

電気通信大学 工研部 教

2015

- オープンキャンパス号 -



目次

~Contents Page~

・コイルガン制作.....1	
	山口昌吾
・リアルタイムクロックを使用した 液晶表示置時計の製作(準備)..... 5	
	小林豪太
・競技用自転車組上げのススメ.....6	
	平畠佑樹
・エレキギターの構造と制作案.....13	
	ジジイ
・YAHAアンプの製作..... 16	
	栗島
・beatmaniaコントローラーの製作.....20	
	安川
・光変調器について.....23	
	横田嶺

コイルガン制作

K科1年 山口昌悟

I. はじめに

ここ電気通信大学に入学してはや3ヶ月。入部してからは2ヶ月ほど経つ。それなりに忙しくも穏やかな日々を過ごしてきたが今回、部報を書くこととのお達しを受けた。緩やかライフを甘受してきた僕はサークル活動としては、秋葉原講習会、3DCAD講習会、C言語講習会、と基礎知識の勉強しかしてこなかった。つまり、僕はまだ何一つ工作を行っていないのだ…

については、今回報告出来るのはあくまで制作予定の作品である、ということをお詫びしておく。

II. 制作予定物

コイルガン

一コイルガンとは、瞬間にコイルに電流を流し、それによって発生した磁力でプロジェクトイル(弾)を飛ばす、というものである。

今プロジェクトで作る(予定)のものは、このコイルをいくつか連結させた形式のものであるが…それぞれのコイルに電流を流すタイミングについては正直、実験してみなければわからない。そこで今回は、飛翔してきたプロジェクトイルを赤外線で感知し、遅延無しで次のコイルに電流を流させる形式を紹介したいと思う。

また、これはあくまでも試作機であり、それぞれの形状設計に理論的根拠は特に存在しない、ということを前もって記しておく。今後はこれや多少条件を変えた他の試作機のデータを基にしたより効率的な型が追求されていくことだろう(他人事)。

と、ここまで書いてきたが、正直筆者は電子回路の勉強がまだほとんど進んでいない…具体的には昇圧回路も物体の赤外線探知回路も理解していない。つまり今回は説明を書くことができない、ので、筆者が中学時代に友人と作った(正確には手伝っただけ)コイルガンの紹介で勘弁してもらおうと思う。(といつてもどんなやつかよく覚えてないけど…とか著作権的に大丈夫かこれ…?)

III. 必要資材

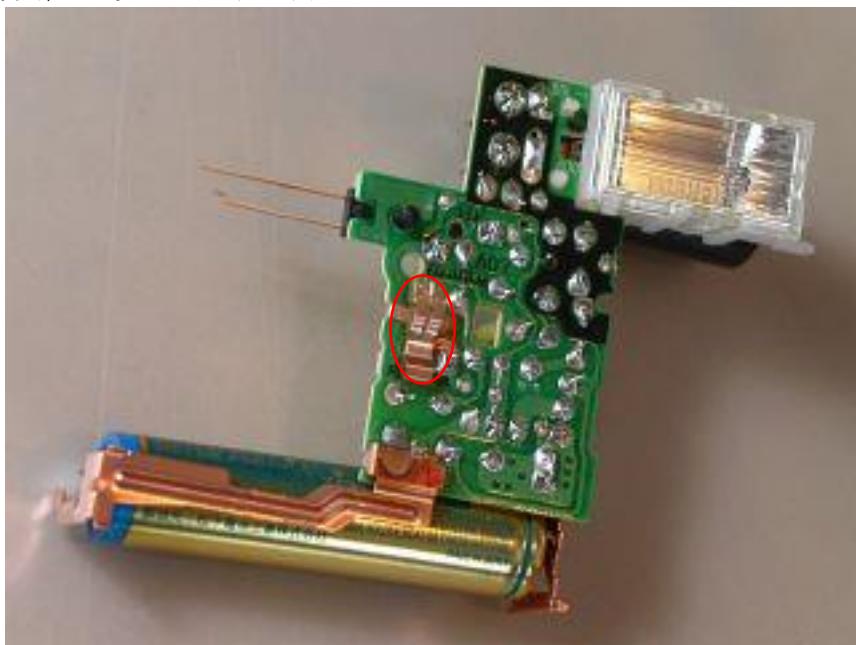
- ・中抜けのプラスチックの筒；コイルを巻きつける。これ自身も銃身になる。直径=5 mm、
長さ 50 mm 位
- ・エナメル線；↑に巻きつけてコイルとするためのもの。長さ X m × Y 本分
- ・テープ類；巻きつけたエナメル線を固定するためのもの(必要ないかも)
- ・電解コンデンサ；発射エネルギーを貯めて、瞬時に放電させる
- ・スイッチ；これとても重要です。数十アンペアの電流が発生しますので指を飛ばさない
ようよく注意してください。
- ・使い捨てカメラ；ここに入ってる昇圧回路を使って電圧の昇圧を行い、ここに入っている
トリガー回路で瞬間に放電させる。(次回はこの回路を自作した
い。)
- ・プロジェクトイル；弾。鉄製の飛びそうなものならなんでもいい。我々はネジを使って
いた(金工室にたくさん落ちてた)
- ・電池；エネルギー源。カメラ基盤をそのまま使うなら単4型が良い。

IV. 制作

といっても特に書けることがない、筆者は主要な部分はほとんど見ているだけだったし...
コイルはよく巻けばいいんじゃないかな？

カメラについては、フラッシュを焚くための回路を取り出します。言うまでもなく回路には触らないこと、感電することもある。指が飛ぶとか、ショック死とか。

分解して現れる回路が下図

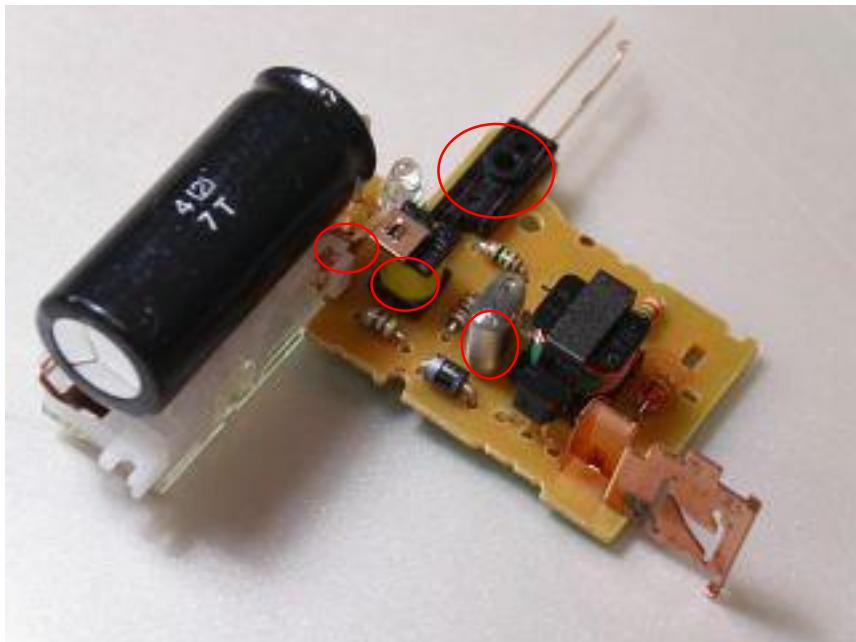


これを少し加工する。

...その前に、コンデンサーの足を金属製の工具か何かで十分ショートさせておこう。

まず、上図であるで囲んだ部分をはんだづけして常に通電される状態にする。ここはもともとフラッシュ充電開始スイッチであるが、充電の Start&Stop は電池の出し入れや、もっと操作しやすいものを挟めばいいと思う。

次に、下図で丸で示す部品(キセノン管、トリガートランジス、スイッチ、コンデンサ)を取り外す。



り外す。

次に、コンデンサーの足に、他のコンデンサーを並列でつなげる。ここでアノード、カソードを間違えてつなげると大変なことになるそうです。

そろそろ、銃身を作る。

プラスチック筒にエナメル線を巻きつける。エナメル線の一端にスイッチを取り付ける。終わり。

銃身のエナメル端とスイッチを、先ほどのコンデンサーの足に直列でつなげる。

完成。

あとは、プロジェクトタイルをセットして、電池を入れて、充電が完了したら、スイッチオン、発射成功。終わり。

V. 反省

まず最初に、本当に申し訳ありませんでした。

第一回目のレポートがこのような形では、本当に先が思いやられる…

次回は少なくともこれの実物を作ったもの、更には多段式、欲を言えばレールガン(いや無理か...)、を報告で来ればと思う。

VI. 引用

写真類

<http://abcdefg.jpn.org/elebunkai/utsurundesu/cc.html>

リアルタイムクロックを利用した液晶表示時計製作（準備）

一年 I科 小林豪太

○はじめに

電子工作は学校の授業でラジオを作ったぐらいしかありません。ほぼ初めてなので余り冒険せずに本にのっていた作例を模倣しようと思っています。部品等もネットで確認したところまだ在庫があるようなので調度いいと思いました。

○目的・動機

今現在自室に時計が無く時間確認に困っているので、その現状を打破するために作りたいと思っています。

○内容

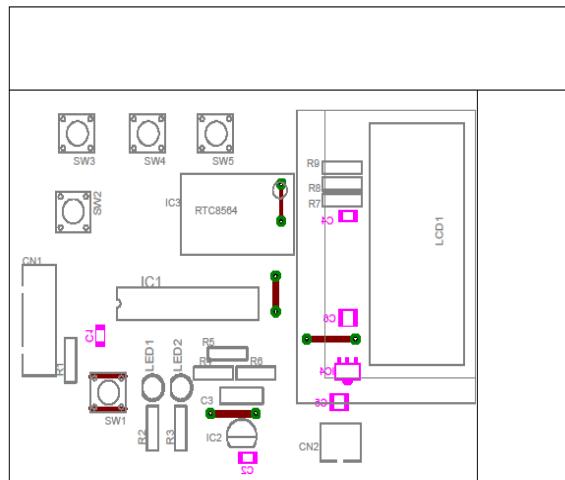
リアルタイムクロックを使用して日付と時間（時分秒）を液晶に表示する。また温度計をつけて温度表示もする。電源は乾電池を予定。

○主な材料

PIC マイコン (IC1)	PIC16LF1709-I/P
温度センサ (IC2)	S8100B
リアルタイム クロック (IC3)	RTC8564
3端子レギュ レータ(IC4)	MCP1700T-3302
液晶表示機 (LCD1)	SB1602E

その他抵抗、発光ダイオード、コンデンサ、ソケット等ありますが表が長くなりすぎるので省きます。

○時計組み立て図



○今後の予定

今はマイコンの使い方とプログラムの内容と仕方を学習しています。夏休みに入る前にはどうにかこうにか形にしたいと思っています。早く自動車教習をひと段落つけたいです。

参考文献

技術評論社『電子工作入門以前』
2015/4

競技用自転車組上げのススメ

情報理工学部 知能機械工学科 2年 平畠佑樹

せっかく大学生になったのだし、何か新しいことを始めてみたい。

そう思った自分は、サイクリングを始めることにした。

でも、ただ既製品を買ってそれに乗るだけでは味気ない。どうせなら自転車をパーツから組み立て、自分だけのマシンを作りたい。と、いうわけで自分が組み上げた自転車の紹介をする。あと、ついでにこれから競技用自転車に乗ってみたい人に向けて軽く自転車の選び方も書いておく。

1. 自転車の種類と選び方

競技用自転車と聞けば、大体の人はロードバイクを思い浮かべるだろう。しかし実際には乗る人の目的や好みに合わせて他にも様々な種類がある。今回は競技用自転車の中でも3種類紹介する。

A) ロードバイク

最も一般的。軽い車体と細いタイヤのおかげで、楽に高速で走行できる。

普及しているだけあってバリエーションも豊富なのも魅力的。見た目でも性能で自分の納得のいくものを見つけられる可能性が高い。

しかし本領を発揮できるのは整備された道であり、悪路での走行にはあまり向いていない。

B) MTB（マウンテンバイク）

これも一般的に普及していると思われるがちだが、ホームセンター等自転車専門でない店で売られている安価なものほとんどが山道の走行に適していない、見た目だけMTBの自転車である。

舗装されていない急な斜面を走行するのに適している。が、その分重く、タイヤ幅も広いので平地での高速走行はロードバイクに比べてキツい。

C) シクロクロス

MTBとロードバイクを足して2で割ったような特徴を持っている。平地での走行、悪路での走行どちらもそれなりにこなせるオールラウンダー。しかしあまり流通しておらず、種類も乏しいので選べる幅が狭い。

今回自分が組んだ自転車はこれである。

2. シクロクロスの組立て

A) 自転車として最低限必要なパーツ

- フレーム

最も重要なパーツ。まずこれを選ばないと他のパーツを選ぶことができない。フレームに合わせた規格のパーツを揃えないと自転車は組み上げられないので、こいつの仕様書をしっかり読んでおかなければならぬ。



- ホイールセット&タイヤ

これはフレームの規格に合うものを選ばなければならない。イギリス、アメリカ、フランスなど様々な規格が存在するので、間違いに注意する。ホイールセットとは、ホイールの軸であるハブ、軸から伸びている針金のスポーク、外周部のリムで構成されている。

- ハンドル&ハンドルシステム

一般的にロードバイクで使われるハンドルには様々な種類がある。これは個人の好みなどでドロップハンドル、バーハンドル等自分にしつくりくるものを選ぶ。だが、ハンドルだけではフレームに装着することができない。そこにハンドルシステムという前輪の操舵をするフォークとハンドルを組み合わせるパーツが必要となる。



- クランク

ペダルからの力をチェーンに伝える部分。ここにも規格はあるが、後述するボトムブラケットと同じメーカーのものを用意すれば問題ない（はず）。



- ボトムブラケット

フレームは大抵そのままクランクを挿したら大丈夫なようにはできていない。フレームの真ん中にあいている穴とクランクを接合させるユニットが必要である。これをボトムブラケットと呼び、フレームによって規格が変わる。



- ペダル

これも取り付けるクランクによって規格があるので注意する。ただ足を乗せるだけのフラットタイプと、専用の靴を履くとペダルに固定できるようになるビンディングタイプがある。今回自分は片面はフラット、裏面はビンディングの複合タイプを選んだ。



- サドル&シートポスト

サドルに関しては自分の好みで選ぶのが良い。シートポストとは、サドルとフレームの間の高さを調整する棒のことである。このシートポストの径はフレームによって異なるから注意が必要である。

- ディレイラー

これはチェーンに干渉してギア比を変える機構の名称である。クランクに直結しているギアを制御するのがフロントディレイラー、後輪の軸に直結しているギア（スプロケットと呼ぶ）を制御しているのがリアディレイラーである。



- STI レバー

これはブレーキとギアのシフトチェンジが同じレバーでできる素晴らしいパーツである。これも自分の好みや変速数で選んでしまって良い。



- チェーン

これはロードバイク用、MTB用がある。注意しておくべき点は、ギアの変速数によって規格が変わること。ちゃんと自身の自転車に合っているチェーンを選ばないとギアとチェーンがかみ合わない。

- スプロケット

これは後輪の軸に直結されているギアが何層にも重なっているパーツの名称である。これはSTI レバーの変速数に合っているものを選ぶ必要がある。



- ブレーキ

主に普通のママチャリの前輪に取り付けられているような、制動装置がホイールのリムを挟み込むキャリパータイプと、バイクに採用されているようなホイールの軸に取り付けられた金属の円盤を挟み込むようなディスクブレーキタイプがある。キャリパーならほとんどどのフレームにも合うが、ディスクブレーキはまだ

- 取り付けられないフレームも多い。
- ブレーキ&シフトワイヤー
STI レバーとブレーキ、ディレイラーを連動させるワイヤーである。ブレーキワイヤーとシフトワイヤーは別物なので同じものを二個買ったりしないように。

B) 実際に組立て



2015年1月の終わりごろ、注文していたフレームが届いた。そしてフレームの穴という穴の径を測り、それよりパーツの選考に入った。この作業にかなりの時間を使ってしまい。実際に組み立て始めるのは2か月後になる。



春休みの一日を使って、サイクリング部の友人と共にクランク周りとホイール、

ブレーキとディレイラー、サドルを一気に取りつけた。実はこのときまだハンドルシステムが届いておらず、ハンドルを取り付けることができなかつたので STI レバー やワイヤー類はまだ取り付けていない。



ハンドルシステムを取り付けた。ハンドルシステムを取り付けるフレームの軸が長すぎて見栄えが悪かったので、グラインダーで短くした。あとは STI レバーとワイヤーを取り付けるだけ。



STI レバーとワイヤーを取り付けて完成！ブレーキのワイヤーを取り付けているとき誤ってワイヤーを断線させてしまい買いに走る羽目になったのは内緒。

以上が組立の記録である。かなり大雑把なので参考にできないと思うが詳しいことはネットで調べれば動画付きで解説してくれるのでそれを参考にするのが一番良い。

以下実際に組み上げたシクロクロスのパーツ名称一覧である。

- フレーム
MERIDA (メリダ) CYCLO CROSS 500 FRAME
- ホイールセット
SHIMANO DEORE XT 27.5 インチ/650B ホイール 前後セット
- タイヤ
マキシス デトネイター フォルダブル 27.5 x 1.5
- チューブ
SCHWALBE 27.5×1.50/2.40 用軽量チューブ
- ハンドル
SHIMANO PRO LT コンパクト ハンドルバー (31.8) ブラック
- ハンドルシステム
タイオガ (TIOGA) AL9 ROAD ステム 31.8/17°
- クランク
SHIMANO FC-4600 53×39T 175mm Tiagra クランクセット
- ボトムブラケット
SHIMANO SM-BB9000 BSA ロード用
- ペダル
SHIMANO PD-A530 [EPDA530] 片面 SPD ペダル シルバー
- サドル
SELLE ROYAL PERFORMA Supra Anatomic スポーツ(15°)
- シートポスト
TIOGA(タイオガ) AL2000
- フロントディレイラー
SHIMANO 105 RD-5700-SS ダブル シルバー
- リアディレイラー
SHIMANO FD-5700 ブラック バンドタイプ 31.8mm
- STI レバー
SHIMANO Tiagra 4600 STI Double 10
- チェーン
KMC 10 スピード用チェーン X10 シルバー

- スプロケット
SHIMANO CS-4600 10S
- ブレーキ
SHIMANO ディスクブレーキ BR-M416 SM-RT30 前後セット
- ブレーキワイヤー
SHIMANO ロード用 SUS ブレーキケーブルセット ブラック
- シフトワイヤー
SHIMANO ロード用 SUS シフトケーブルセット ブラック

3. 今後の活動について

次は工学研究部らしく、電子工作をしようと思っている。目標は自転車の速度などを計測して表示する、サイクルコンピュータを作ることだ。今の自分はマイコンの制御など何も知らない初心者なので道程は長そうだ。とりあえず LCD の制御に成功したので、これからどうやって速度を計測させるセンサー部分を作るか調べることにする。

エレキギターの構造と制作案

知能機械工学科 2年 ジジイ

1. はじめに

こんにちは、最近本名で呼ばれなくなったジジイです。このサークルに入ったときから、いや高校生のときから作りたいと思っていた物がありました。それはエレキギター（以下、ギターと省略する）です。高校生のときに安いギターを塗装し直す機会が有りそのときからずっと作りたいと思っていたが、ズルズルと先延ばしにしていたので今こそ作ろう！と思い立ったのである・・・とは言いつつまだ何も作っていません。すみません。しかし、オープンキャンパス用の部報を書かなくてはならないということなので、今回はギターの構造の解説、そして制作案についてつらつら書いてお茶を濁すことにしてるので最後まで読んでいただけたら幸いです。

2. エレキギターの構造

まずはギターの構造について解説していきたいと思います。ギターはおおまかにヘッド+ネックとボディに分けることが出来ます。それではそれについて細かく見ていきましょう。

～ネック～

(1) ヘッド

ギターの先端部分です。この後記述するペグやメーカー名、シリアル番号が書いてあります。メーカーによって様々な形状をしており、そのメーカーの顔にもなります。

(2) ペグ

弦を巻いている金属部品です。この部分を弄ることによってチューニングを行います。チューニングの精度を高めるロック式など形、材質、性能などが様々あります。

(3) 指板

ネックの表側の表面部分です。弦を挟んで指が直接触れる部分であり音やふいいーリングに関わってくる部分で、材質はメイプル、ローズウッドが代表的。

(4) フレット

音階をはっきりさせるために指板に打ち込まれている金属。エレキギター、ベース特有なものではないでしょうか。

(5) トラストロッド

木材のしなりを矯正するためにネック内部に仕込まれている棒である。金属だつたりカーボンだつたりする。

～ボディ～

(1) ボディ本体

ギターのメイン部分ですね。勘違いされている方が多いですがほとんどの場合木材で出来ています。材質はアルダー、メイプル、バスウッド、マホガニーが有名。ボディの形状は多種多様でギタリストの好みが反映されます。有名なものとしてfender社のストラトキャスター、gibson社のレス・ポールが挙げられる。

(2) ブリッジ

弦をボディ側から引っ掛ける金属パーツ。様々な種類があるがここでは割愛する。

(3) ピックアップ (PU)

弦の音を受け取るマイク部分でありギターの音の特性に一番関与する部分であると言っても過言ではないだろう。シングルコイル、ハム・バッキング、P-90が有名。(図2参照)

(4) 回路部 (サーキット)

PUで受け取った信号の大きさやトーンを調整する部分。特殊な電装もここに含まれる。

という感じでざっと紹介しました。このようにギターには多くの部品によって構成されています。最後にネックとボディの結合として圧着させるセットネック、螺子止めするボルトオンがあります。以下に参考画像を張っておきます。他にも細かいところはありますがあまりが無いからね。



図1. エレキギター



図2. ピックアップ

3. 製作案

さて本題です。まず製作する部分についてです。今回はボディ部分のみを製作したいと思います。ネックは・・・面倒くさいので今回は別のギターから移植したいと思います。PUはP-90タイプのものをリアに一発という男気構成でいきます。メンドイからではないです、ロマンです。サーキットにはボリューム、トーンそしてボタンを押している時だけ音が切れるというキルスイッチを付けようかと思っています。肝心のボディ形状は・・・言葉で説明するのは難しいので今は秘密にしておこうと思います。とりあえずキルミーでベイベーな物になるでしょう。今決まっているのはこれぐらいでしょうか。

4. 終わりに

今回はギターの構造と製作案をグダグダ書きましたがどうでしたでしょうか。ギターを作る目的としては自分が作りたいからという理由のほかにギターが好きな人が増えて欲しい、キルミーでベイベーなアニメの二期への希望が含まれています。むしろキルミーでベイベーなアニメの二期への希望がメインかもしれない。とりあえず、完成したギターと製作記は調布祭で発表できたらと思います。長文、駄文失礼いたしました。

YAH Aアンプの製作

先進理工学科二年 粟島

1 導入

今回真空管を使ったオーディオ用ヘッドホンアンプを製作しました。簡単にいえば真空管アンプの製作ということになりますが高い電源電圧で動作させているものではありません。YAH A(Yet Anotor Hybrid Amp)と呼ばれている真空管とオペアンプを使ったハイブリッドアンプです。(YAH AのAにAmpという単語が含まれているのでYAH Aアンプという名称は本来おかしいのですが世間一般ではこの名称で広まっているのでそのまま使わせてもらいます)。

2 YAH Aアンプについて

HEADWIZE DIY forumというところで数年前に公開されたアンプで、本来高い電源電圧を使用して動作させる真空管アンプを12Vというはるかに低い電圧で動作させるアンプということで話題になったアンプです。YAH Aという単語で検索することで原典回路や改良された回路、作例の情報を多く得ることができます。私は真空管を初めて扱うこともありその作例を参考にして製作しましたので、今回は回路設計に関する話は割愛させていただきます。

3 動作の流れ

YAH Aアンプでは真空管とオペアンプを使います。真空管は信号増幅として、オペアンプはボルテージフォロワとして回路の分離及びインピーダンス変換を行います。低電圧で動作

させるため真空管のみでは負荷(ヘッドホン等)を十分に駆動することができませんのでオペアンプを使用します。YAH Aアンプにおける真空管の使い方はかなり特殊なものであると認識してください。

4 使用部品について

表1 主要部品

部品	購入場所	値段
真空管(6922)	クラシックコンポーネンツ	1600円
アルミケース(YM-80)	千石電商	500円
ACアダプタ(12V1.5A)	秋月電子	950円

表1では今回のアンプ製作で用いた部品の中の汎用部品以外をまとめました。大元の記事では使用する真空管は6DJ8となっています。今回使用した6922は6DJ8の互換品となっています。真空管の名前で最初にくる数字はヒータ用に使う電圧を表しています、例えば今回の6922は6V(実際は6.3V)、他には12V(実際は12.6V)を使用する12BY7Aなどがあります。

5 製作について

今回のアンプはケースを自作するために金属加工を行いました。真空管ソケットを取り付けるための穴、カップリングコンデンサなどを外から付けられる用に穴をあけました。コンデンサやオペアンプは付け替え可能でいろいろな素子を試すことができます。図1に加工途中の様子、図2に加工済みのケースの様子を示します。丸い穴はボール盤で穴をあけ、リーマで



図1 加工途中の様子



図2 加工済のケース

広げます。ボール盤で穴を空けるときやリーマで拡張するときには金属板が歪まないように角材を当てたり、しっかりと固定しましょう。四角い穴はあけたい穴より小さい穴をいくつかあけ、ニッパで穴と穴の間を切り取りやすりで削りながら拡張と整形を行います。やすりの作業は丁寧に根気強くやることが大切です。

6 完成品

入力は RCA、出力はステレオミニピンと RCA の二系統用意しました。コンデンサや真空管は付け替えができるように外部に出しています。また、ヒータ用の三端子レギュレータはかなり熱くなるため冷却板をつけており、金属ケースと接触させて熱を全体に逃がせるようにしています。



図3 完成品

7まとめ

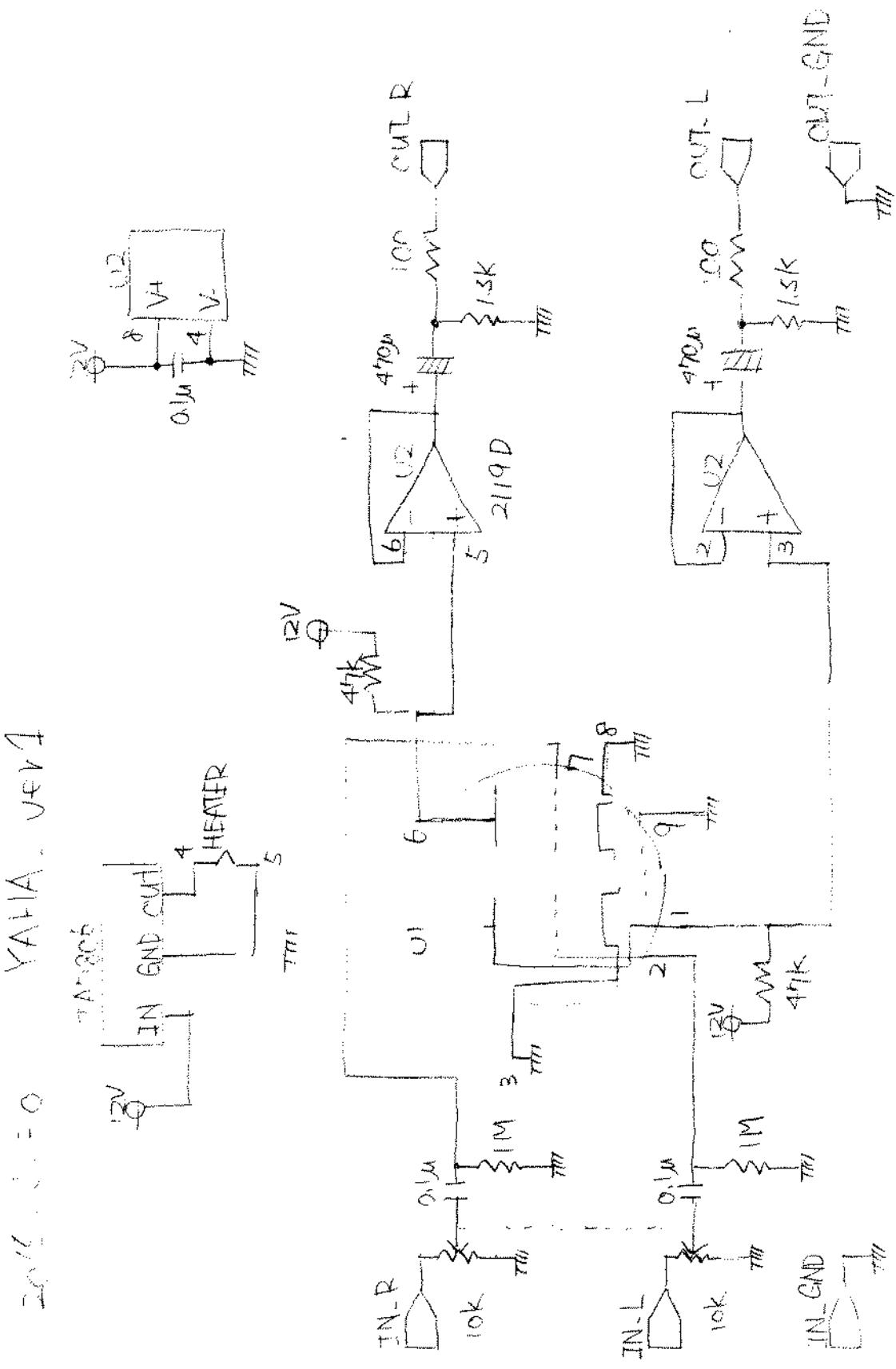
今回は「真空管を使いたい」という思いから YAHA アンプの製作を行いました。調べるうちに YAHA アンプでは真空管の中で本来使うことを想定していない特性帯を使用していることや 6DJ8 シリーズを使用しているからこそ実現できていることがわかつてきました。YAHA アンプは真空管を気軽に使えますがその分犠牲にしていることもあります。本格的に真空管を扱うことにはまだ勉強しなくてはならないことがあります、それを良いモチベーションとしてこれから活動していくたいと思います。肝心の音についてですが低音がプレーヤ単体で聞いた時よりもくっきり聞こえるようになりました。数値的データはまだ測定を行っていないため今回の記事では示すことができませんのでまたデータをまとめた記

事を作りたいと考えています。

参考文献

- [1] <http://www.op316.com/tubes/hpa/pre-yaha.htm>
- [2] <http://middleriver.chagasi.com/electronics/yaha.html>

$V_{IN} = 0$



beatmania コントローラーの製作

知能機械工学科二年 安川

1. はじめに

ものを作るのも部報を書くのも初めてです、安川です。まだ完成してないですが部報を書けとのお達しがあったので頑張って書きます。

2. 動機

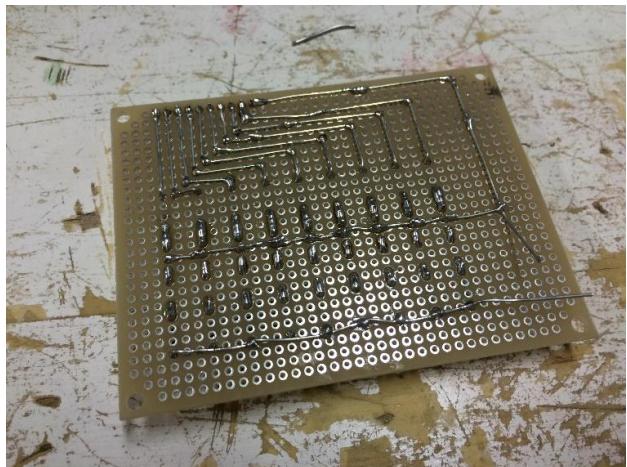
おうちでお金をかけずに音楽ゲーム、やりたくない?
俺はやりたい。

3. 概要

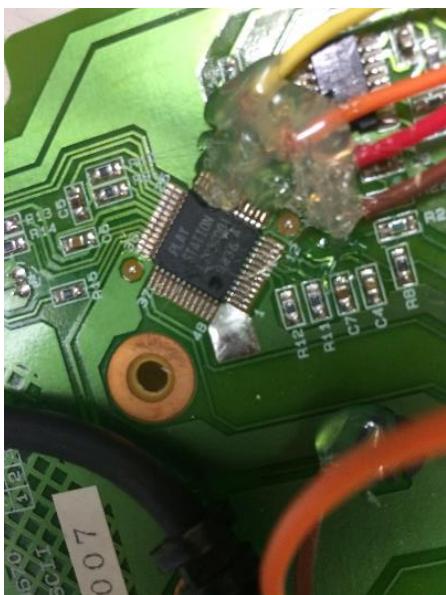
- ・基盤は ASCII コンのものを流用(いざれは基盤も自作出来るようになりたい)
- ・鍵盤には三和ボタンを使用(AC 純正)
- ・外装には木材とアクリルを使用
- ・AC のサイズをなるべく再現する

4. 製作過程

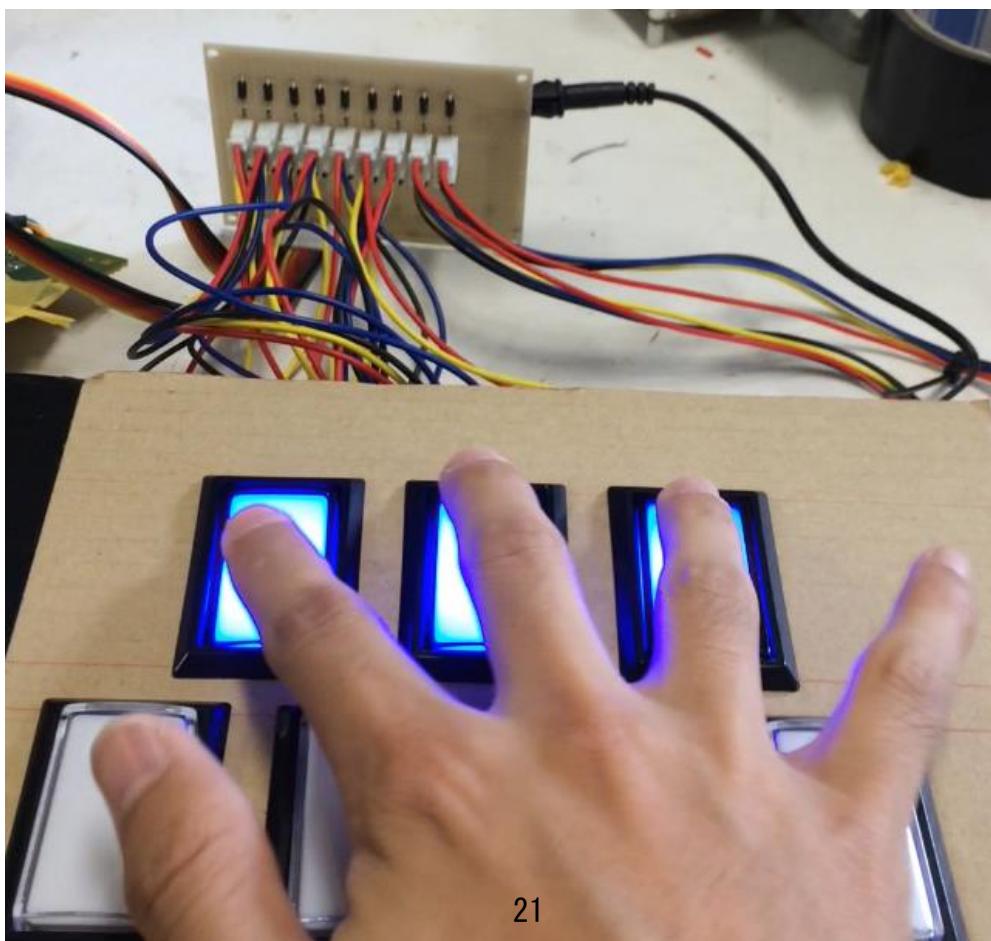
まずは配線から。スイッチを動作させるだけならチップオンパッケージでも出来るのですが、折角なので LED を用いてボタンを押したときに光るようにユニバーサル基盤に配線しました。はんだ付けの練習にもなるし。裏側の写真しかなかった)



そして ASCII コンの基盤に直接はんだ付けして配線は終わりなのですが、僕が製作したいコントローラーはボタンが 7 つ、ASCII コンはボタンが 5 つです。そこで 6.7 鍵は IC チップから直接引っ張ってきました。IC チップの足の間隔は狭く、隣の足とショートしてしまわないように慎重に作業。何とか成功しました。こわいのでグルーガンでガチガチに固めました。



試しに PS2 に繋いで動作確認。ボタンも 7 つ反応して LED もちゃんと光りました。
外装はまだできていません。



5. 今後の展望

外装を完成させる。ターンテーブルの台をフルカラーLEDで光らせたいので勉強する。

光変調器について

情報・通信工学科 4 年 横田 嶺

2015 年夏オープンキャンパス号

1 はじめに

今回の部報は光通信の一端を知ってもらうため、自分のゼミ資料を改変したものとする。このテーマは光通信でも重要な‘光変調器’であり、それについて調べ紹介程度にまとめたものである。この資料を執筆するにあたって主に参考文献 [1] を参照した。ゼミ向けであったため専門用語の解説が少ないが、光通信に興味を持っていただければ幸いである。

2 光変調器とは

光変調器とは光ファイバ通信をする際に変調する、すなわち情報を光波に乗せるための装置である。光は波であるから t を時間、 z を伝搬方向、 A を振幅、 ω を角周波数、 ϕ を位相、 β を伝搬定数とすると波動関数 $f(z, t)$ は以下のように表される。

$$f(z, t) = A \cos(\omega t - \beta z + \phi)$$

光波に情報を乗せるということは波のパラメータである振幅、周波数、位相を変化させるということである。基本的な変調方式としてアナログ変調、デジタル変調、パルス変調などがありデータが連続値または離散値かで変調方法が異なる。光ファイバ通信では主にデジタル通信を行うため、パラメータの変化に対して‘0’または‘1’を割り当てる。

光変調は様々な種類や方法が考案されているが、現在使用されているものは大別すると

- 直接変調方式
- 外部変調方式

の 2 つである。直接変調方式は光源の制御部に変調信号を加えることで変調された光信号を得る方式、外部変調方式は光源は連続光を発生させるのみで変調させるための装置を外付けする方式である。

2.1 光変調器の歴史

光ファイバ通信における変調は、変調速度が十分遅い場合はシャッターやミラーの回転のような機械的な装置で行うことも有効であるが、数 ms 程度が限界である。そのため動作部分を廃した方式として直接変調または外部変調という方式が採られるようになった。後述する電気光学効果を持つ結晶を変調に利用しようという試みはルビーレーザ登場後すぐである 1960 年代からあった。1970 年代後半では LED やレーザの注入電流を変化させることで簡単に直接変調できるようになり変調速度も数 Gbps まで可能であったため結晶の研究は下火になった。しかし 1980 年代に入り多モードファイバから単一モードファイバが使われるようになるとより高速な変調ができるため電気光学効果を持つ結晶を用いた変調器に再び関心が寄せられた。以来、どちらも利点、欠点を持っているため直接変調方式と外部変調方式が研究され続けている。

2.2 光変調方法の歴史

変調方法は電気による有線通信から無線通信へと研究が進められる中で様々な方式が開発され発展してきた。光ファイバ通信においてはとても単純なデジタル通信である OOK(On-Off Keying) が今日でも用いられている。無線通信で発展した効率の良い高級な変調方式、すなわち PSK(Phase Shift Keying) や QAM(Quadrature Amplitude Modulation) などが光ファイバ通信でも実用化に向けて研究が進められているおり、それに伴い変調器の高速化、広帯域化、高効率化が求められている。

3 直接変調方式

直接変調方式とは先述した通り光源の制御部に変調信号を入力し変調された光が光源から直接放出される方式である。

直接変調方式の概念図を以下に示す。

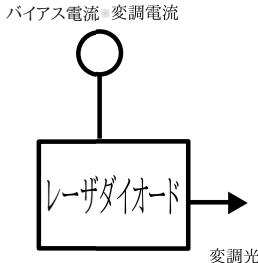


図1 レーザダイオードに直接変調をかけて光信号を出力

光ファイバ通信の光源としては主に常温で安定して発振できる半導体レーザが用いられるが LED も用いられることがある。これらは駆動電流を変化させることで光強度を制御することができる。

3.1 レーザ変調器

レーザダイオードでの直接変調の速さは注入キャリアが再結合のために自然放出を行って消滅するまでの時間、すなわち自然放出の寿命時間 τ_s に大きく依存する。しかし $InGaAsP$ や $GaAlAs$ のレーザダイオードでは数 ns であるため容易に数 GHz 程度の高速変調をすることができる。

レーザの動的振る舞いを解析するにはレート方程式

$$\frac{dN}{dt} = G_{gen} - R_{rec}$$

を解く必要がある。ただし N はキャリア密度, G_{gen} は活性領域における単位体積あたりの注入電子の割合, R_{rec} は再結合電子の割合である。

直接変調の変調周波数を高くしていくとある周波数 f_r で変調度 (=信号の強度/搬送波の強度) が急激に高くなる共振状現象がおこる。この f_r を過ぎると急激に変調度が下がり変調できなくなる。したがってこの共振状現象によって変調周波数が制限される。

また、レーザの直接変調では波長チャーピングという問題を抱えている。これはキャリア密度の変動による屈折率変動が原因である。チャープが生じると信号劣化を引き起こし伝送距離が制限される。

レーザは波長の $0.1\text{nm}/^{\circ}\text{C}$ という温度特性を持っているため出力効率が温度によって変化してしまう。一般的な安定化方法としてペルチェ素子を小型冷却器として用いる。ペルチェ素子は電圧によって吸熱または放熱を制御することができる半導体素子である。レーザ変調器のモジュールは普通は不安定要素によるレーザの光強度の変動をフィードバックするためのフォトダイオードと、ピーク波長を正確に測定するフォトダイオードが含まれ

ている。

3.2 LED 変調器

LED はレーザと比較して、一般的な $62.5\mu\text{m}$ 多モードファイバにおいて -16dBm と低出力である。したがって LED を光源として用いるのは主に短距離低速多モードファイバ通信である(最大 $200\text{Mbps}/\text{数 km}$ 程度まで)。例として OC-3/STM-1¹ という規格によるビル間通信に使われている。LAN で使われる場合は LED 変調器と受光素子が同一パッケージに入っている場合がある。LED 変調器は主に $InGaAsP$ による波長 1310nm の面発光 LED と駆動回路を含んでおり電圧 3.3V で温度幅 $0 \sim 70^{\circ}\text{C}$ 程度まで使用可能である。

3.3 送信コントローラ

光源の制御部は安定した発光を維持することを第一としており以下の機能が含まれている。

- 温度コントローラ
- 波長コントローラ
- レーザバイアスコントローラ
- 送信信号出力コントローラ
- 警告装置
- 送信コントローラ
- 信号処理装置

一般的な大きさは $50 \times 50 \times 8\text{mm}$ でレーザのパッケージ、変調ドライバ、外部変調方式であれば外部変調器、その他の周辺機器とともにプリント基板として製品化されている。

3.4 パッケージ

以下に外部変調方式の光変調器パッケージの模式図を示す。直接変調方式の場合はこの図から外部変調器を取り去ったもので、変調電流がレーザダイオードに直接かけられる。

¹ SONET/SDH(Synchronous Optical Network / Synchronous Digital Hierarchy) で定められた規格で伝送速度 155.52Mbps のもの

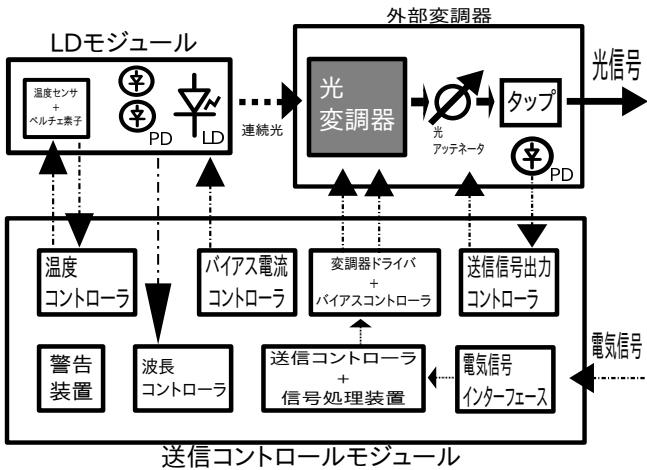


図2 外部変調器を用いた場合の光送信器の模式図

プリント基板上に固定されたピグテールファイバ付きバタフライパッケージと、工業的に標準化されたSSF(Small Form Factor 省スペース)パッケージという2つの形状が光変調器として一般的に使われている。ピグテールというのはファイバの末端にコネクタや変調器などの装置があらかじめ取り付けてあることをいい他のファイバや装置への取り付けが簡単に行える。変調器のパッケージはレーザダイオード、光アイソレータ、ペルチェ素子、光強度モニタ用フォトダイオード、波長モニタ用フォトダイオードを含んでいる。

4 外部変調方式

外部変調方式とは先述した通り光源として連続光を発するレーザを用意し、外付けの変調器を用いて変調をかける方式である。

外部変調方式の概念図を以下に示す。

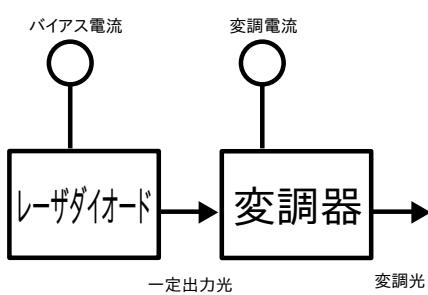


図3 連続光出力用レーザと別に外部変調器を用いて光信号を出力

外部変調器は材料で分類するとニオブ酸リチウム($LiNbO_3$)のような強誘電体を用いたものと半導体ヘテロ接合を用いたものがあり、変調の動作で分類すると

吸収係数または屈折率の制御に大別される。主な原理とともに表でまとめると以下のようになる。

表1 外部変調器の材料と動作機構の分類

	強誘電体	半導体ヘテロ接合
吸収係数		電界効果 多数キャリア効果など
屈折率	電気光学効果	電界効果など

4.1 強誘電体を用いた外部変調器

4.1.1 電気光学変調器

光が電場の影響を受けている物質と作用するときに発生する現象を電気光学効果という。物質の屈折率が電界強度の1乗に比例して変化するというポッケルス効果を考える。電気光学材料に電極を設け変調信号 V をかけると材料中に変調電界 E が生じる。この電界に比例して材料の屈折率が n から $n + \Delta n$ に変化したとする。スネルの法則より屈折率が変化すると位相速度も変化するため出力光に $\Delta\phi$ の位相シフトが生じ、位相変調となる。電気光学効果は応答速度が非常に速く原理的に電力を消費しないため高速変調低電力駆動に適している。

電気光学材料としてはニオブ酸リチウム($LiNbO_3$)やタンタル酸リチウム($LiTaO_3$)などが存在する。主にニオブ酸リチウムが用いられ、この変調器をLN変調器とも呼ぶ。

光導波路と組み合わせて用いる導波形光変調器の基本形を以下に示す。

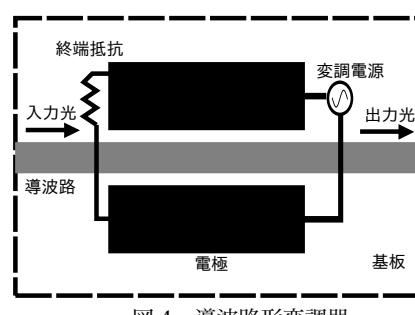


図4 導波路形変調器

このような構成にして位相変調をかけることができる。バルク形の位相変調器も存在するが変調に数百V必要な場合もある。それに対し導波路形変調器の場合5V程度ですむ。

次にマッハツェンダ形変調器を以下に示す。

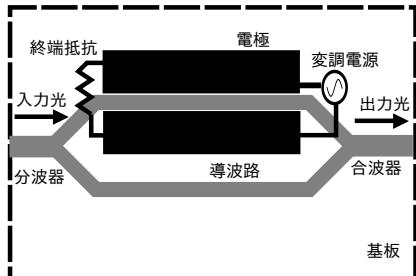


図5 マッハツエンダ形変調器

これはマッハツエンダ干渉計の片側に位相変調器を挿入したものである。位相差 π を与えると合波した際に放射モードとして導波路外部に放出されてしまい'0'を対応させる、位相差を与えない場合は合波した際に導波モードとして入力光がそのまま出力され'1'を対応させる。したがって全体では'0'と'1'の強度変調器として用いることができる。

4.2 半導体ヘテロ接合を用いた外部変調器

薄い半導体の層とそれよりもバンドギャップの大きい層を交互に積み重ねたものを多重量子井戸構造という。ヘテロ接合とは異種の半導体を接合させることである。この構造を用いて吸収係数または屈折率を変化させることができる。以下に半導体の多重量子井戸構造とそのエネルギー-bandを示す。

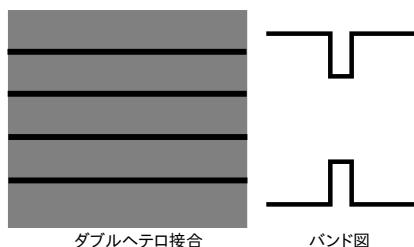


図6 量子井戸構造とそのエネルギー-band

量子井戸構造では電子を井戸に閉じ込めておくことができる。これにより様々な特性が生まれ変調器のみならずレーザの発光効率の改善や量子井戸レーザ、光検出器などが作成されている。

材料としては $GaAs$ や $InGaAs, InGaAlAs$ など様々な化合物半導体で量子井戸構造が作られている。

量子井戸構造を利用した変調器の原理は電界効果と多数キャリア効果の2つがある。

4.2.1 電界効果を用いたもの

量子井戸構造における電界効果の1つである量子閉じ込めシュタルク効果とは量子井戸に電界をかけると光吸収ピークが長波長側に移動する現象である。吸収波長が移動することによりこれを制御して強度変調を行うことができる。

また、この効果は屈折率も同時に変化するためこの効果を用いて光吸収型変調器や光反射型屈折率変調器などが作られている。

4.2.2 多数キャリア効果を用いたもの

半導体には励起子吸収という現象がある。これは光によって励起された半導体中の価電子帯にいる正孔と伝導帯にいる電子の対による光吸収のことである。量子井戸構造においてキャリアを多く注入すると励起子吸収が減少し吸収係数のピークが消失する。これにより理論的にはFETの応答速度まで変調速度を高めることができる。

4.3 強誘電体と半導体ヘテロ接合の比較

強誘電体を用いた外部変調器と半導体ヘテロ接合を用いた外部変調器の比較をする。

表2 強誘電体と半導体ヘテロ接合の比較

	強誘電体	半導体ヘテロ接合
素子の大きさ	大	小
集積化	難	易
使用電圧	中	低
変調速度	速	中
消費電力	低	中
チャープ	ほとんどない	少しある

4.4 その他の外部変調器

4.4.1 磁気光学変調器

イットリウム鉄ガーネット ($Y_3Fe_5O_{12}$) のような磁性材料に磁界をかけると直線偏光の偏光面が回転する。これをファラデー効果といい偏光面の回転角を磁界で制御することにより変調をかける。

4.4.2 音響光学変調器

超音波を伝える媒質として重フリントガラス、二酸化テルル、合成石英などを用意する。これらの媒質の端に超音波を発生させる装置を取り付け、外部から高周波電圧をかけると媒質中に超音波が伝搬する。この超音波の振動によって媒質に弾性変化や圧力変化が生じ結果として

屈折率の疎密が変わる。これによって回折格子と同じはたらきをし、ブレガ回折という回折光が1本しか出ない回折を利用して強度変調をかけることができる。

5 直接変調と外部変調の比較

直接変調方式と外部変調方式の比較をする。

表3 直接変調と外部変調の比較

	直接変調方式	外部変調方式
変調の種類	強度変調	位相変調、強度変調
使用箇所	短距離通信	長距離通信、高速通信
コスト	安	高
変調速度	中	速
消費電力	中	低
構造	単純	複雑
チャーブ	ある	ほとんどない

6 復調方式

強度(振幅)変調はフォトダイオードに流れる電流をローパスフィルタへ通すことによって直接検波することができる。ヘテロダイン検波の場合、参照光を信号光と干渉させビート信号として中間周波数にすることで強度変調でも位相変調でも復調することができる。

7 今後の展望

より高速化、広帯域化、低歪化が求められていく。近距離通信では直接変調方式が、長距離通信では外部変調方式が今後も使われると考えられる。

したがって光変調器については直接変調のためのレーザ変調技術、電気光学効果をもつ結晶を制御する技術、半導体ヘテロ接合による多重量子井戸構造を用いて吸収係数や屈折率を変化させる技術の3つを基本として発展していくと思われる。

参考文献

- [1] G.Keiser,「Optical Communication Essentials」,McGraw-Hill Education,2003
- [2] 末松安晴・伊賀健一,「光ファイバ通信入門(改訂4版)」,オーム社,2006
- [3] 神谷武志・荒川泰彦,「超高速光スイッチング技術」,培風館,1993
- [4] 末田正・神谷武志,「超高速光エレクトロニクス」,培風館,1991
- [5] 訳 木村達也(原著 Larry A.Coldren,Scott W.Corzine,Milan L.Mašanović),「半導体レーザとフォトニクス集積回路(原著 Diode Lasers and Photonic Integrated Circuit)」,オーム社,2013
- [6] 中村壮一・藤江大二郎,「基礎からわかる光学部品」,オプトニクス社,2006
- [7] 山下真司,「光ファイバ通信のしくみがわかる本」,技術評論社,2002
- [8] 加島宜雄,「光通信技術入門」,コロナ社,2005
- [9] 訳 多田邦雄・神谷武志(原著 Amnon Yariv),「光エレクトロニクス展開編(原著 Optical Electronics in Modern Communications 5th edition)」,丸善,2000
- [10] 重井芳治,「光通信システム」,昭晃堂,1983

国立大学法人 電気通信大学
工学研究部 部報 2015 オープンキャンパス号

発行元 国立大学法人 電気通信大学 工学研究部
〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1 サークル棟2階
E-mail koken@koken.club.uec.ac.jp
URL <http://www.koken.club.uec.ac.jp/>

発行責任者 粟島 裕大
編集者 片岡 竜馬
発行日 2015年7月18日
執筆 工学研究部 部員

