

精密温度制御用直流安定化電源

最終更新日：2015/12/11.

Copyright by Pham's group.

背景

半導体、化学、食品、セラミック等の製造において、直流安定化電源がよく使われている。特に、温度を精密に制御したい場合、直流安定化電源が必要不可欠である。通常のリレーによる ON/OFF 制御だけでは、温度の誤差が数%と大きく、またリレーから発生したノイズが問題となる。しかし、電流・電圧を連続的に制御できる直流安定化電源を用いれば、温度を非常に精密に制御でき、その誤差が 0.1%以下に押さえることができる。

当研究室では、半導体の分子線エピタキシャル結晶成長装置(MBE)において、分子線を発生させる Kセルを駆動するために、大量の温度制御用直流安定化電源を使う。装置あたり、6台~10台の安定化電源が必要である。メーカー製の Kセル駆動用専用品は 600W で 50~50万円と高い上に、1Uラック以上の面積が必要である。温度制御用直流安定化電源を自分たちで組み立てるためには、菊水電子、Texio、TDK ラムダ等のメーカー製の汎用直流安定化電源と温度調節器を組み合わせると、コストが約 20~30万円半減できる。しかし、汎用直流安定化電源が無駄な機能が多く、600W 級以上になるとやはり 1Uラック以上の面積が必要であるため、コンパクトな電源を作製できない問題がある。

目的

今回に、メーカー製の汎用直流安定化電源を使わずに、最低限の機能を持つユニット型直流安定化電源を用いる独自の電源装置を作製して、実際に MBE 装置の Kセル駆動に使用する。また、夏休みの課題として作製を卒研生にまかせる。作製の過程において、部品コストの計算と電気回路やアナログ電子回路などの講義で勉強したことを実践することによって、専門知識のみならずビジネスセンスも育てると期待できる。

電源仕様

- ・出力パワーが 600 W 以上、出力電圧 48V・出力電流 10A 以上出力できること。
- ・大きなデジタル電流計、電圧計による表示が可能であること。
- ・出力を手動で ON/OFF で切り替えること。
- ・デジタルコンピュータによる PID 制御できること。
- ・面積が 1Uラックの半分以下であること。
- ・ユニットコストが 10万円以下であること。
- ・実用化可能なレベルで安定動作できること。
- ・電気回路、電子回路の基礎を学習した学部 4年生でも組立てることができること。

部品リスト

部品名	会社名	税抜き価格 (千円)	備考
PBA600F	コーセル(日本)	28	600W 主電源、負荷駆動用
PLA15F	コーセル(日本)	1.6	5V 電源、デジタルパネルメータ駆動用
DE-3370E	得益工業儀器有限公司(台湾)	1.2(×2台)	デジタルパネルメータ
DS 60A 60mV	第一エレクトロニクス(日本)	1.1	分流器、電流測定用
DB1000	CHINO(日本)	49	温度調節器
LM2904	TEXAS INSTRUMENTS(米国)	0	オペアンプ (電圧フォロワー回路用)
SU-150	LEAD(日本)	6	1U ユニットケース
その他		2	抵抗器、電線、圧着端子、配電端子台など
合計		90.1	

以上の部品で税込み 10 万円以下に作製できることが分かります。以下に、主要部品の役割を説明する。

*** PBA600F** : コーセルのユニット型 600W 級安定化電源ユニット。DC 出力 48V-13A。外部電圧による制御が可能で、制御端子において 0-2.5V で電圧を 0-48V に制御できる。しかし、温度調節器からの制御信号は 0-10V であるため、分圧が必要である。PBA600F の仕様によると、制御端子内部に 1.73kΩ の抵抗があるため、外付けの $1.73 \times 3 = 5.2$ kΩ を制御端子に直列に入れると、10V 信号で制御できる。また、出力を ON/OFF できる制御端子や 12VDC 電源を出力できる端子もあるため、大変便利な電源である。

*** DE-3370E** : 電圧と電流の計測用デジタルパネルメータ。200V、20V、2V、200mV のレンジを内蔵の分圧抵抗と ADC 変換器で測定し、LED 表示器に表示できる。電圧測定の場合、200V レンジで測定する。電流測定の場合、下記分流器の両端電圧を 200mV のレンジで測定する。駆動電源が 5V 3A 出力できる PLA15F を用いる。

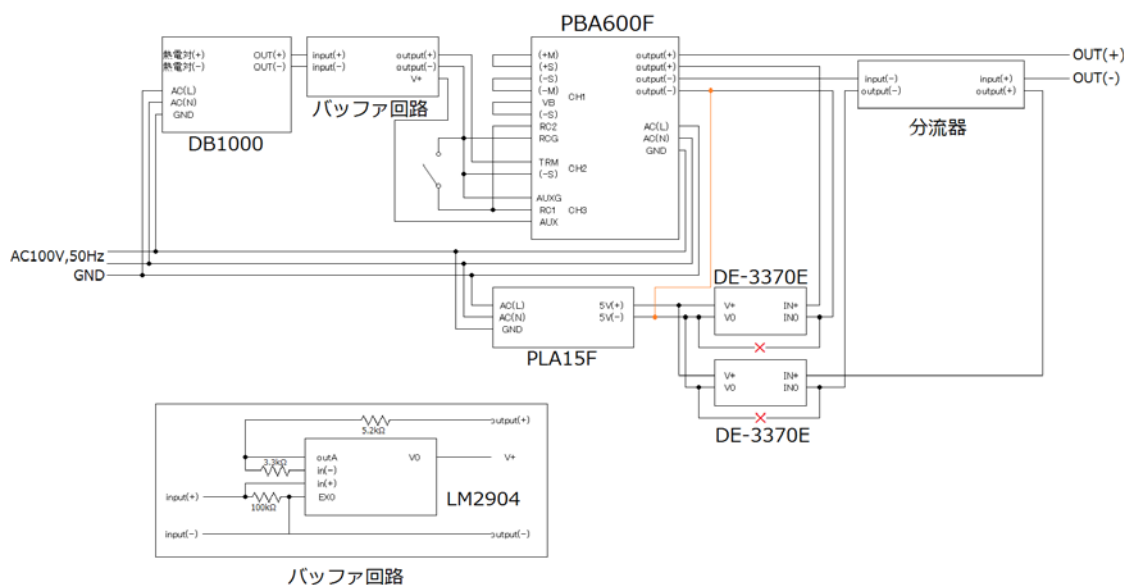
*** DS 60A 60mV** : 大電流を測定するには、分流器が必要である。分流器を負荷と直列に挿入し、その両端の電圧を測定すれば、大電流を測定できる。今回は 1A を 1mV に変換して、その電圧を正確に測定できる DE-3370E を使う。1A を 1mV に変換するためには、正確な 1mΩ の抵抗を持つ分流器が必要である。今回、第一エレクトロニクスの 60A

60mV の製品を採用する。従って、最大で 60A の電流を計測できる。

* **DB1000**: CHINO 社の温度調節器。PID 制御はもちろん、ランプモードも設定できる。設定仕方が比較的簡単で、Kセル駆動のように頻りに温度を変える必要が場合に適する。

* **LM2904**: 汎用オペアンプ。CHINO 温度調節器の制御信号の出力端子はあまり電流を出力ができないため、50kOhm 以下の負荷を駆動できない。一方、PBA600F 制御信号入力端子は外付けの抵抗を含めて 7kOhm 程度であるため、そのままでは CHINO 温度調節器で制御できない。従って、両者の間に電圧バッファを挿入する必要がある。そこで、電圧バッファを単電源で駆動できる LM2904 のオペアンプを用いた電圧フォロワー回路で実現する。このオペアンプが 12V 電源で 0-10V の電圧を出力できるため、ちょうど良い。オペアンプ駆動用の 12V の電源を PBA600F の AUX 端子から取り出せるため、12V の専用電源が不要である。

電源回路図



・ バッファ回路

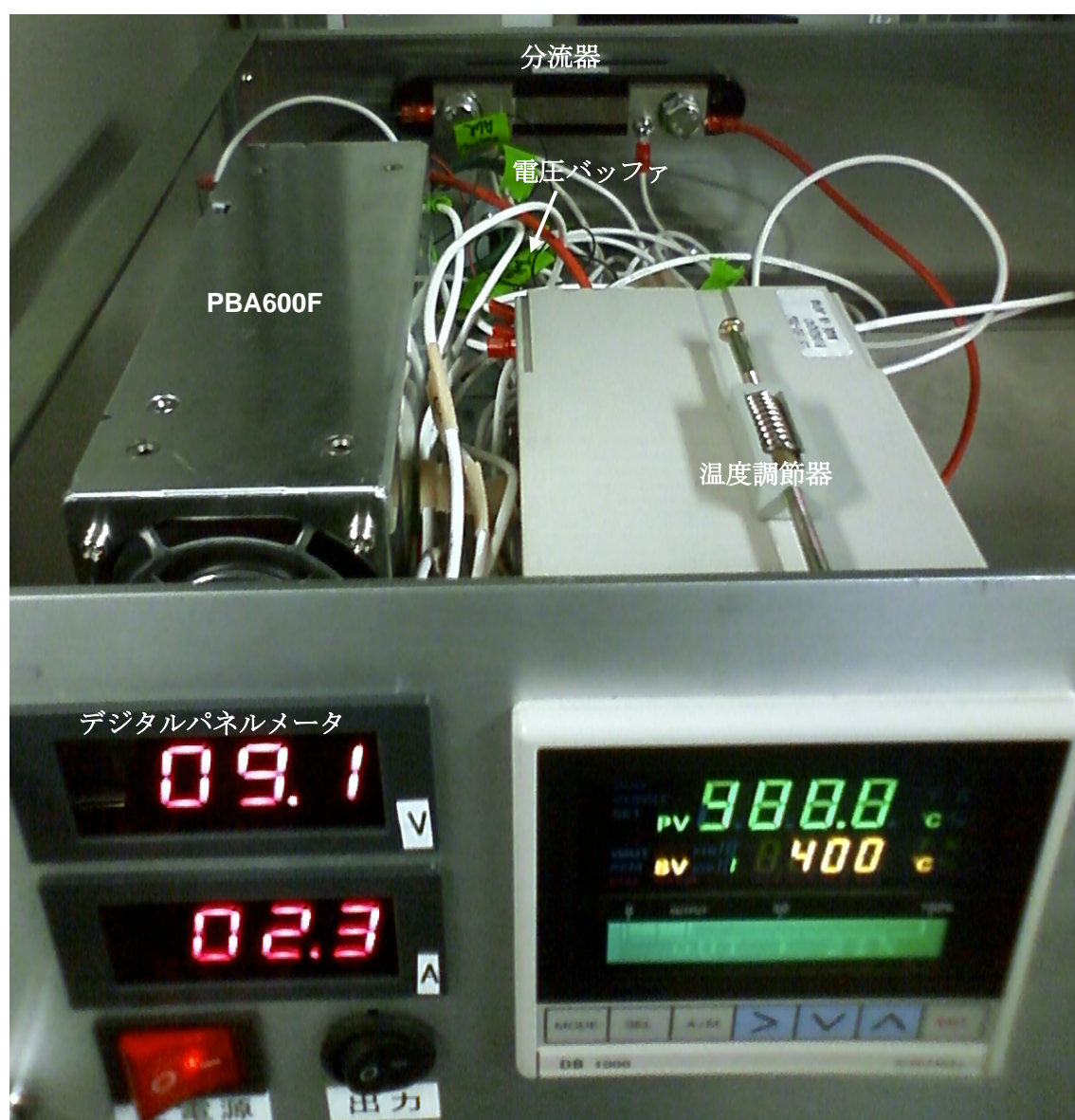
温度調節器から電流源への接続にはバッファ回路を経由してあり、これにより温度調節器側からみる入力インピーダンスを高め、またオペアンプの出力端子に 5.2kOhm 抵抗を入れることによりオペアンプの出力電圧を PBA600F にとって適切な制御電圧(0 - 2.5V)に変換している。

・ デジタル電流・電圧計

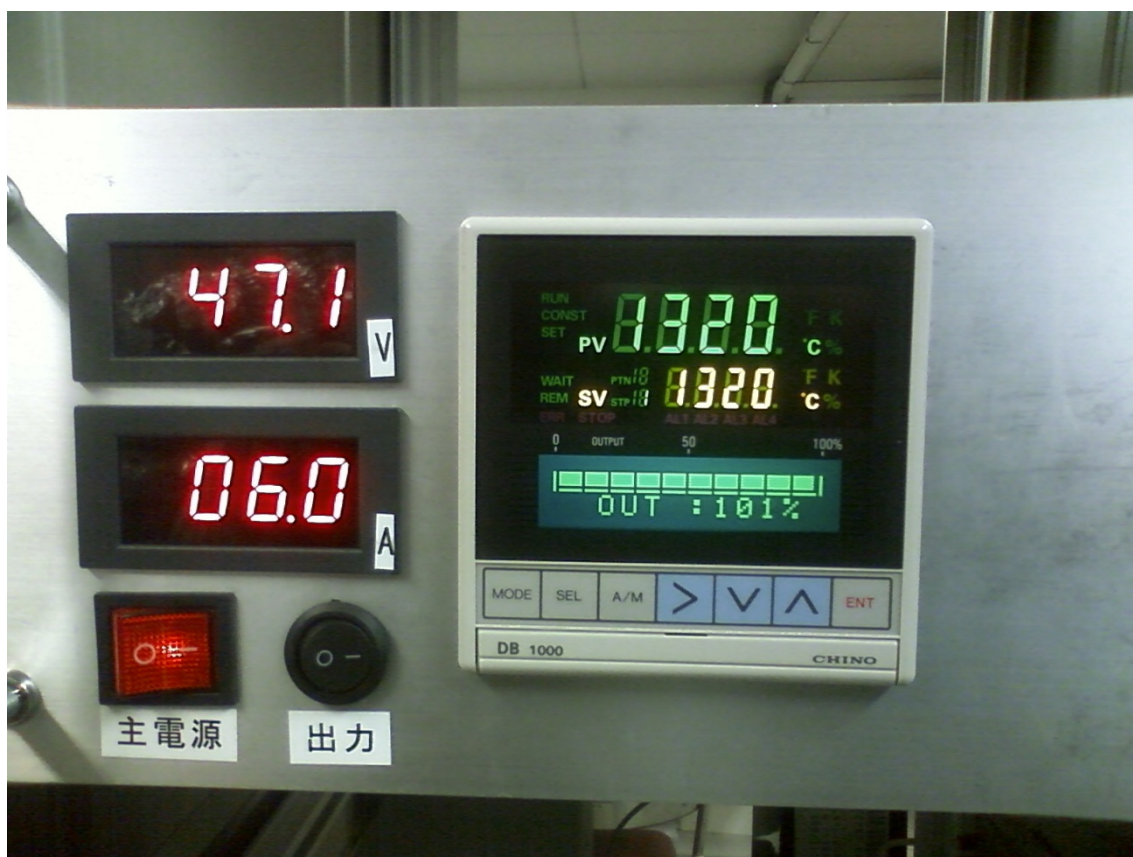
今回使用しているデジタルメータは内部で 5VDC 電源と測定端子とで完全には絶縁されていないため、分流器を PBA600F の DC 出力 (+) 側に対して接続した場合、最大 40V のコモ

ン電圧が測定端子に入力されるため、IC を破損するため注意が必要となる。PBA600F と PLA15F の DC 出力(-)端子を共通化した上で、分流器を絶対に PBA600F の DC 出力(-)側に接続しなければならない。DE-3370 の仕様書では、測定端子(-)と 5VDC 端子の(-)端子を共通化すると書かれているが、これを共通化してしまうと、分流器から測定端子(-)に電流が流れ込み、経路抵抗による数 mV/A の電圧降下が生じる。これにより、電流値を正しく測定できない。本装置では、DE-3370 の測定端子(-)と 5VDC 端子の(-)端子を開放している。実際に、この両者の電圧差が数 mV~数 10 mV であるため、開放しても問題がない。

作製した装置の写真



学部4年生の手作りの精密温度制御用直流安定化電源の内部写真



高温 K セルを 1320°Cにおいて、正確に制御している様子。

市販品との比較

	本装置	メーカー専用品	汎用安定化電源
コスト(600W 級)	10 万円	50~70 万円	20 万円
面積(単位：ユニットラック)	0.5 U	1U~2U	1U
出力 ON/OFF	可	可	可
電圧・電流表示の見易さ	優	可	良

製作者からのコメント (Pham 研卒研究生の荒川君と長峰君)

電気系の授業との関連性は、強いて言うなら分流器を用いて電流を電圧に変換することで比較的大きな電流も測れるようにしてあることくらいだが、配線の抵抗の大きさが影響し、また電流計も接続箇所によっては破損するなど理論と実際に作成する場合には大きな違いがあることがわかった。