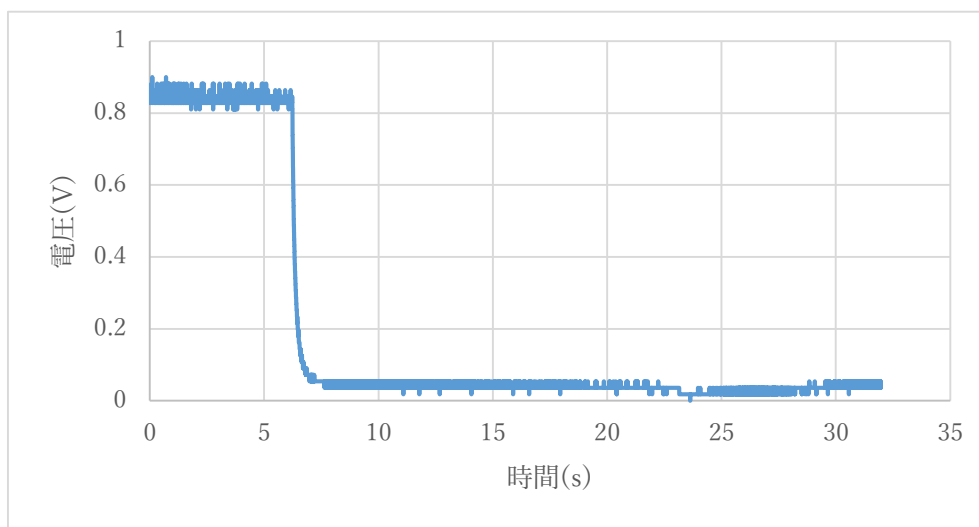


図 5-1 測定 1 回目

4日目と同様にして測定 1 回目～3 回目のオフにする時は電圧が $\frac{1}{e}$ 倍された時間、オンにする時は e 倍された時の時間を比較する。

図 5-1 から電圧が 0.828V から $0.828/e=0.305V$ に変化するまでの時間をオフにするスイッチング速度とすると $6.267(s)-6.092(s)=0.175(s)$ となった。フォトクロミック材料は 4 日目と同様に赤紫色に変化していたが、5 日目の方が色は濃かった。

2 回目の測定は以下の様になった。

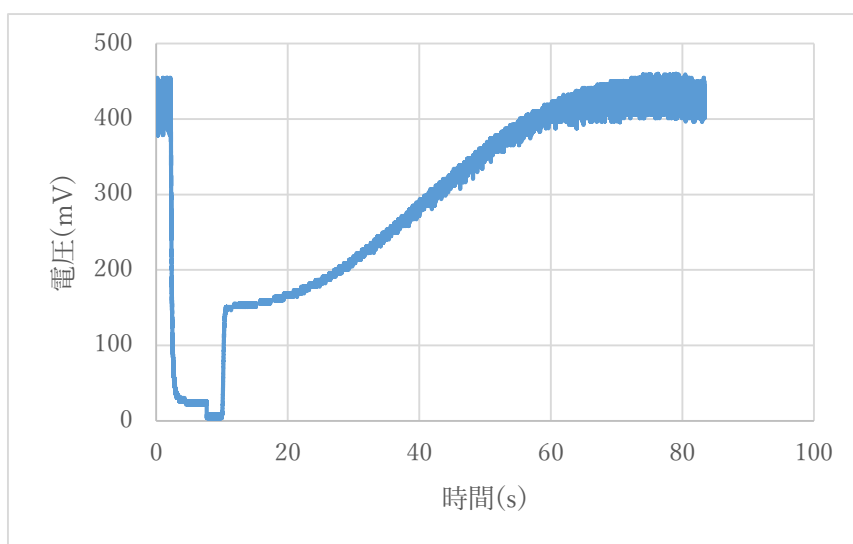


図 5-2 測定 2 回目

電圧が 383.14mV から $383.14/e=140.9\text{mV}$ に変化するまでの時間をオフのスイッチング速度とすると $2.398(\text{s})-1.858(\text{s})=0.54(\text{s})$ となった。測定 1 回目と比較してスイッチング速度が長くなったと分かる。

また、オンにする時のスイッチング速度はハロゲンランプを照射させ始めた時間が 10.01(s) で 150mV 増加している。この増加はハロゲンランプがフォトディテクターに照射された影響と考えられる。電圧が一定になり始めた地点を終点とするとオンにするスイッチング速度は $80.30(\text{s})-10.01(\text{s})=70.29(\text{s})$ となった。

また、測定開始時の電圧と終了時の電圧を比較すると終了時の電圧の方がハロゲンランプの影響を受けているので小さくなっていることが分かった。

3 回目の測定は以下の様になった。

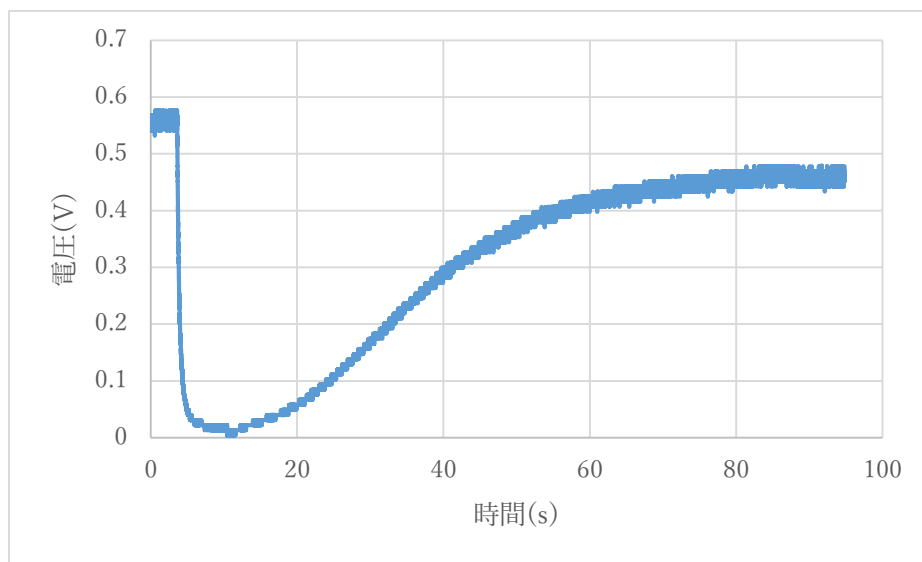


図 5-3 測定 3 回目

電圧が 0.540V から $0.540(\text{V})/e=0.198(\text{V})$ に変化するまでの時間をオフのスイッチング速度とすると $3.986(\text{s})-3.483(\text{s})=0.503(\text{s})$ となった。

また、オンにする時のスイッチング速度は $80.96(\text{s})-12.52(\text{s})=68.44(\text{s})$ となった。なお、2 回目の測定と同様に測定開始時の電圧と終了時の電圧を比較すると終了時の電圧は小さくなっていることが分かった。

・考察

・4 日目

図 4-2 の実験結果からスイッチングの速度は 5.74(s) であった。また、オンにするときは 90 秒ほど時間を要した。つまり、実用的なスイッチとしては精度が低いと考えられる。2 日目の吸光度の実験からフォトクロミック材料に紫外線を照射させて開環体に異性化されると溶液が赤紫色に変わり、緑の光を強く吸収することが分かっている。

したがって、4 日目の実験においてセル内のフォトクロミック材料に紫外線を照射させると導波された光が吸収されると考えられる。図 4-2 から紫外線を照射させると電圧が小さくなっていることからこの事実が確認できたと考えられる。

また、開環体に異性化したフォトクロミック材料にハロゲンランプを照射させると閉環体に戻るので導波した光が吸収されなくなると考えられる。図 4-3 から導波された光の電圧が大きくなっている事からこの事実が確認できたと考えられる。白色光は波長が 380nm~800nm の範囲であり紫外線は 10nm~380nm なので光の持つエネルギーは紫外線の方が大きい。従って、スイッチング速度がオンの時よりもオフの時の方が短くなったと考えた。

・5 日目

5 日目の実験では、光スイッチのスイッチング速度を早めるという課題に取り組んだ。まず、4 日目に使用したフォトクロミック材料よりも 5 日目に使用したフォトクロミック材料の方が濃度は大きかった。これは、フォトクロミック材料に紫外線を当てた時の色の濃さの変化より確認できたと考えた。また、図 4-2 と図 5-1 の光スイッチのスイッチング速度を比較すると 5 日目の方が 4 日目のスイッチングの速度よりも早くオフになっていることが分かる。よって、スイッチングの速度はフォトクロミック材料の濃度に依存することが確かめられる。また、図 5-1 と図 5-2 から得られたスイッチング速度(オフ)はそれぞれ 0.175(s)と 0.54(s)であり、紫外線の強度比は 100(%):50(%)=2:1 からオフにするスイッチング速度が紫外線の強度に依存すると確認できた。次に光スイッチのオンにする時間を短くするために 3 回目の測定ではハロゲンランプに凸レンズを組み合わせた。図 5-2 と図 5-3 の得られた実験結果からスイッチングの速度はそれぞれ 70.29(s)と 68.44(s)となった。スイッチをオフにする時には指数関数的に電圧が減少したことから時定数を用いてスイッチングの速度を求めたが、オンの時には電圧が一定になったときを終点とし関数を導入できなかったので測定の誤差が大きいと考えられる。オンにするときのスイッチング速度を短くする方法としてはより高濃度のフォトクロミック材料の溶液を用いる、またはハロゲンランプの強度を大きくすることが考えられる。

電圧を測定する際のサンプル間隔は 2.501ms、サンプルレート 399.8S/s、サンプル数は 20000 であった。

・参考文献

林正彦編著、「理科年表」、丸善出版株式会社、平成 25 年 —(参考文献 1)

櫛田孝司、「光物理学」、共立出版株式会社、1983 年 —(参考文献 2)