

チャンバー用超高輝度 LED システムの開発

○豊田 朋範^{a)}、木村 和典^{a)}、田中 清尚^{b)}

^{a)}分子科学研究所 技術推進部、^{b)}分子科学研究所 極端紫外光実験施設

1. はじめに

真空環境下で試料の分光分析を行なう際、大気や他の物質の介在を排除するため、内部をポンプで真空にしたアルミもしくはステンレス製の真空容器であるチャンバーを用いる。実験中の試料の状態観察や干渉の確認のため、チャンバー内部にカメラを設けることが多いが、入り組んだチャンバー内部を視認するのは困難である。このような場合、チャンバーの外側から懐中電灯などで光を照射するが、試料とカメラの距離が約 1m ある状態で、試料とカメラの間にスリット幅が 100 μm の狭小なスリットを通じて試料を見ようとすると、試料がほぼスリットに遮蔽される格好となり、カメラでの視認が難しい。

我々は、(1)従来品より高輝度の光を照射できる (2)安価に構成できる (3)スイッチの切り忘れや不意の高輝度光の直視による事故を防止できる (4)チャンバーの窓に接続できる ーの 4 項目を基本コンセプトとするチャンバー用超高輝度 LED システムを開発した。

2. 開発したシステムの概要

開発したチャンバー用超高輝度 LED システムの外観を図 1 に示す。

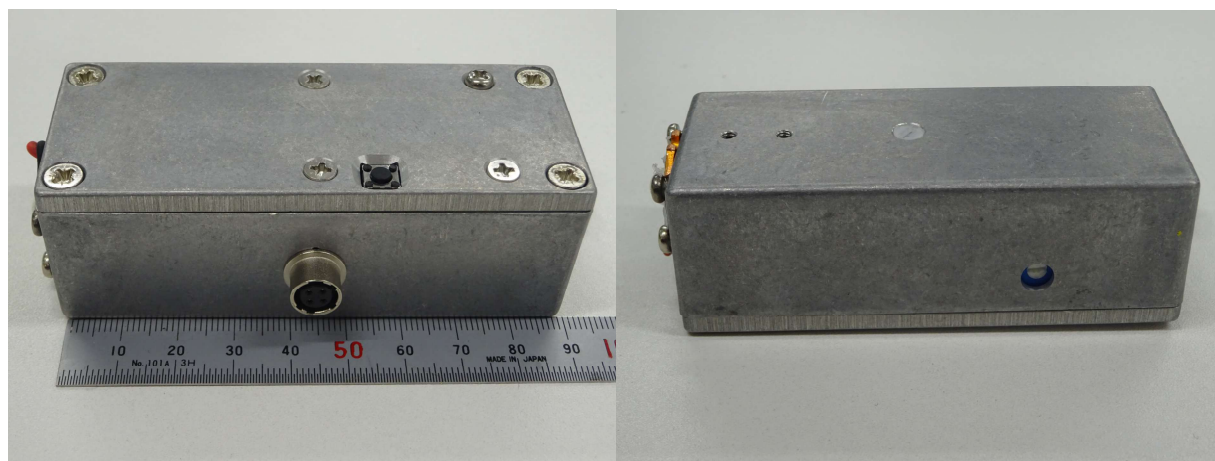


図 1：開発したチャンバー用超高輝度 LED システムの外観

92x38x31 (mm) のアルミダイキャスト製ケース 27969PSLA (Hammond) に、明るさ 21641 lm ^[1] の超高輝度 LED XHP70. 2 (販売：株式会社ピースコーポレーション) と遠隔操作ユニット用コネクタ HR10A-7R-4S (ヒロセ) を接続し、内部に LED ドライバモジュール 150306B (販売：株式会社ピースコーポレーション) と開発した制御回路並びに電流 ON/OFF 制御用 P チャンネル MOSFET IRF9510PBF (Vishay) を組み込み、集約した。電源は 6V AC アダプタ GF06-US0610A (秋月電子通商) を接続して供給する。LED と MOSFET には通電時 2. 1A^[1] の電流が流れるため、放熱対策が必須である。アルミダイキャストに LED と MOSFET を接続することで、効果的に放熱することができる。

本システムは、高輝度光を直視する事故を防止するため、AC アダプタを接続しただけでは点灯しない。本体のボタンを押すことで、MOSFET を介して LED ドライバに電流が流れ、LED が点灯する。点灯時間の

調整は本体側面のボリュームで行なう。点灯時間は約 50 秒～9 分まで連続的に調整可能である。

チャンバーと各種測定装置との距離が離れていて、本システムを遠隔操作したい場合は、遠隔操作ユニットを接続する(図 2)。ボタンを押すことで、本体のボタンと同様に LED が点灯する。

3. 汎用タイマ IC による照明 ON 時間の調整機構と MOSFET 駆動

一定時間だけ動作する回路を構成する場合、選択肢として (1) マイコン (2)FPGA(Field Programmable Gate Array : 内部回路を構成可能な大規模ロジック IC) (3)汎用タイマ IC NE555-の 3 つがある。

マイコンや FPGA では μsec さらには nsec オーダーの時間分解能を実現できるが、本システムでは高い時間分解能は不要である。また、本システムはボタンを押したら LED を ON して、設定した点灯時間後に LED を OFF するシンプルな仕様であり、マイコンや FPGA で構築できる回路規模は費用面でも大仰である。このため、本システムでは NE555 を用いることにした。

NE555 は少数の周辺部品によってさまざまな機能を実現できる。本システムに必要な「一定時間だけ ON する」機能は、トリガ入力で 1 回だけ 'H' レベルを出力するワンショットが最適である。NE555 を用いたワンショット回路の基本回路図を図 3 に示す。この回路は、pin2 の TRIG 端子が 'L' レベルになると、NE555 のタイマが起動して pin3 の OUT 端子、すなわち出力が 'H' レベルになるとともに、pin7 の DIS 端子を介して放電し続けていたコンデンサ C_t が抵抗 R_t を介して充電され始める。 C_t の電圧が電源電圧の $2/3$ に達すると OUT 端子は 'L' レベルに戻り、 C_t に充電された電荷は DIS 端子を介して放電される。 C_t の充電時間はおよそ $R_t \times C_t(\text{sec})$ で計算できる。

本システムの NE555 ワンショット回路の回路図を図 4 に示す。TRIG 端子に本体のボタンと遠隔操作ユニットのボタンの 2 個を並列に接続した。このため、どちらかのボタンを押すとタイマが起動する。また、 R_t を固定抵抗 $500\text{k}\Omega$ ($1\text{M}\Omega$ の並列接続) と可変抵抗 $5\text{M}\Omega$ の直列接続とすることで、 C_t の充電時間、すなわち LED が ON になる時間を調整するようにした。

「一定時間だけ ON する」機能だけでは、高輝度 LED を点灯するために必要な大電流を流すことは出来ない。今回は、ワンショット回路の後段に Pch MOSFET を中心とする電流制御回路を構成した(図 5)。この回路は、前述の NE555 の OUT 端子が 'H' レベルになると、トランジスタ Q1(BC817-25LT3G : ON Semiconductor)が ON して、pin2 と pin3 が導通する。これにより、Q2 の Pch MOSFET のゲート端子(G)



図 2 : チャンバー用超高輝度 LED システムに接続する遠隔操作ユニット

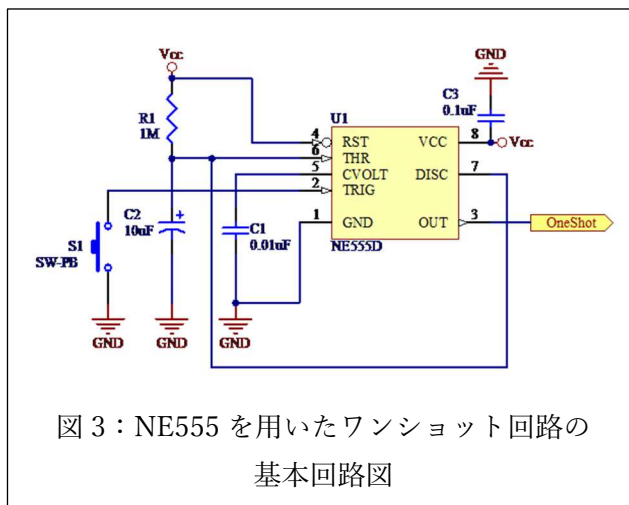


図 3 : NE555 を用いたワンショット回路の基本回路図

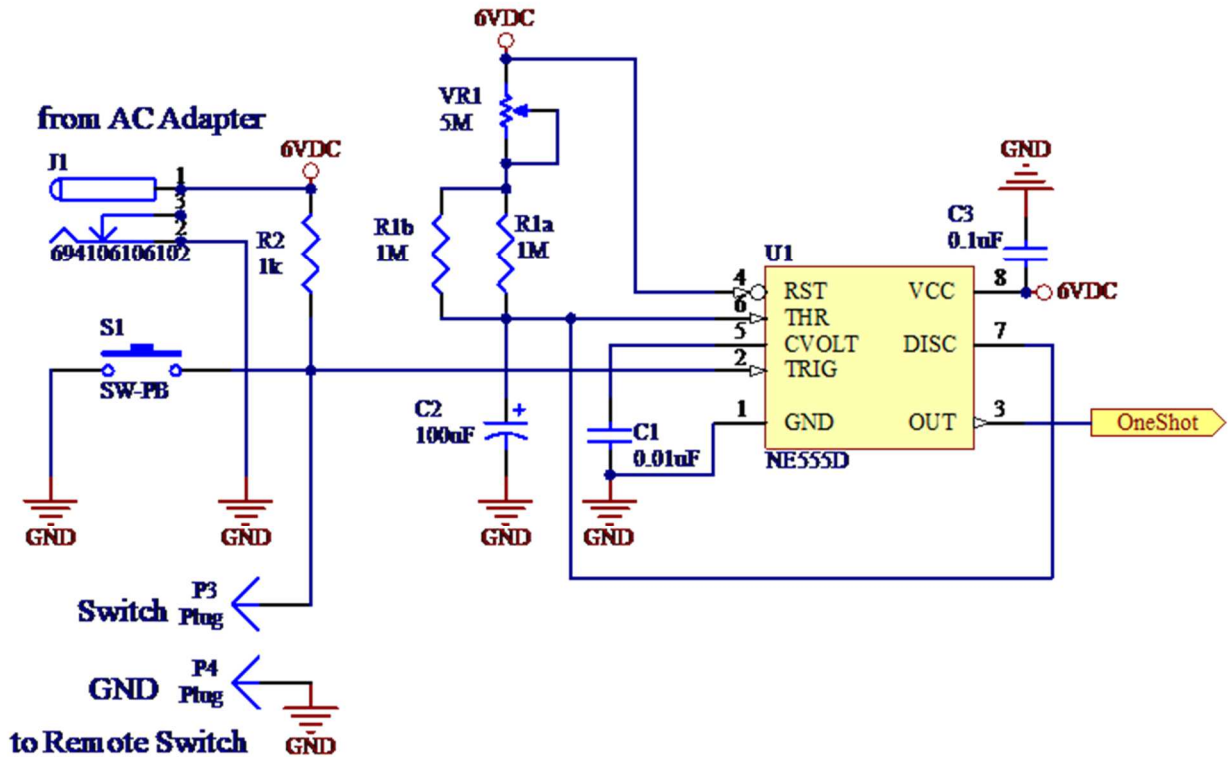


図4：本システムのNE555 ワンショット回路の回路図

とソース端子(S)の間に電位差 V_{gs} が生じ、Q2 が ON してソース端子とドレイン端子(D)が導通して電流が流れる。

図4と図5の回路は、MOSFETと遠隔操作ユニット用コネクタを除いてすべて1枚のプリント基板に集約した(図6)。容積と形状に制約があるため、機械CADであるSOLIDWORKS(Dassault Systems Solidworks)を用いてプリント基板とケース、周辺部品を3Dモデルにして、嵌合の不都合や部品の干渉がないことを検証し、すべての課題を解消してから加工した(図7)。

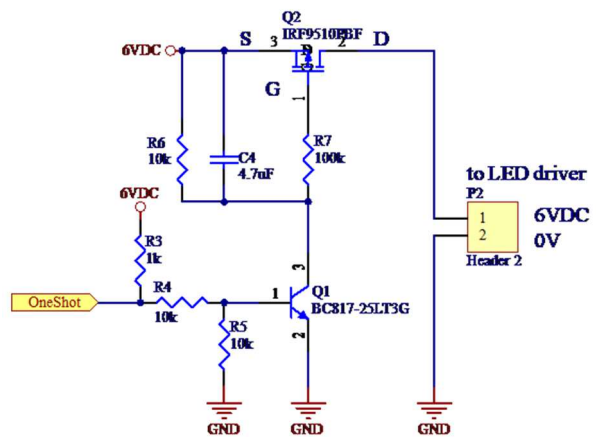


図5：Pch MOSFET を用いた大電流駆動回路の回路図

4. 長いケーブルによるトラブルとその対策

本体と遠隔操作ユニットを繋ぐケーブルは5mある。単純にケーブルの先端にボタンを接続した回路では、ACアダプタを接続すると即タイマICが動作してLEDが点灯するトラブルに見舞われた。これはケーブルの抵抗とTRIG端子の電位を固定するプルアップ抵抗(図4のR2)によって分圧が生じ、TRIG端子から見て'L'レベルが発生したと誤認されるためである。同様のトラブルは、筆者らが開発した別の制御システムでも発生した^[2]。

対策として、遠隔操作ユニットのボタンと並列に1kΩの抵抗を配置した(図8)。これにより、プルアップ抵抗(図4のR2)とで生じる分圧は、TRIG端子から見て閾値である $1/3 \times \text{電源電圧}^{[3]} = 6V/3 = 2V$ を

上回り、'L' レベルではないことが確定する。この対策を施したユニットにより、誤動作は解消した。

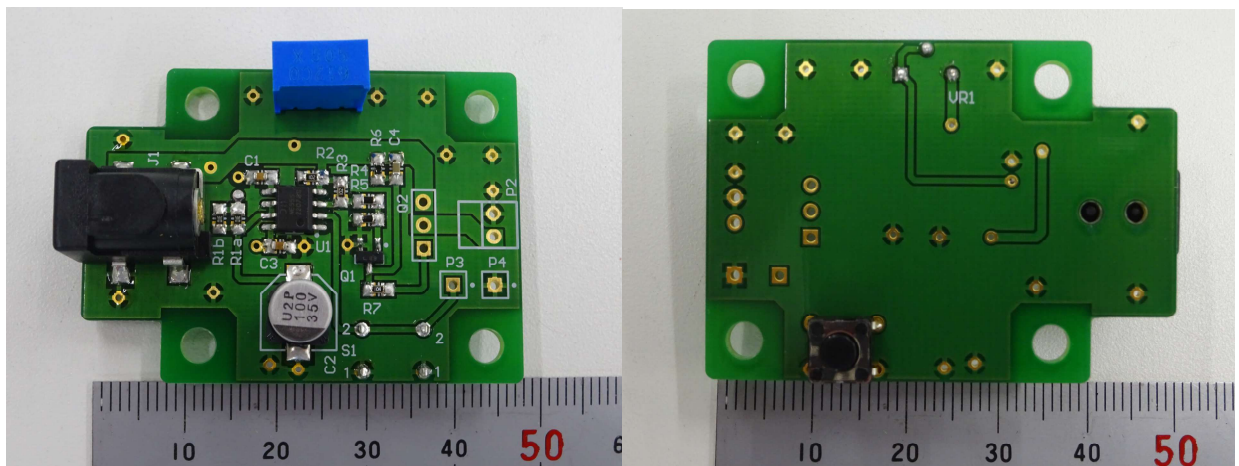


図 6：本システムのプリント基板(表・裏)

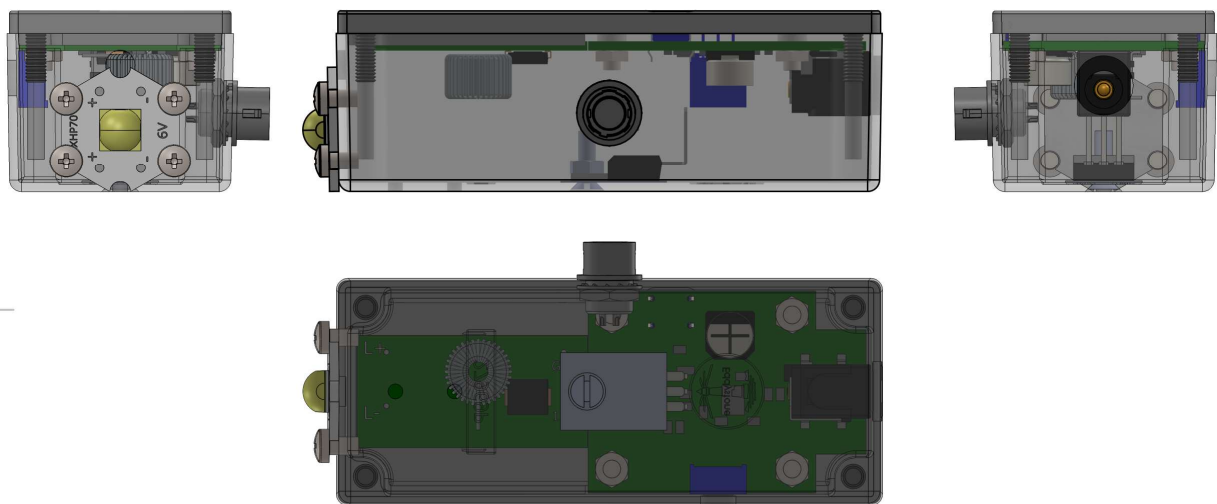


図 7：SOLIDWORKS を用いた本システムの加工図(抜粋)

5. おわりに

本システムは、チャンバーの窓枠などに用いられる ICF70 フランジに固定できる(図 9)。人が持つ際の負担がなく、不意の動作による落下や直視等の事故を防止できる。アルミダイキャストを含めて汎用品やセカンドソースを採用し、駆動・調整回路の構築に汎用タイマ IC を採用して製造コストを抑えた。機械 CAD を用いた嵌合や干渉の検証並びに加工図面の整備により、量産も視野に入れた効率的な製作が可能である。

NE555 を中心とする回路は、デジタル回路全盛の昨今では時代遅れと見なされることがある。しかしながら、本システムのように高い時間分解能や精度が不要で、直感的な操作が必要な場合は、プログラミング環境が不要で数点の周辺部品で様々な機能を構成できる NE555 の方が、試作評価や製造に要する時間やコストの面で有利である。1 つの分野にとらわれないことは勿論、NE555 など定番の部品や回

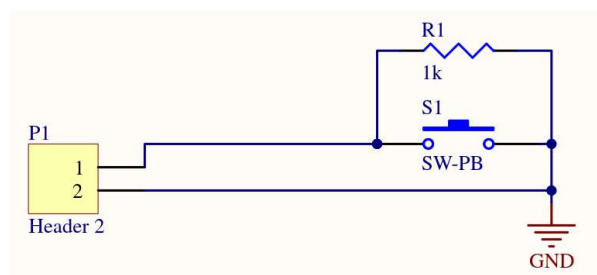


図 8：誤認防止対策を施した遠隔操作ユニットの回路図

路を動作原理から理解することで、思わぬ活路が開ける可能性があると考えます。

本システムは、AC アダプタで電源を供給してチャンバー内部を明るく照らすという極めてシンプルな仕様であるが、既存機器では明るさが不足し、高輝度 LED を見つけても実験現場の需要に応じた機能を搭載した形で集約し、駆動する手段がなかった。本システムのように、技術職員の専門分野の知識や技術が実験現場の課題を解決する可能性は、潜在的にも多数存在すると思われる。実験現場に足を運び、現場の研究者や学生と膝を突き合わせて議論することの重要性は、オンラインツールが普及しても不変であり、今後も精力的に進めていきたい。

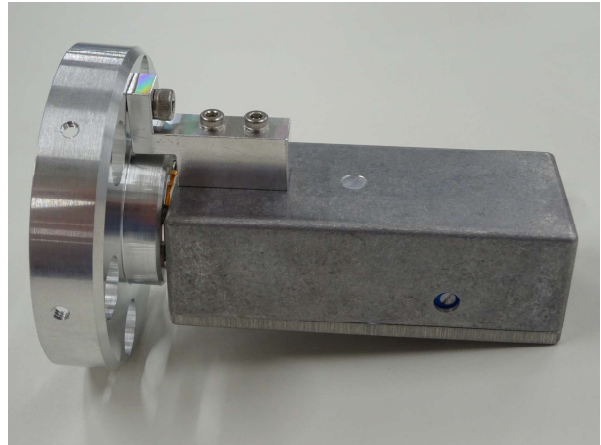


図 9：ICF70 フランジ固定用マウントに本システムを固定した状態

謝辞

松尾純一氏(分子研)には、本システムの試作評価で 3D プリンタを用いた治具を設計・製作いただいた。澤田俊広氏と菅沼光二氏(いずれも分子研)には、ICF70 フランジ固定用マウントを製作いただいた。各位に厚く御礼申し上げます。

参考・引用文献

- [1] CREE XLamp XPH70.2 仕様, <https://www.led-paradise.com/product/2682>
- [2] 豊田朋範, “クリーンルーム統合制御システムの開発-FFU 制御ユニットとトラブル対策-”, 装置開発室 AnnualReport2020, p24-25
- [3] NE555/SA555/NA555 データシート, Diodes incorporated, https://www.diodes.com/assets/Datasheets/NE555_SA555_NA555.pdf