

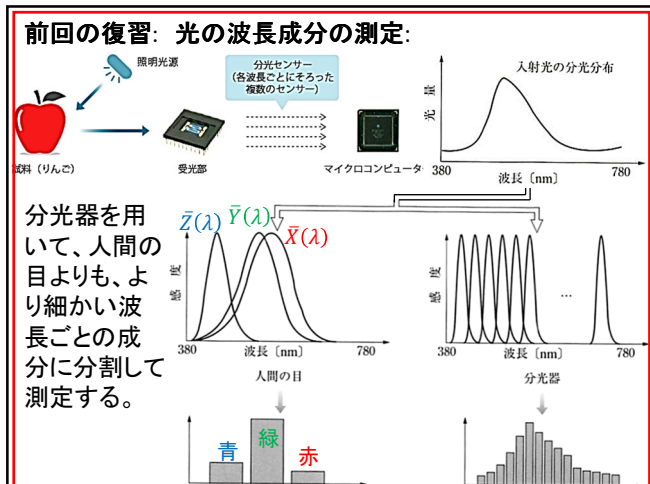
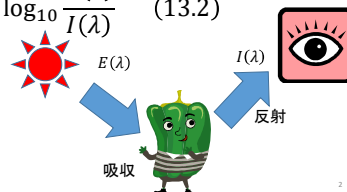
前回の復習: 光の吸収と反射:
光源から照射された光は、対象物の表面で一部が吸収され、残りが反射されて観測者の目に届く。 $E(\lambda)$ を光源の分光分布、 $I(\lambda)$ を目に入る光の分光分布とすると、波長ごとの反射率、

$$R(\lambda) = 100 \times \frac{I(\lambda)}{E(\lambda)} \quad (13.1)$$

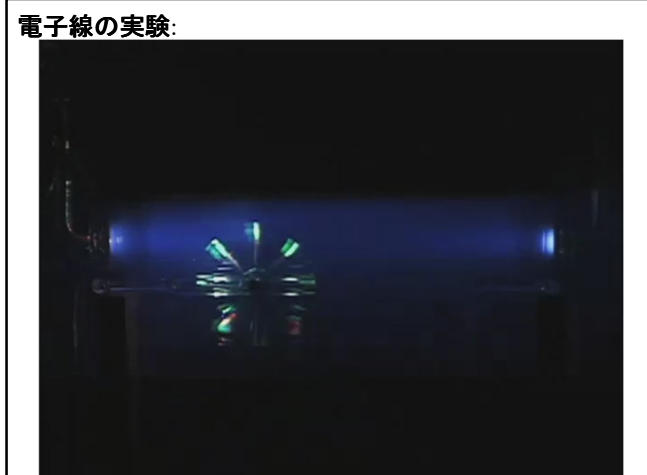
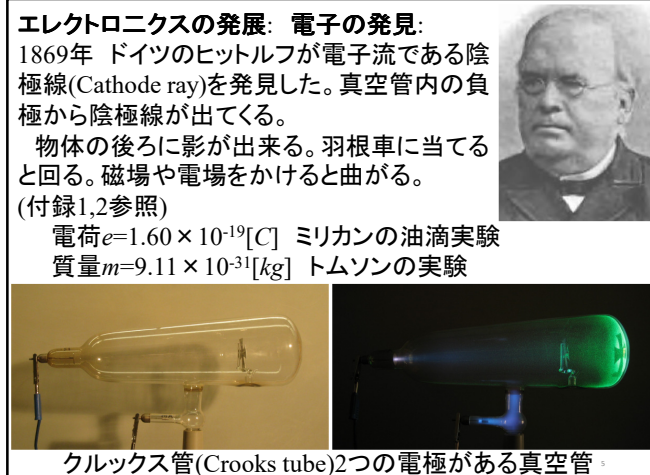
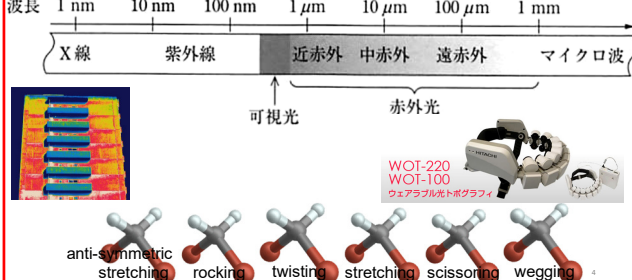
を分光反射率と呼び、波長ごとの吸光度、

$$A(\lambda) = \log_{10} \frac{E(\lambda)}{I(\lambda)} \quad (13.2)$$

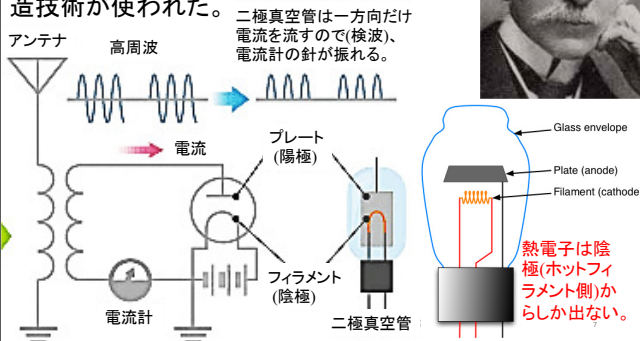
を分光吸光度と呼ぶ。



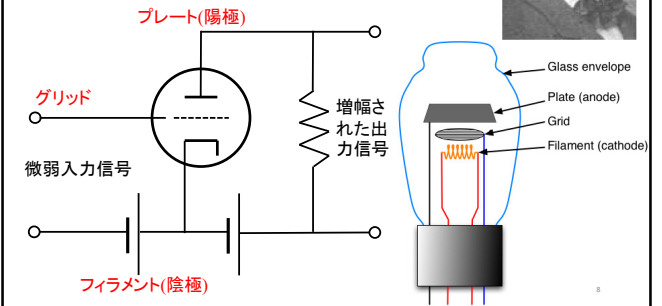
前回の復習: 赤外光(Infra-Red: IR):可視光より長波長(低周波数)領域の光を赤外光と呼ぶ。波長にして 780 nm ~ 1 mm、周波数に換算すると $0.3 \times 10^{12} \text{ Hz} = 0.3 \text{ THz}$ 程度。近赤外光は光に近い性質を持ち、遠赤外光は電波に近い性質を持つ。暖房器具や温度計測や赤外線通信や赤外線カメラや非破壊分析や脳活動計測などに用いられる。



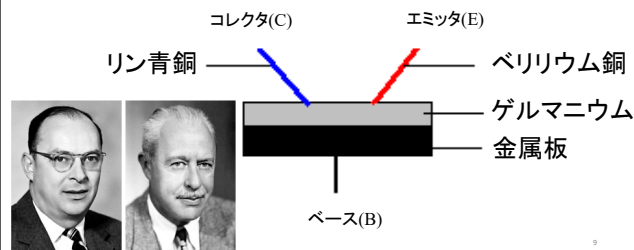
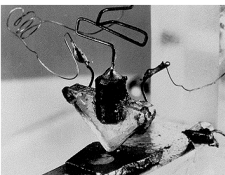
1904年 イギリスの Fleming (Fleming の法則の考案者) が **二極真空管** (真空管ダイオード) を発明した。熱電子放出効果のため整流作用がある。エジソンの白熱電球の製造技術が使われた。



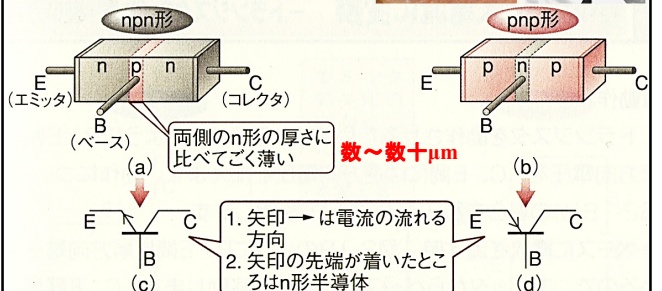
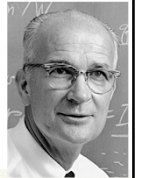
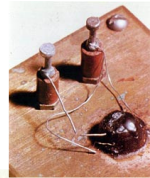
1906年 アメリカのド・フォレストが **三極真空管** を発明した。増幅作用がある。微弱な電気信号を検波・増幅するために用いられた。また、トランジスタが開発されるまでは、電子計算機等の論理回路でも使われた。



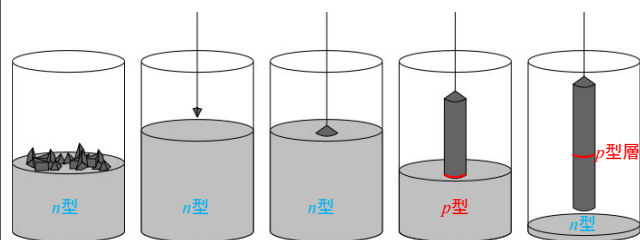
1947年 アメリカのベル研究所のバーディーンとブラッティンが **点接触トランジスタ** を発明した(1956年ノーベル物理学賞)。Geに2本の金属針を立てた構造をしている。マイクロ波の検波・増幅用に開発されたが、振動に弱く、特性が不均一であった。



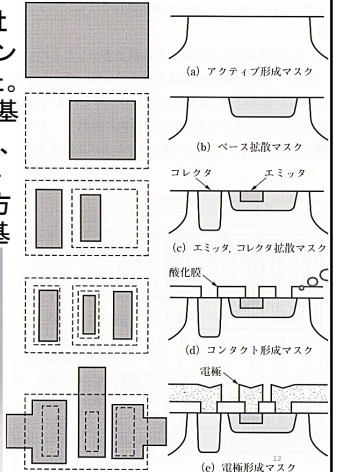
1951年 アメリカのベル研究所のショクレーが **接合型トランジスタ** (バイポーラ・トランジスタ) を発明した。これが最初の実用的なトランジスタである。

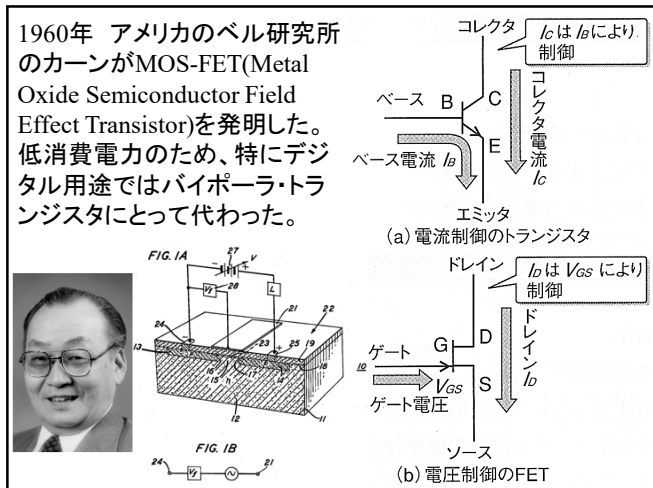
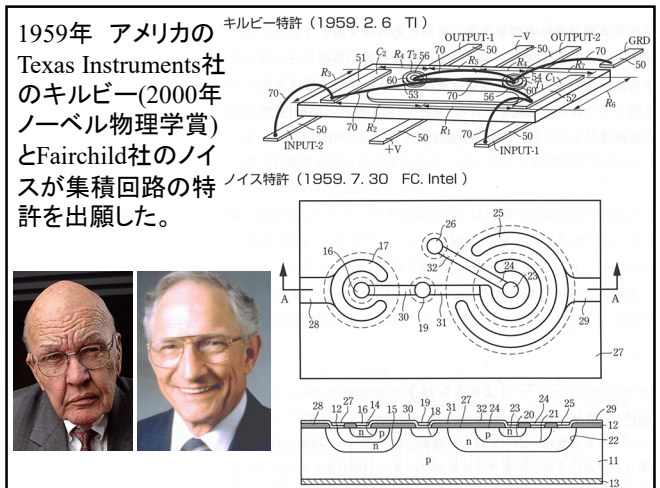
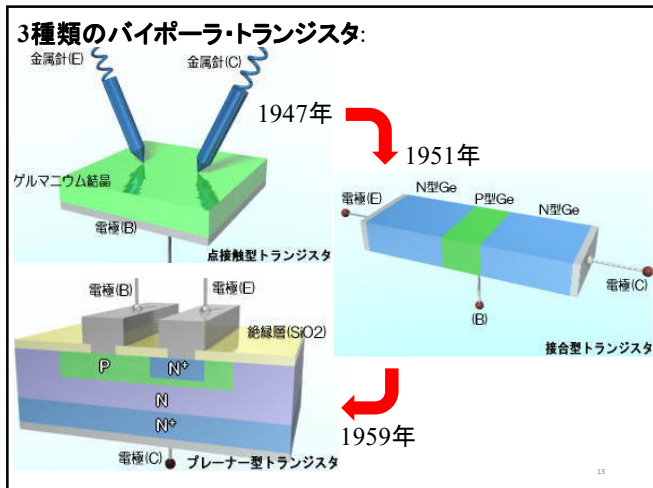


接合型トランジスタ作成方法は、**n型**の半導体の単結晶インゴットを引上げ法(CZ法)で作る際に、引上げ途中で**p型**の不純物を入れて、その直後にまた**n型**の不純物をより多く入れる。

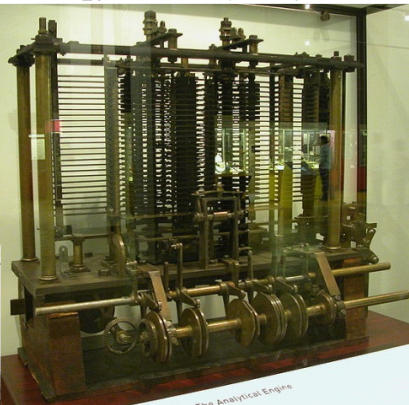
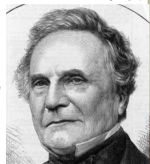


1959年 アメリカのFairchild社のヘルニが **プレーナー型トランジスタ** (バイポーラ) を発明した。フォトリソグラフィーで半導体基板に回路パターンを転写して、局所的に不純物を導入し、平面構造のトランジスタを作る方法で、現在のIC製造方法の基本となった。



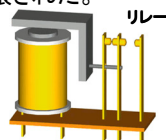


1837年 イギリスのバベッジが解析機関という蒸気機関で動作する機械式コンピュータを設計した(未完成)。パンチカードでプログラムとデータを入力して、計算結果を印刷する。十進数の固定小数点の四則演算ができ50桁の数値を1000個格納できる記憶領域があり、ループと条件分岐が可能であった。



電子計算機の登場:

1941年ドイツのツェーが汎用電子計算機Zuse Z3を発明した。セルロース製パンチテープでプログラムとデータ入力をする。スイッチング素子は2200個のリレー(継電器)を使っている。22ビット・2進数の浮動小数点演算で、クロック周波数は5~10Hzであった。1944年のベルリン爆撃で破壊された。



1946年 アメリカのペンシルバニア大学が汎用電子計算機ENIACを開発した。プログラム入力は、人力で配線を組み替え、計算結果はパンチカードで出力した。スイッチング素子は、約18,000個の三極真空管と1500個のリレーで、10進数の符号付き10桁の演算ができた。クロック周波数は5kHz、重量30t、消費電力150kWであった。大砲の弾道計算が主目的であった。

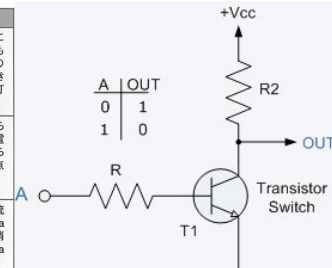


(補足) 論理ゲートとスイッチング素子: デジタル電子回路では、三極真空管やリレーやトランジスタやMOS-FETは単なる**スイッチ**として動作する! 電子計算機はスイッチの集合体である。

リレーを使った論理ゲート

回路名	回路図	働き
AND		コイルA, Bの両方に電流が流れて(ともに1)、a, bの両方のスイッチが閉じたときだけ、ランプは点灯(1)する。
OR		コイルA, Bのどちらか(または両方)に電流が流ればどちらかが1、ランプは点灯(1)する。
NOT		コイルAに電流が流れる(1)とスイッチaが開き、ランプは消灯(0)する。通常はaが閉じている。

トランジスタを使ったNOTゲート

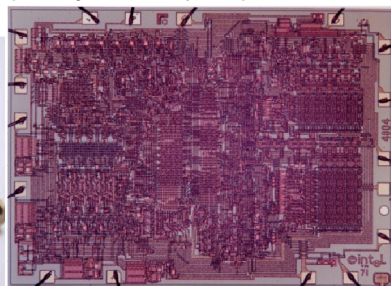


スイッチング素子なら、なんでも論理ゲートを作れる。

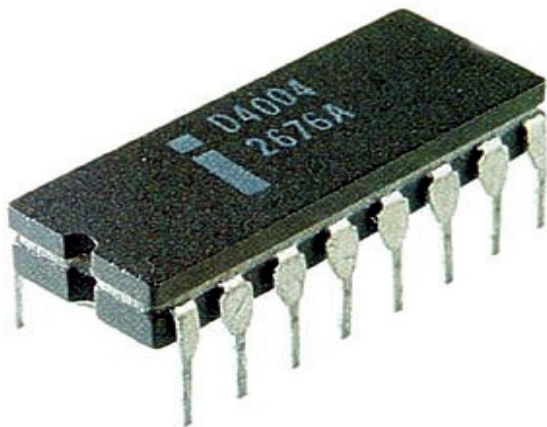
1957年 IBMが全トランジスタ式電子計算機IBM7090を発表した。32kワードの磁気コアメモリー、メモリーサイクルは2.18μ秒(460kHz)、磁気テープ、パンチカード、プリンタに出力可能であった。価格は290万ドル(当時の為替で10億4千万円)で日本には3台輸入された。



1970年 インテル社が世界初のシングルチップ商用CPU(Intel 4004)を発表した。4ビットCPUで動作クロックは500~741 kHz、3×4mmのダイサイズ、10μmプロセスで2300個のp型MOS-FETを集積した。日本のビジコン社が電卓用に使うためIntelと共同開発した。ビジコン社の嶋正利氏は設計者の一人である。

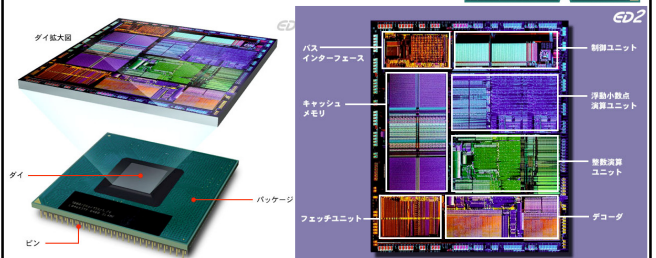
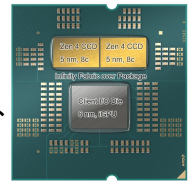


Intel 4004:

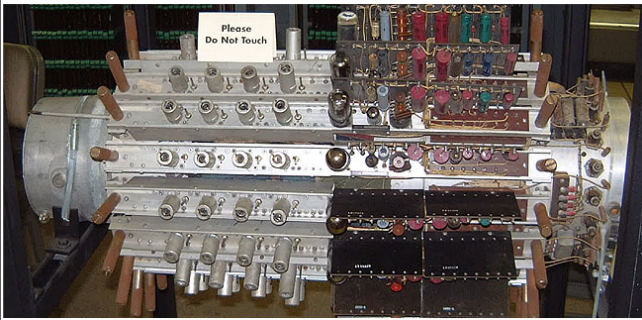


(余談) 最新のCPU

パソコンの頭脳にあたるCPUは内部配線の微細化が年々進み、今は4nmのプロセスルールで作製されている。FinFETのトランジスタ数は約130億個である。内部には、演算ユニット、キャッシュ、IOインターフェース等がある。

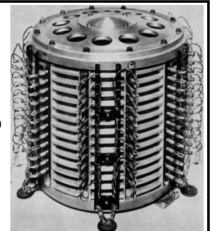


主記憶装置(メモリ)の変遷: 水銀遅延線: 両端に水晶振動子を取り付けた水銀管からなる。片側の振動子を振動させ、水銀中を音波が伝搬する時間分のデータを保持できる。反対側に付いた振動子で音波を検出して読み出す。長さ約1.5メートルの水銀管で1kBitの記憶容量であった。

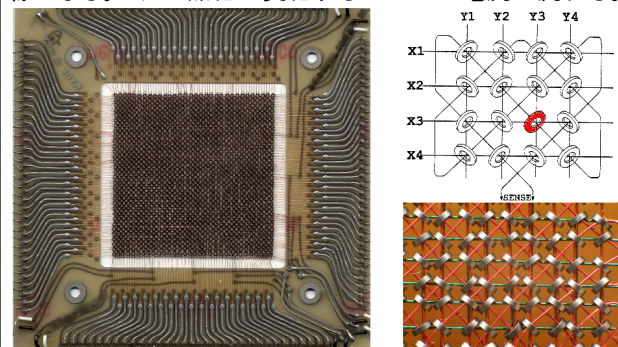


磁気ドラムメモリ(1950年代):

HDDの磁気ディスクをドラム状にしたメモリである。ドラムは強磁性体で表面がコーティングされた金属のシリンダーである。トラック数分だけ磁気ヘッドがある。長さ20cm直径10cmのドラムで約500kBitの記憶容量であった。

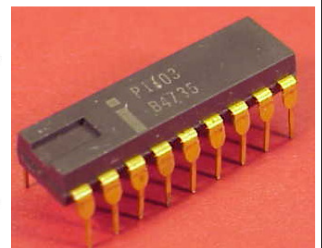
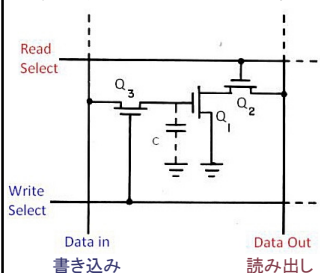


磁気コアメモリ(60年代): 磁性体のリング(コア)に3本のケーブルを通したものを格子状に多数配置したメモリである。コア1つで1ビットになる。XYがアドレス線で、Senseが読取線になる。コアの磁化が変化するとSenseに電流が流れる。



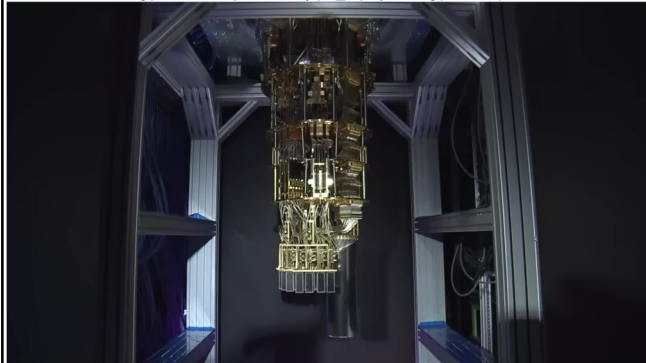
DRAM(Dynamic Random Access Memory):

MOS-FETを使った半導体メモリで、現在主流の記憶装置である。1970年にインテル社が最初のDRAMチップ(Intel 1103)を発売した。容量は1kBitであった。現在のDRAMの構造と違って書き込みと読み出しが別の信号線になっていて、3トランジスタ/セルであった。

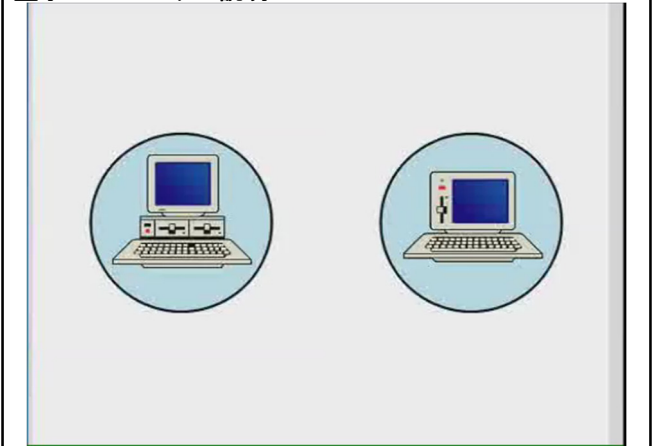


電子計算機の今後: 量子コンピュータ:

量子ビット(Qbit)で0と1の値を重ね合わせた状態のデータを保持できる。現在の最速スーパーコンピュータで数千年かかっても解けない様な計算を数秒で解ける。



量子コンピュータの説明:



Qiskit: 量子コンピュータのプログラミング言語

Qiskit

出典: フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』

Qiskitは、量子コンピュータ用のオープンソースのフレームワークである。量子回路を作成し、プロトタイプ量子デバイスやシミュレーション上で実行するためのツールを提供する。量子チューニングマシン (英語版) の量子回路に対応しており、これに従う量子ハードウェアに使用することができる。

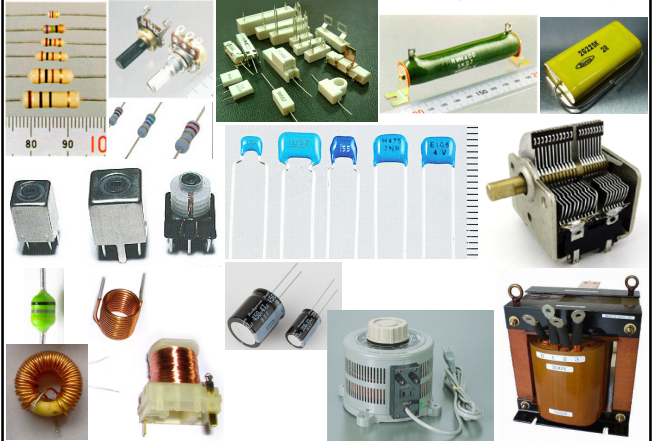
Qiskitは、クラウド量子コンピュータ (英語版) サービスのソフトウェア開発を実現するためにIBM Researchによって作成された[3][4]。学術機関等の外部の支援者からもコントリビューションが行われている[5]。

Qiskitの正式バージョンではPythonプログラミング言語を利用する。Swift[6]とJavaScript[7]で記述することも可能。これらは、OpenQASM (英語版) 表記に基づいて量子プログラムを記述することになる。

量子コンピュータに使用されるサンプルとして、さまざまなJupyter notebooksが提供されている[8]。

開発元 IBM Research, Qiskit

次回の予告: 抵抗器、コンデンサ、コイル、トランスの基礎

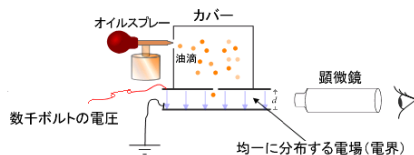


(付録1) ミリカンの油滴実験: 二枚の金属電極間に帯電した微小な油滴を入れる。そして、油滴が下向きの重力と上向きのクーロン力が釣り合って静止するように金属電極間の電圧を調整する。すると、電極間の電場の強さ E から油滴の電荷 e が以下の様にわかる。

$$m_d g = eE = eV/d, \quad e = m_d g d / V,$$

(m_d : 油滴の質量, g : 重力加速度, e : 油滴の電荷, E : 電場, V : 電極間の電圧, d : 電極間の距離)

油滴の電荷が常に 1.6×10^{-19} [C]の整数倍になったので、電荷の最少単位である電子の電荷がこの値であることがわかった。



(付録2) トムソンの実験: 陰極線に下図の様に、下から上に電場 E 、後ろから前に磁場 B を印加すると、電子は、電場 E によって $F_E = eE$ の力を下向きに受ける。同時に、磁束密度 B によって $F_B = evB$ の力を上向きに受ける。従って、電子がまっすぐ進むときは $F_E = F_B$ となり、電子の速度 v は、

$$eE = evB, \quad v = E/B,$$

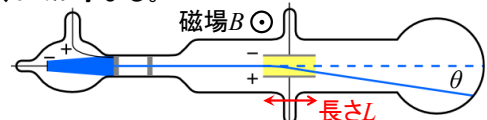
となる。この状態から磁束密度 B だけを止めると、電子は下向きに F_E の力を L/\hbar 秒だけ受けるので、

$$F_E L / mv = F_B BL / mE = eBL / m \equiv v_1,$$

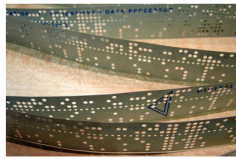
だけ、下向きの速度を持つ。従って、

$$\tan \theta = v_1 / v = eB^2 L / mE, \quad e/m = E \tan \theta / B^2 L$$

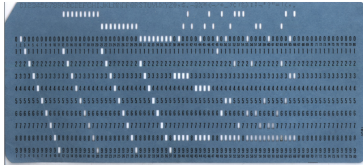
となり、 e/m が求まる。



(付録3):補助記憶装置(ストレージ)
の変遷: 紙テープ(パンチカード):
自動パンチ機で開けた穴の有無で
0,1のデータを記録する。1つの列に8
個の穴があり、1Byteに相当する。



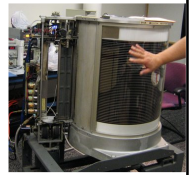
磁気テープ(50年代~):
磁気テープの磁化方向
でデータを記録する。最初
はオープンリール型
だったが、後にカートリッ
ジ型もできた。現在でも、
バックアップ用途等に使用
されている。



ハードディスク(磁気ディスク):

1956年にIBMが最初の磁気ディスク(IBM
350)を発売した。

直径61cmの磁気ディスク50枚で約4.4MBの記憶容量で
あった。現在では、直径3.5インチの磁気ディスク4枚で4TB
の記憶容量である。



フロッピーディスク:

1970年にIBMが8インチ版を開発
した。容量は128kBであった。

その後、5インチと3.5インチ版(1.44MB)がで
きた。現在は、衰退してあまり使われていない。



フラッシュメモリ(SSD):

不揮発性の半導体であるフラッ
シュメモリを使ったもの。

HDDより高速で低消費電力だが高価である。
最近は低価格化してHDDの置換えが進んでいる。
USBメモリ、SDカード等でも使用されている。

