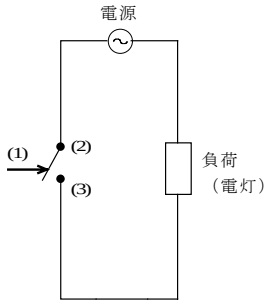
電気電子基礎学　電子デバイス分野（08.12.19）

概要：三端子デバイス概念について。三端子デバイスの概念は三極真空管とともに１００年とちょっと前に誕生。最初は真空管、次ぎにトランジスタそして集積回路とモノは変遷した。しかし三端子デバイスの概念は不変。概念は抽象的で難しいが普遍的で価値が高い。集積回路はコンピュータや通信を支えており、社会に不可欠（三端子デバイス無しの社会を想像してみよ)。この概念を基礎となる学部講義と関係つける。

電灯のスイッチから三端子デバイス概念まで

電灯のスイッチ（手動）



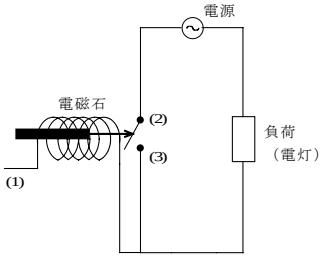
電源、スイッチ、電灯（負荷）の回路図。スイッチに注目。スイッチには、手で操作するところ（1)、電源からの電線がつながるところ（2)、電灯までの電線がつながるところ（3)、があり**３つのポイント**がある。

スイッチは電流をオンオフできる。ということは、スイッチがオフ（開）のとき、**電源電圧はすべてスイッチにかかる**（電灯にはかからない)。スイッチがオン（閉）のとき、電源電圧はほとんどすべて電灯にかかり、スイッチにはほとんどかからない。そして**電灯を光らせるのに十分な電流がスイッチを通して流れる**。

もう一つ重要なことは、いくら電灯が自分で光りたくても電灯から手を動かさせることはできない。いくら電源が電流を流したくても電源から手を動かさせることはできない。手は独立している。**１は２，３から独立している**。

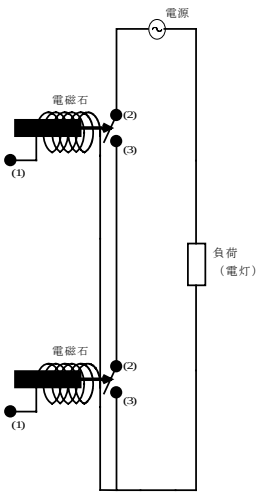
全電気式スイッチ

スイッチが果たす役割の特徴を上で述べた。ところで電灯スイッチはオンオフを手で操作する。このスイッチで他のスイッチをオンオフすることはできない。単独の使用に限る。スイッチを操作も含めてすべて電気にすることを考える。すなわち上の１，２，３をすべて電気の端子とする。すると一つのスイッチで他のスイッチを動作させることができる。一例は電磁石スイッチである（リレー)。

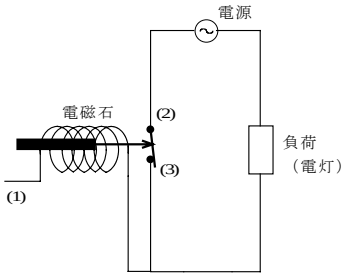


(1)を手で操作する代わりに電磁石コイルの一つの端子にする。電磁石に電流を流すと黒い太線で描いた鉄心を磁石の作

用で引き込む。鉄心の先はスイッチを押すような仕掛けになっている。そうすると(1)に電源を繋ぐことでスイッチを操作できる。もし他の回路の負荷としてこの(1)を繋いでやると、他の回路の出力によってこのスイッチを操作できることになる。他の回路の出力によってこの回路に電流が流れたり流れなかったりするようにできる。また電源を十分に大きなものにすると、入力に小さな電流を流して、負荷に大きな電流を流すことができる。増幅機能だ。

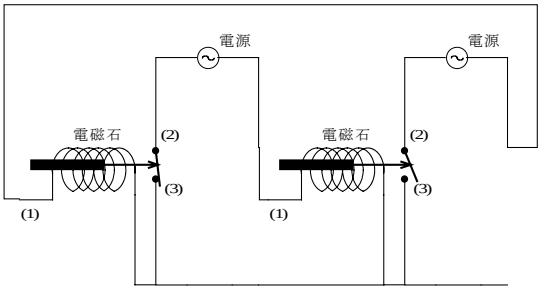


二つの入力端子の両方に電源が繋がれたときだけ点灯する。すなわち二入力の論理積、これを AND という記号で表す、をとることができる。OR もできる。すなわち論理演算機能だ。



面白いスイッチを考えよう。少し変形して、（１）に電流を流さないときにオンしていて、電流を流すとオフするタイプも実現できる。これは入力の反対が出力されるのでインバータ。

インバータを二つ繋ぐと



これはメモリになる。異なる二種類の状態を保持する機能をもつ。

このように電気で電気を制御することができると、増幅や論理機能が得られる。

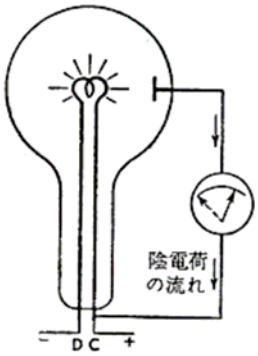
リレーを多数組み合わせて計算機が作られた。㈱富士通の池田さん（東工大出身で富士通の計算機事業を創始した方)。池田記念館には池田さんが設計し実用されたリレー計算機が動態保存されている。

リレーが真空管、トランジスタ、集積回路、マイクロプロセッサへと変遷した。

３端子デバイス概念はほぼ 100 年前に発明された

　発明したのは、多いに関係するがエジソンではなく、ド・フォレストだ。この発明は、人類にとってワットの蒸気機関と同列にならぶ本質的発明の一つだ。発明の経緯をまず話そう。

エジソンは白熱電球を発明しさらに第二の電極を入れた



第７図　エジソン効果。電流は熱フィラメントから管の内側のプレートに流れ，プレートを陽にしたとき電流計はふれを示す。プレートを除の電線に接続すれば，もはや電流は流れない。（ダニングとバクストン『物質，エネルギーと，放射』より）

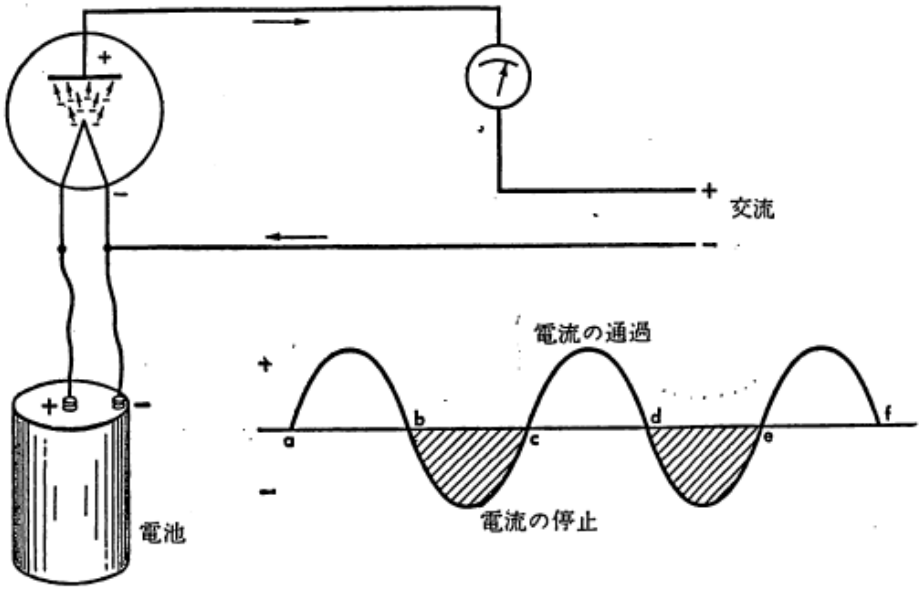
エジソン効果の図。白熱電球に第二電極を入れ、フィラメント電極に対してプラスの電圧をかけると電球の経時的な黒ずみ障害を防止できることを発見した（エジソン効果１８８２年)。**メカニズムは不明だった。**

J. J. トムソンが電子を発見

１８９７年電子の存在を確認（陰極線に電界、磁界をかけて実験)。

フレミングは二極管を発明

１９０４年フレミングはトムソンが確認した電子とエジソン効果とを結びつけた。すなわち熱せられたフィラメントから電子が跳びだしプラス電圧をかけた電極に引きつけられるとして説明づけた。飛び出すのはマイナス電荷をもった電子であるから、第二電極にマイナス電圧をかけたときは反発して電子は電極に飛び込まない。したがって電流は流れない。これは整流作用である。整流作用をもつ二極管を発明した。早速電波の検出に使用した（当時マルコーニが会社を作り無線通信が行われていた)。ここで確認。これは二端子デバイスである。

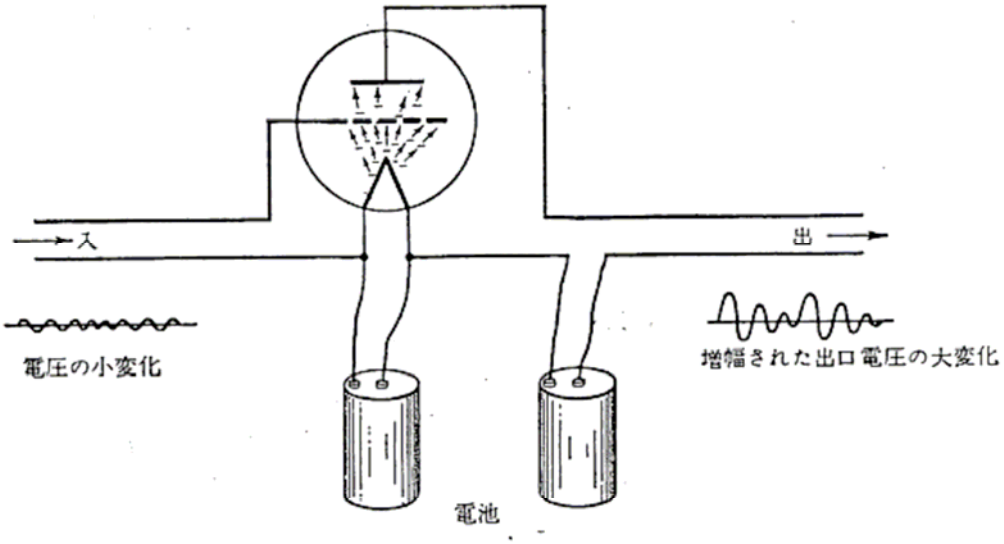


第８図　２極管または２素子真空管の作用。一方向のみ電流の通過を許す真空管の作用を示す。（ストクレイ『電子の運動』より）

いよいよドフォレストが三極管を発明

１９０６年ド・フォレスト（写真）が３極真空管を発明。

三極真空管が三端子デバイスであること



第９図　三極管の作用，グリッドを加えることによって小電流もかなり増幅される。（ストークレイ『電子の運動』より）

三極真空管の増幅動作

３極真空管はプレートとフィラメントの間にグリッド（金網）を入れ、グリッドの電圧を変化させることによってフィラメントからプレートに向かう電子の流れを制御する。

三極真空管が三端子デバイスであること

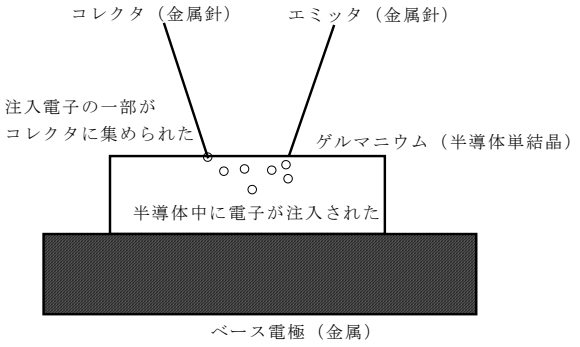
まずグリッド端子が制御端子になっていること。グリッド電圧を連続的に変えるとプレートに流れる電流は連続的に変化する。電流値を主に決めるのはグリッド電圧である。

これが最初の三端子デバイス。ド・フォレストは三極管と一緒に概念も発明した。三端子デバイス概念は、スイッチ機能、信号増幅機能など、二端子デバイスでは実現できない高い機能をもつ。

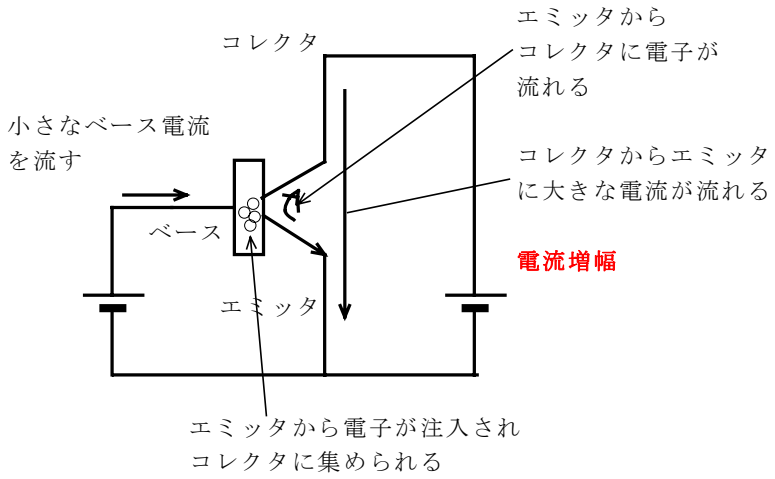
この概念は具体的なデバイス構造が変わっても、そのままトランジスタ、集積回路要素で生き続けている。

半導体三端子デバイス、トランジスタの誕生

１９４８年にバーディーンにより半導体への少数キャリア注入現象の発見と、バーディーン、ブラッテン、ショックレーにより点接触トランジスタの発明が行われた（この発見と発明は同時、あるいは同一の事柄の意味づけの違いを表す）。ベル研究所にて。



点接触トランジスタの原理説明



エミッタ、ベース、コレクタの三電極がある。

ベースに電圧を加えるとコレクタに電流が流れる。ベースが三極真空管のグリッドに、エミッタがカソードに、コレクタがプレートに相当している。コレクタに流れる電流はベース電圧で決まり、コレクタ電圧にはほとんど依存しないようにできる。すなわち三端子デバイスになっている。

半導体三端子デバイス無しではこの現代社会は成り立たない

三端子デバイス　スイッチ機能・増幅機能　増幅機能→発振回路

発振回路→高周波電流→電波放射→アンテナ→信号電流→三端子デバイスで増幅→検波　通信

スイッチ機能→論理機能　スイッチとコンデンサ→メモリ

論理機能の組み合わせ→加算器実現　算術論理ユニットとメモリユニットを組み合わせ→蓄積プログラム方式による汎用コンピュータ　マイクロプロセッサ、・・・→情報処理システム

三端子デバイスを基礎にして通信システム、情報処理システム

三端子デバイス概念は現代社会に欠かせない

二端子デバイスだけだったら上記の発展は望めなかった

三端子デバイス　？　”優れた技術は姿を隠す”

以上の話に現れた基礎科目との接点

電磁気、電子デバイス、量子力学、解析学、回路。特に、電磁気。将来のことと量子力学に興味を。

電磁気（必修）との関わり

デバイス内で電子がどんな力を受けて運動するのか　電界

電極に電圧を加えるとそこに電荷が流れ込む　静電容量

デバイスの設計に電磁気は欠かせない

線形回路（必修）との関わり

電気技術者は多くの現象を等価回路に置き換えて、本質をつかんで容易な計算をする。この等価回路で計算するときに基礎になるのが線形回路。

三端子デバイスも等価回路に置き換えて、特性が議論される。

線形回路はデバイス特性を議論するときに必須の基礎科目である。

半導体物性（準必修）との関わり

結晶中での電子の振る舞い　上に述べたように不思議

バンド構造で説明される

バンド図を用いて結晶中の電子の振る舞いを考える。結晶中で電子がどう感じて振る舞うのかが分かるようになる。

半導体内での電子やホールの分布

電子デバイス（準必修）との関わり

もっと詳しく厳密なトランジスタ記述

特性解析

バイポーラトランジスタだけでなく、今マイクロプロセッサや集積回路で活躍している MOS トランジスタを学ぶ

量子力学（選択）との関わり

電子の力学

固体物性論（固体中で電子はどう振る舞うかを解明）の基礎

半導体中で電子はどこまで高速に走ることができるのか

量子力学とナノテクノロジーは三端子デバイスの将来をどう変えるのか、変えないのか

三端子デバイス概念以外のデバイス概念はあるのかないのか

最先端の基礎研究に導く入り口

アナログ電子回路、ディジタル電子回路、集積回路設計

三端子デバイスで情報システムを具体的に構築していくために必要

問題：

三端子デバイス概念とはなにか、よく考えよ。三端子デバイスが発明されなかったら世の中は今とどんなに違っているか想像してみよ。三端子デバイスとは何か書け。三端子デバイスなしの世の中はどんなか描け。