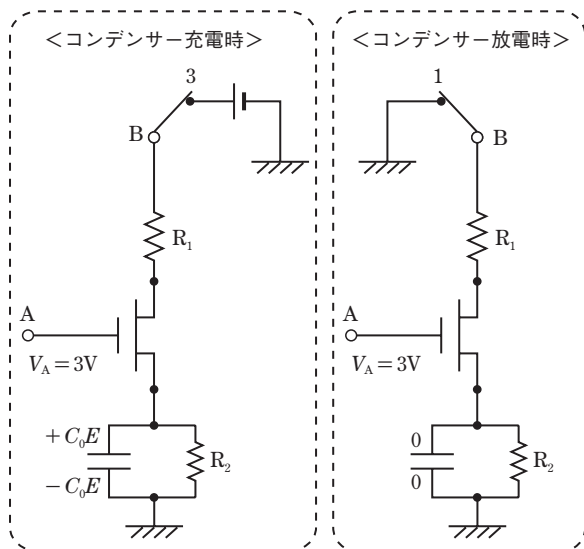


# 強者の戦略

研伸館 物理科の米田 誠です。強者の戦略 HP の物理のページ、第 40 回目は第 39 回目で紹介した『2002 年度 京都大学 後期日程 論文 電気電子工学科』からの出題、「半導体メモリー」に関する問題の解答解説 +α としたいと思います。

## 【解答解説】

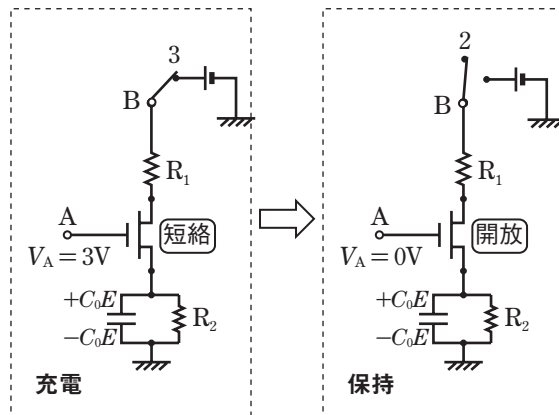
本問題を読み解くためには、コンデンサを放電する状況と充電する状況を、下図のように簡潔に整理する必要があります（この時、接地（アース）することで極板上の電荷を 0 にする操作についての知識が必要）。



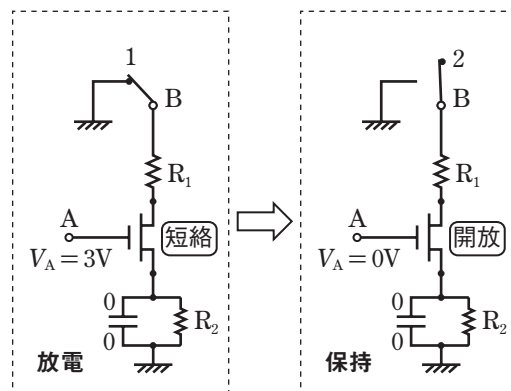
また、本問題ではトランジスタ（恐らく MOSFET : Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）の「スイッチ効果」を利用したスイッチング回路を扱います（トランジスタについては【参考】で簡単な紹介をします）。スイッチ効果とは、トランジスタにつながれている端子 A にかかる電圧が 3V のときに回路が短絡（スイッチオン）し、0V のときに回路が開放（スイッチオフ）することを示します。

## 設問 1

まず、基本素子に 1 を記憶させる（コンデンサーの電荷を  $C_0E$  とする）ためには、コンデンサーと電池を短絡させればよいので、  
 『解答：まず  $V_A = 3V$  として S-D 間を短絡し、端子 B を端子 3 に接続してコンデンサーを  $C_0E$  に充電し、その後  $V_A = 0V$  として S-D 間を開放する』



次に、基本素子に 0 を記憶させる（コンデンサーの電荷を 0 とする）ためには、コンデンサーの上下極板を接地すればよいので、  
 『解答：まず、 $V_A = 3V$  として S-D 間を短絡し、端子 B を端子 1 に接続してコンデンサーの電荷を 0 にし、その後  $V_A = 0V$  として、端子 B は端子 2 に接続して S-D 間を開放する』



## 設問 2

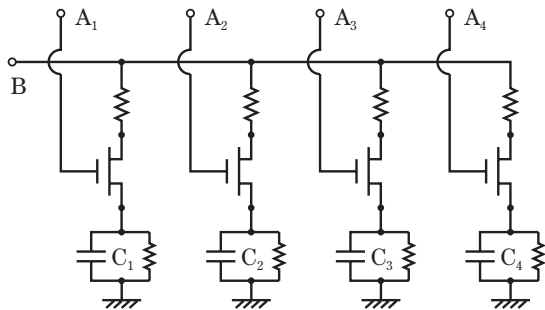
記憶動作を高速に繰り返すことが要求される場合、  
 『解答： $R_1$  の抵抗値はできる限り小さい値が望ましい。』  
 『理由：高速でコンデンサーへの充電および放電を行うためには  $R_1$  の抵抗値を小さくして大きな電流が流れるようにすることが望ましいため。』

記憶情報を長時間維持することが要求される場合、  
 『解答： $R_2$  の抵抗値はできる限り大きい値が望ましい。』  
 『理由：できるだけ  $R_2$  の抵抗値を大きくしてコンデンサーの上下極板間の電荷の移動を妨ぐため。』  
 （ちなみに、いくら  $R_2$  の抵抗値を大きくしてもコンデンサーの上下極板間で電荷は移動（放電）する揮発性メモリーであるため、基本的には一時的な記憶に用いる）

# 強者の戦略

## 設問3

[回路1の場合]



まず、端子  $A_1 \sim A_4$  全ての電圧を  $V_A = 3V$  とし、短絡させる。その後、端子  $B$  を端子 1 に接続して、全てのコンデンサーの電荷を 0 にしておく。

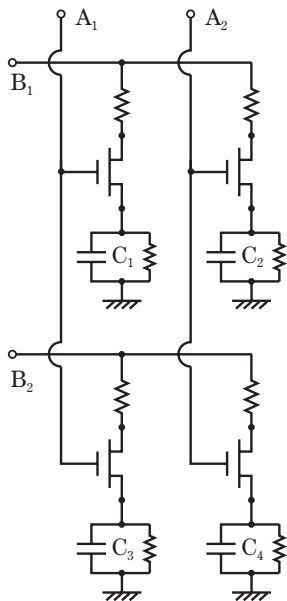
次に、0 を記憶させたい任意の端子の電圧を  $V_A = 0V$  として、記憶させた 0 を保持する。このとき、他の端子の電圧は  $V_A = 3V$  のままにしておく。

最後に端子  $B$  を端子 3 に接続してコンデンサーに充電して 1 を記憶させ、その後、端子  $A_1 \sim A_4$  全ての電圧を  $V_A = 0$  として、記憶させた 1 を保持する。

この記憶を維持するために端子  $B$  を端子 2 に接続しておく。

[回路2の場合]

(回路1とは異なり、それぞれの記憶のさせ方によって手順が異なるため、例を挙げて説明する。)



例えば、 $C_1, C_2, C_3, C_4$  のメモリーを  $(0, 0, 0, 0)$  としてから  $(1, 0, 0, 0)$  とする場合を考える。

まず、端子  $A_1, A_2$  を  $V_A = 3V$  とし短絡させた後、端子  $B_1, B_2$  を端子 1 に接続して、全てのコンデンサーの電荷を 0 にする ( $(0, 0, 0, 0)$  が記憶される)。

次に端子  $A_2$  を  $V_A = 0V$  とし開放してから端子  $B_2$  を端子 2 に接続して  $C_2$  と  $C_4$  に記憶させた 0 を維持しておく。続いて、端子  $B_1$  を端子 3 に接続すると  $C_1$  の電荷が  $C_0E$  となり 1 が記憶され、その後、端子  $A_1$  を  $V_A = 0V$  とし開放してから、端子  $B_1$  を端子 2 に接続すると、 $C_1$  の 1 と  $C_2$  の 0 の記憶が維持される (結果、 $(1, 0, 0, 0)$  が記憶される)。

この後で  $(1, 1, 0, 0)$  とするためには、まず端子  $A_2$  を  $V_A = 3V$  としてから端子  $B_1$  を端子 3 に接続して、その後、端子  $A_2$  を  $V_A = 0V$  にしてから、端子  $B_1$  を端子 2 に接続すればよい。

また、 $(1, 0, 0, 0)$  から  $(1, 0, 1, 0)$  とするには端子  $A_1$  を  $V_A = 3V$  としてから、端子  $B_2$  を端子 3 に接続して、その後、端子  $B_2$  を端子 2 に接続すればよい。

以下、同様に考えれば全ての状況 (16 ケース) が表現できる。

## 設問4

例えば、1 億 ( $10^8$ ) 個の基本素子によるメモリーを考えると、回路1では端子  $B$  が 1 個、端子  $A$  が  $10^8$  個必要になる。一方、回路2では端子  $A, B$  ともに  $\sqrt{10^8} = 10^4$  個必要になる。以上から端子の総数を少なくするためには、回路2のほうが適している。

## 【参考】

本問題で扱った『トランジスタ』は、基本的に高校物理で触れることが無いため、戸惑った人も多かったかと思います。以下にトランジスタの役割と仕組みを簡単に紹介しますので参考にしてください。

### (1) トランジスタの役割

トランジスタにはざっくりと以下の 2 通りの使用用途があります。

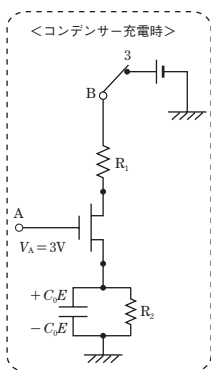
- ① アナログ回路における信号 (電流) 増幅装置
- ② デジタル回路におけるスイッチ

電気工作を趣味にしている人には①としてのトランジスタのほうが馴染みがある (トランジスタラジオなどで用いられる) のではないでしょうか。この①の役

# 強者の戦略

割は古くは真空管が担っていましたが、1940年代の終わりから1950年代の半ばにかけてトランジスタに取って代わられるようになっていきました。①の仕組みは簡単に言うと、例えば『トランジスタに電流が1A流れる（入力される）と1kAを回路に流す（出力する）』という様に、微弱な電流（信号）を大きな電流（信号）に増幅し、微弱な電波によって伝搬された信号を見逃すこと無く感知することができるようになります（例：電波レーダーなど）。これがトランジスタの当初の役割でした。しかしながら時間の経過とともに、トランジスタのスイッチの機能にも着目されるようになり、現在ではこのスイッチ機能がデジタル機器に欠かせないものとなっています。このスイッチ機能については次の項で解説します。

## (2) トランジスタのスイッチ効果



左図に示す、本問題の回路を例にして、n型MOSFET（トランジスタ）のスイッチ効果について簡単に説明します。ただし、高校物理で学習する程度の半導体の知識が無いとよくわからないと思いますので、半導体について大まかでいいので学習しておいてください。

トランジスタの結線例を図1に示します。図1の大線内がn型MOSFET本体です。Gate部と端子A、Drain部と端子B、Source部とコンデンサー回路をつなぎます。

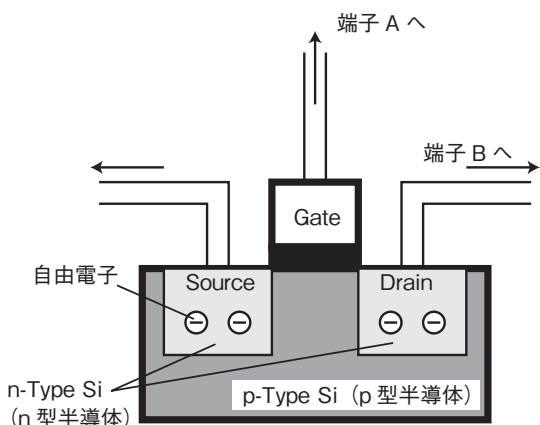


図1 n型MOSFETの結線例

このトランジスタはSourceとDrainに自由電子を多く含むn型半導体を配置し、Gateの真下にはp型半導体を配置します。このようにSourceとDrainはp型半導体によって電氣的に絶縁されており、端子Aに電圧をかけなければ、電流が流れることはありません。

・スイッチオンの状態

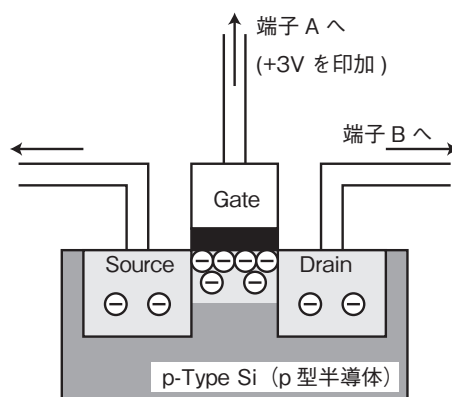


図2 スイッチオンに相当

図2のように、端子Aに電圧をかける（正電位を与える）とGate直下に生じる電界によって電子が集まります（受験生の皆さんには『Gateとp型半導体とその両者に挟まれたシリコン酸化膜（図2黒塗り部）の3者で構成されるコンデンサーが出来、電子がGate直下に集まる』と言ったほうが分かりやすいでしょうか）。このため、Source、Gate直下、Drainが短絡されたのと同じ状態になり、スイッチオンの状態になり、電流を流すことができます。

## 【おわりに】

今回紹介したトランジスタなど、身の回りには数えきれないほどの電子機器があふれ、私たちはそれらによる快適な生活を享受していますが、これら電子機器が急速に発展したのはこの数十年のことです。十年一昔（じゅうねんひとむかし）とはよく言ったもので、新しい技術がどんどん世の中に出てきてここ10年で私たちの生活もかなり様変わりしました。筆者が高校生の頃はインターネットどころか携帯電話ですら一般的なものではありませんでした。

受講生の方に「次は何が発展しそうですか」と、たまに聞かれますが正直わかりません。強者の皆さんがその「発展」をつくってくれるのを楽しみにします。