

電子デバイス・フォトニクス工学について

電気3年必修科目（2単位）

月曜3限目開講。

前半の担当は木村

[後半は佐々木友之准教授]



木村宗弘



各スライドにある
マークをクリックして、
音声を再生して下さい。

1枚のスライドに複数の音声が埋め込まれていることがあります。

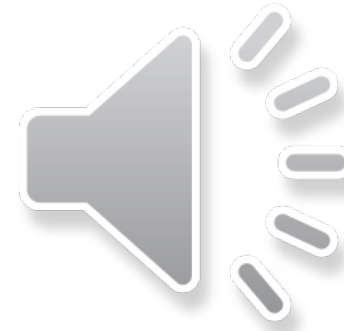
電気電子
機能材料 改訂3版



教科書はこれ

シラバス確認・成績評価・試験

シラバスから変更があります



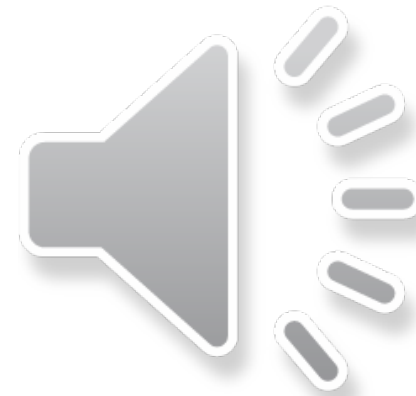
- 前半は、講義の中で不定期に出します“課題問題”の評価を25点、前半まとめの試験を25点として総合評価します。
- 綜合成績は、前半/後半の合計点で評価します。
- 定期試験の実施日には後日お知らせします。

講義に合わせた予習復習が必要です。



現時点での講義予定

4月27日, 第1講	電子デバイス・電子材料とは
5月4日, Holiday	
5月11日, 第2講	導電体材料
5月18日, 第3講	半導体材料
5月25日, 第4講	磁性体材料
6月 1日, 第5講	半導体材料
6月 8日, 第6講	誘電体材料



6月15日 後半（担当は佐々木友之先生）

8月3日(月) 期末試験

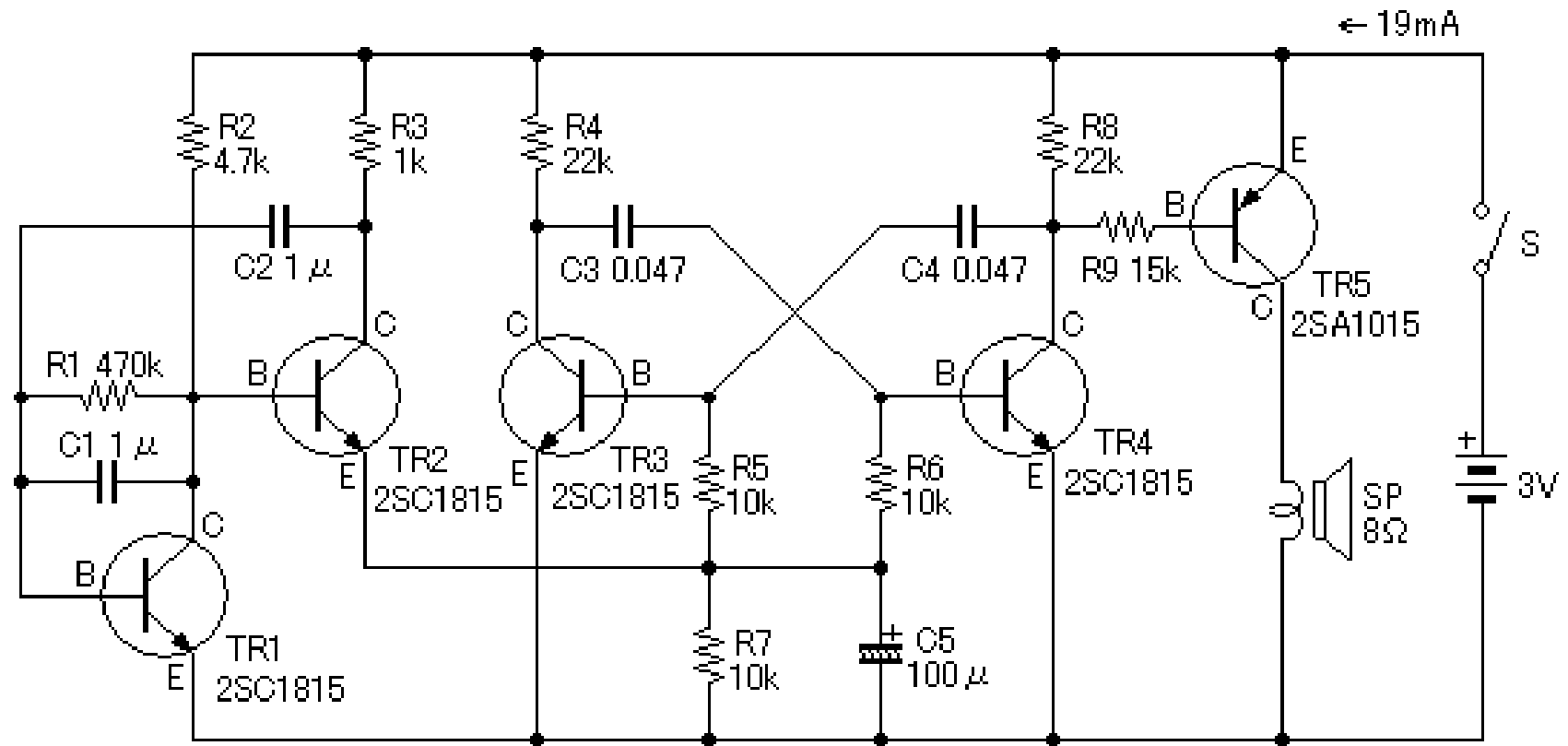
期末試験の出題の半分は前半の講義の内容です。

こんなのを作って遊びませんでしたか？



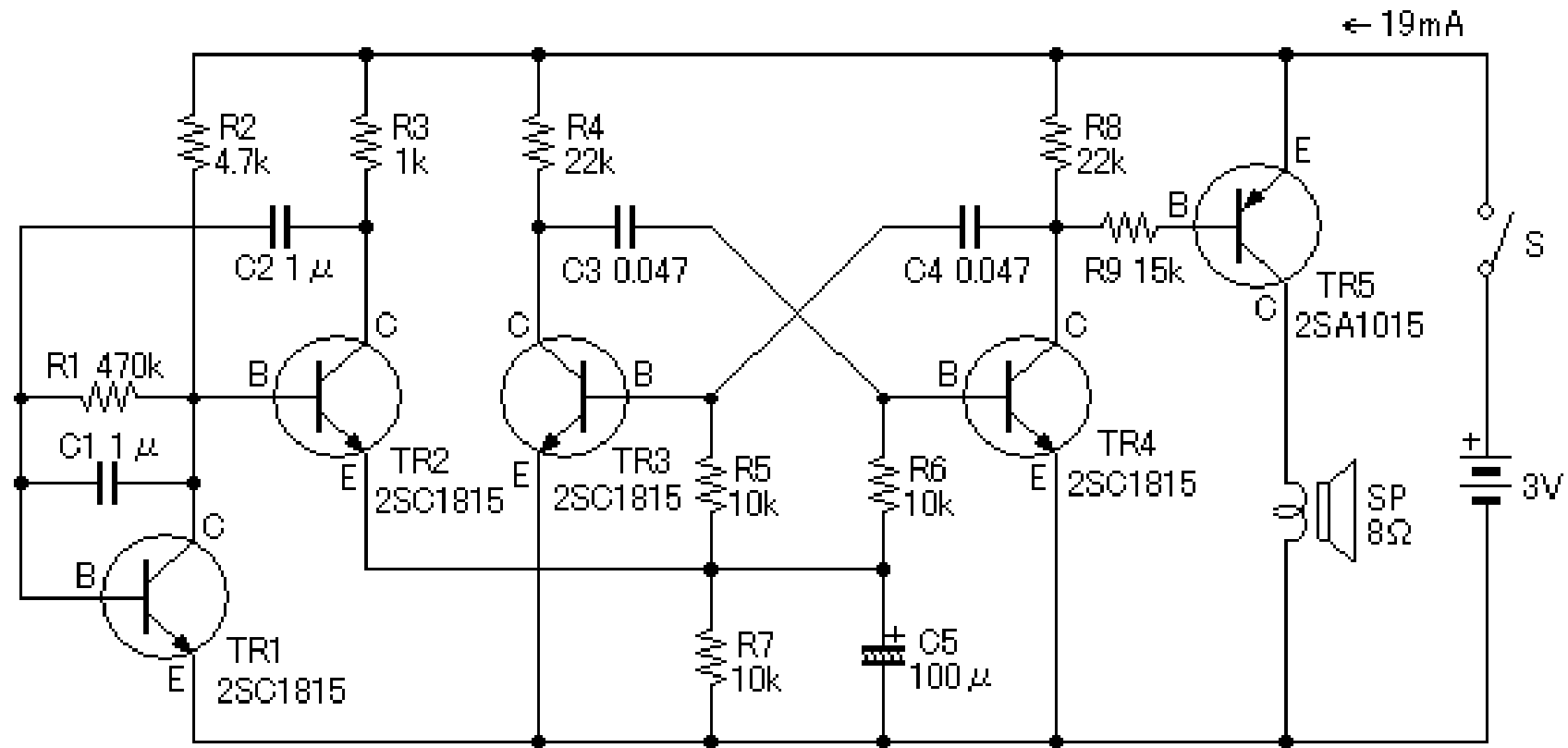
出展 http://ncp.silk.to/usadtc/radio/04ame_pat_siren/index.htm

回路図



出展 http://ncp.silk.to/usadtc/radio/04ame_pat_siren/02.htm

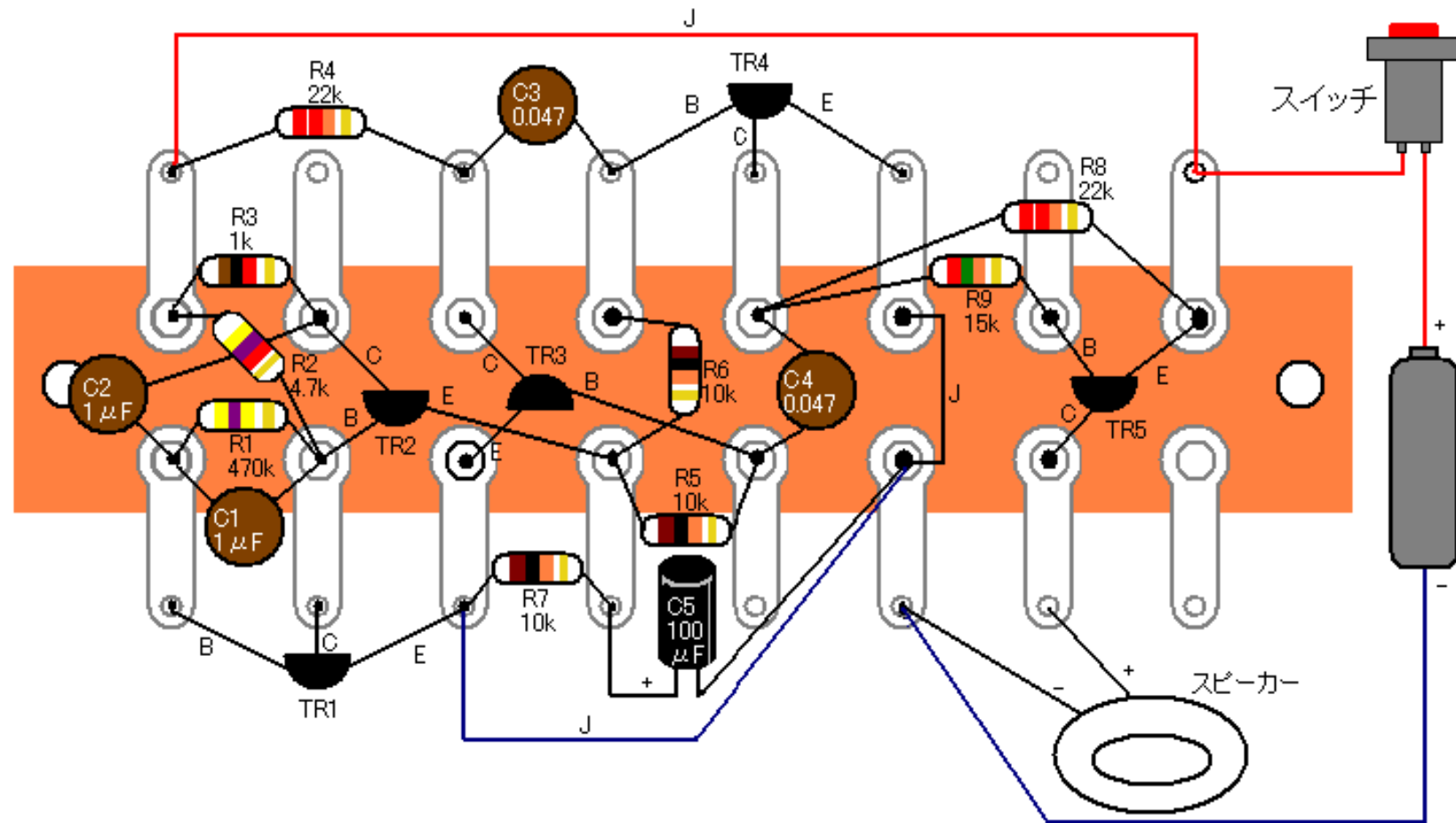
無安定マルチバイブレーター回路



出展 http://ncp.silk.to/usadtc/radio/04ame_pat_siren/02.htm

組み立て実体図

アマパトサイレン 実体配線図



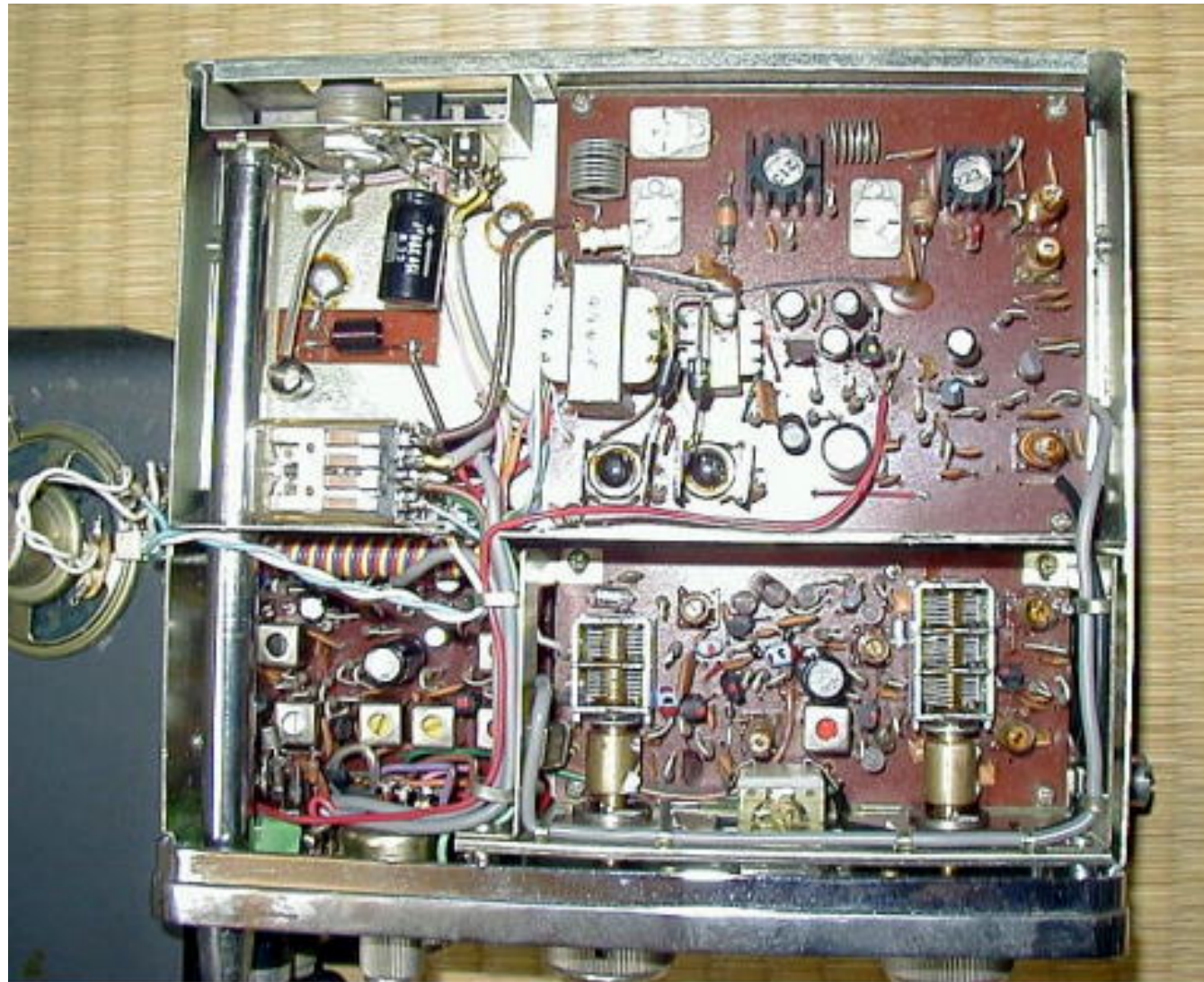
出展 http://ncp.silk.to/usadtc/radio/04ame_pat_siren/02.htm

今から50年前のオールトランジスタ・トランシーバ



出展 https://fabcross.jp/topics/dug/20180905_sony_icb_650.html

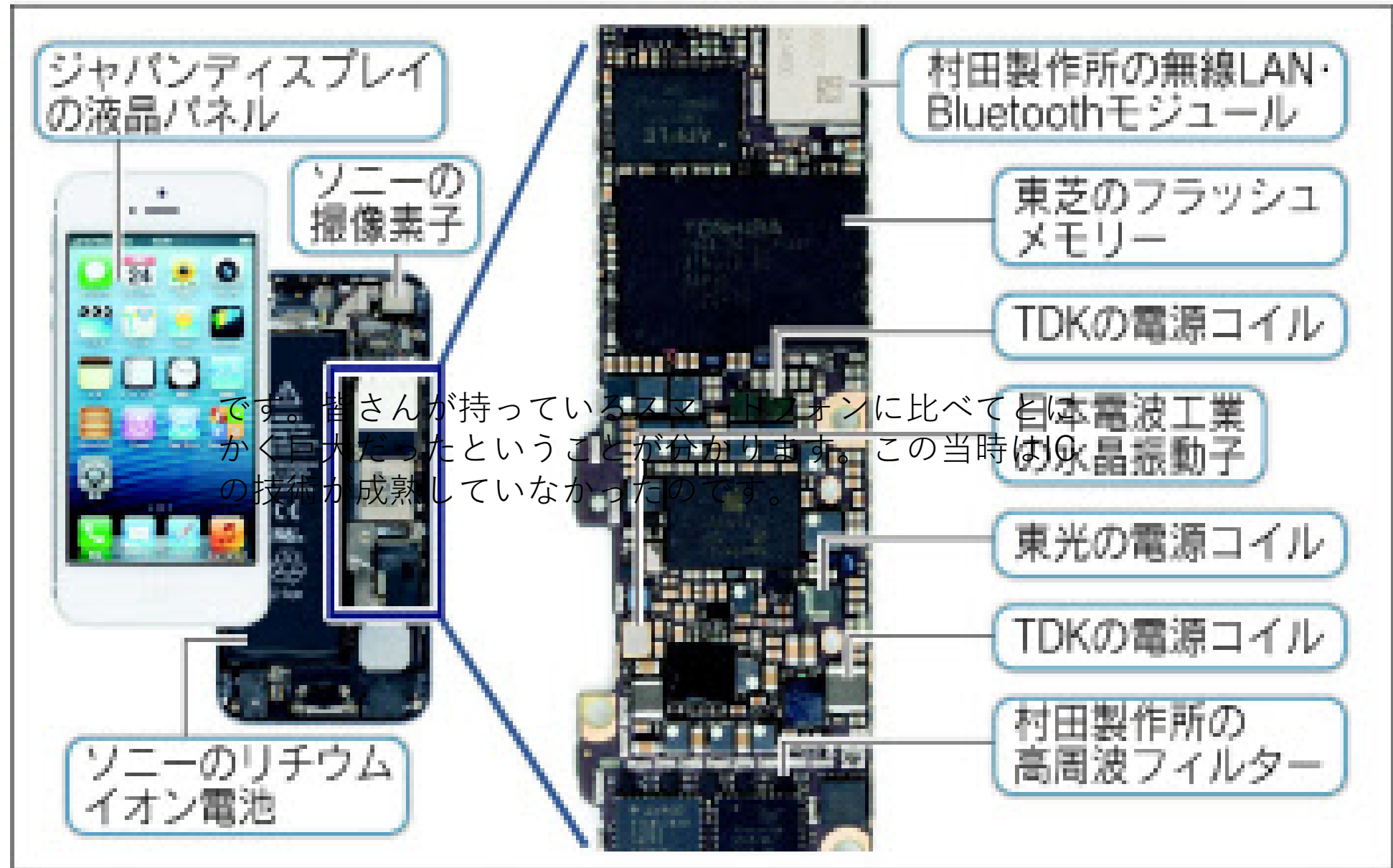
オールトランジスタ・トランシーバの中身



出展 <http://www.asahi-net.or.jp/~hp6y-isym/Fdam3.htm>



iPhone5の分解調査で確認できた主な日本メーカー部品



(注)写真は日経エレクトロニクス提供。部品の機能とメーカーは日経エレクトロニクスと本紙推定

日経エレクトロニクス 2012/10/19より

どのようにして小型化は進んできたのか？

真空管

バイポーラトランジスタ



電界効果トランジスタ

チップ抵抗

電気2重層キャパシタ

液晶ディスプレイ

積層基板

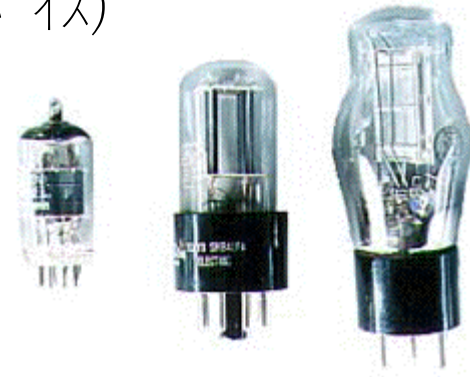


真空管 (前世紀の電子回路の基本単位デバイス)



真空管の働き

- ・ 整流作用 (交流電流を直流にする)
- ・ 電気信号の増幅



世界初の電子式コンピューター

ENIACには真空管が使われていて、その数は**18800**本。
・1秒間に**5000**回の計算をすることができた (数百**Flops**)

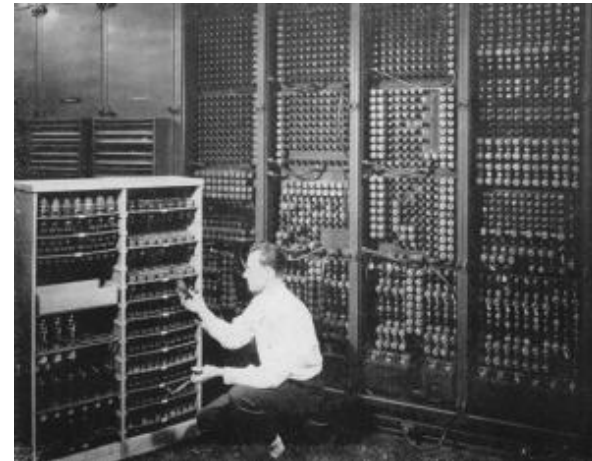
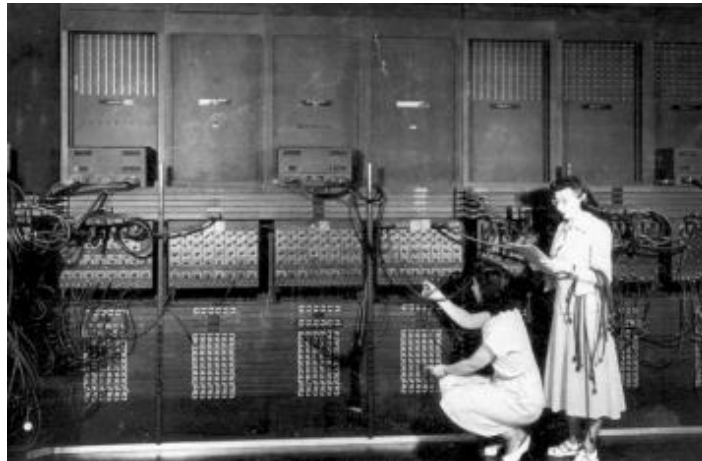
コラム：

MIPS

1秒間に何百万個の命令が実行できるか

FLOPS

1秒間に浮動小数点数演算が何回できるか



Corei7
150,000Mips

RaspberryPi2
1,000Mips

スライド問題1-1


1Wあたりの演算性能（すなわち演算/W）はどのくらい改善されていますか？



ENIAC本体の大きさは、幅30m、高さ2.4m、奥行き0.9mだという。
スマートフォンの大きさが125mm×60mm×厚さ8mmとする。
同じ体積で比べると（すなわち単位体積当たり）何倍の性能差だといえるか？

スライド問題1-1解答例

1Wあたりの演算性能（すなわち演算/W）はどのくらい改善されていますか？

 1Wあたりの演算性能で考えれば「約2.4兆倍」にも進歩しているのです。

ENIAC本体の大きさは、幅30m、高さ2.4m、奥行き0.9mだという。スマートフォンの大きさが125mm×60mm×厚さ8mmとする。同じ体積で比べると（すなわち単位体積当たり）何倍の性能差だといえるか？

体積比で $64.8\text{m}^3 : 60 \times 10^{-6}\text{m}^3$ なので $1.08 \times 10^6 \times 8 \times 10^7 \div 8.6 \times 10^{15}$



技術革新を支えてきたのは材料科学を含めた電子工学

小型化

低消費電力

長寿命化

高信頼性



新デバイスの登場

大容量化

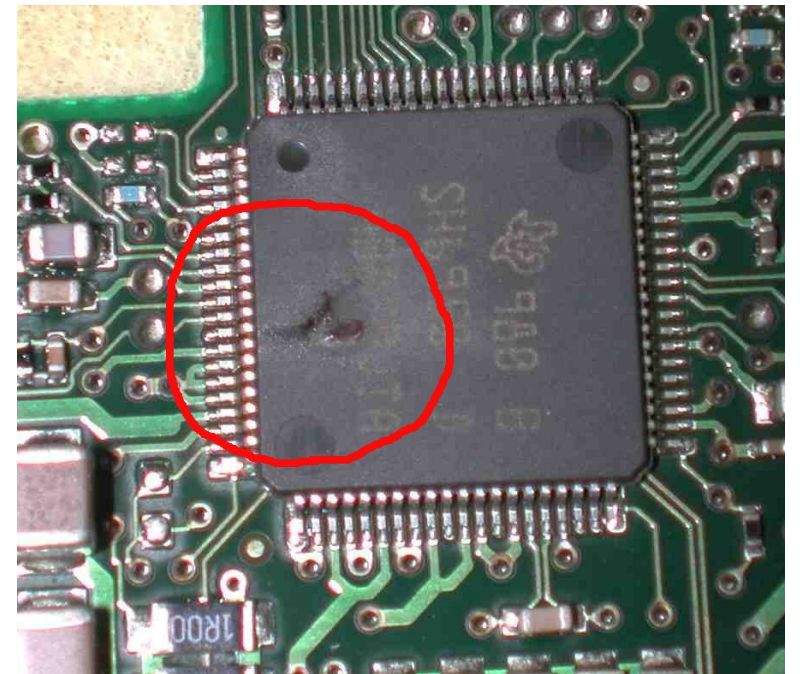
高速化

デバイスアーキテクチャの革新

イノベーション

シーズとニーズ

真空管から半導体に移り変わった理由



半導体が真空管に変わり得るとの着想

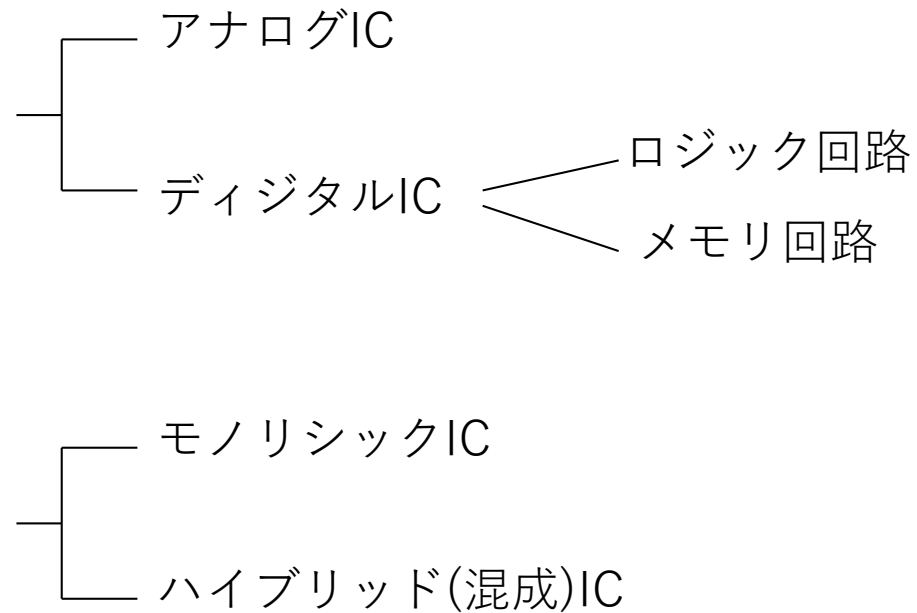


(Lilienfeld. E. J)

集積回路(IC: Integrated Circuit)

ICの名称	素子数／チップ
SSI	< 10
MSI	$10^2 - 10^3$
LSI	$10^3 - 10^5$
VLSI	$10^5 - 10^7$
ULSI	$> 10^7$

表1 ICの集積度による分類



何故ICなのか？ (重要)

機器の小型軽量化

信頼性の向上 (故障は部品点数[ハンダ付箇所数]に比例)

製造プロセス (一挙に作れる)

特性の均一化

高速化・高周波化 (キャパシタンス・インダクタンスが減るから)





半導体が何故進化出来たのか？



りょうしきがく
量子力学

量子論の起源

りょうしろん きげん ど い つ じんぶつりがくしゃ
量子論の起源は、ドイツ人物理学者

Max Planck（あの有名な [Max Planck]

けんきゅうしょ し なまえ かん
研究所は氏の名前を冠した）が、1900年

がくじゅつし はっぴょう ほうしゃ かん りょうし
に学術誌で発表した [放射に関する量子

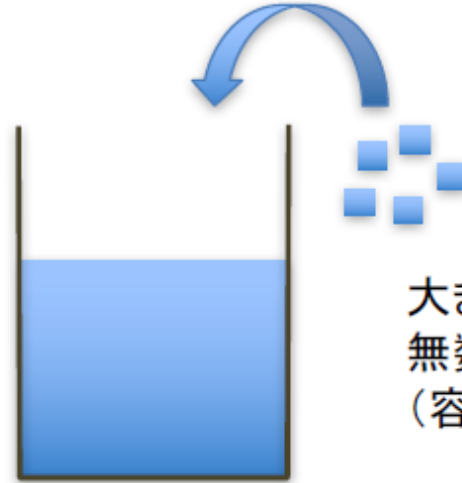
かせつ
仮説] である。





ミクロとマクロ

- マクロな世界

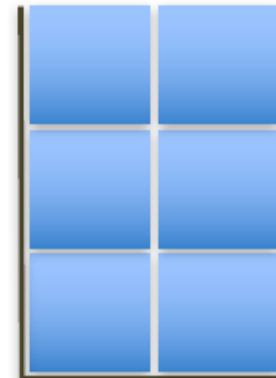


大きな容器には微視的な量を
無数に連続で入れることができる
(容器は極めて大きい)

- ミクロな世界



最小単位の量子(エネルギーなど)



整数個の量子しか入ることができない
(容器は極めて小さい)



ゆる
許されるエネルギー

プランク
定数

振動数

$$E = nh\nu$$

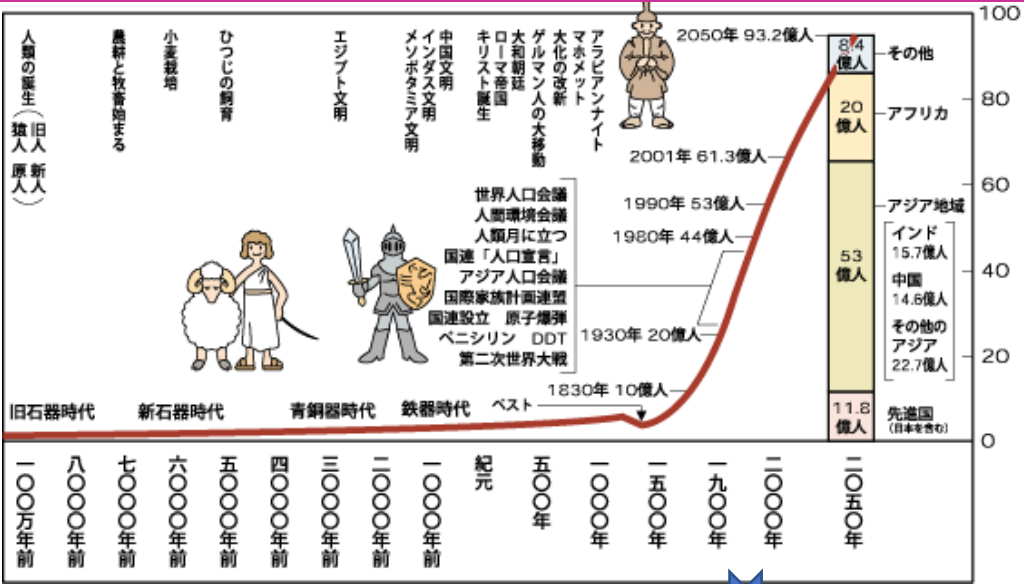
の整数倍

りさんてき
の離散的なスペクトルか



かんが
らつくられると考える。

進化は「鉄から軽金属へ、そして有機物へ」



出典: 松村 稔「人口を考える」、総務庁統計局編「世界の統計2002」

1888年	1897年	1897年	1904年	1906年	1915年	1946年	1948年	1953年	1954年	1961年	1968年	1969年	1986年
ヘルツが電磁波の存在を実験的に証明。	トムソン、陰極線粒子の比電荷(電荷と質量の比)の研究によって電子の存在を確認。	マルコニ―無線電信を発明。	2極真空管が発明された。	3極真空管が発明された。通信やラジオ、テレビの発達の基礎になった。	急速に発展。真空管とる波器によって電信・電話が発明。真空管による電子回路が発明された。	真空管式電子計算機であるエニアック(ENIAC)完成。	トランジスタの発明した。	エレクトロルミネセンス(EL)現象発見。有機と無機材料にて。	結晶シリコン太陽電池を発明した。	米国の研究所のピアソン、チャピンらが単結晶シリコン太陽電池を発明した。	動的散乱モードLCDの開発。	ARPANET(インターネットの原型)が登場。	「高温超電導現象」を起こすセラミックスが発見された。

真空プロセス

鉄器を使いこなす



軽金属を使いこなす



ゴム・プラスチックを使いこなす

相似性

真空管を使いこなす



シリコンを使いこなす



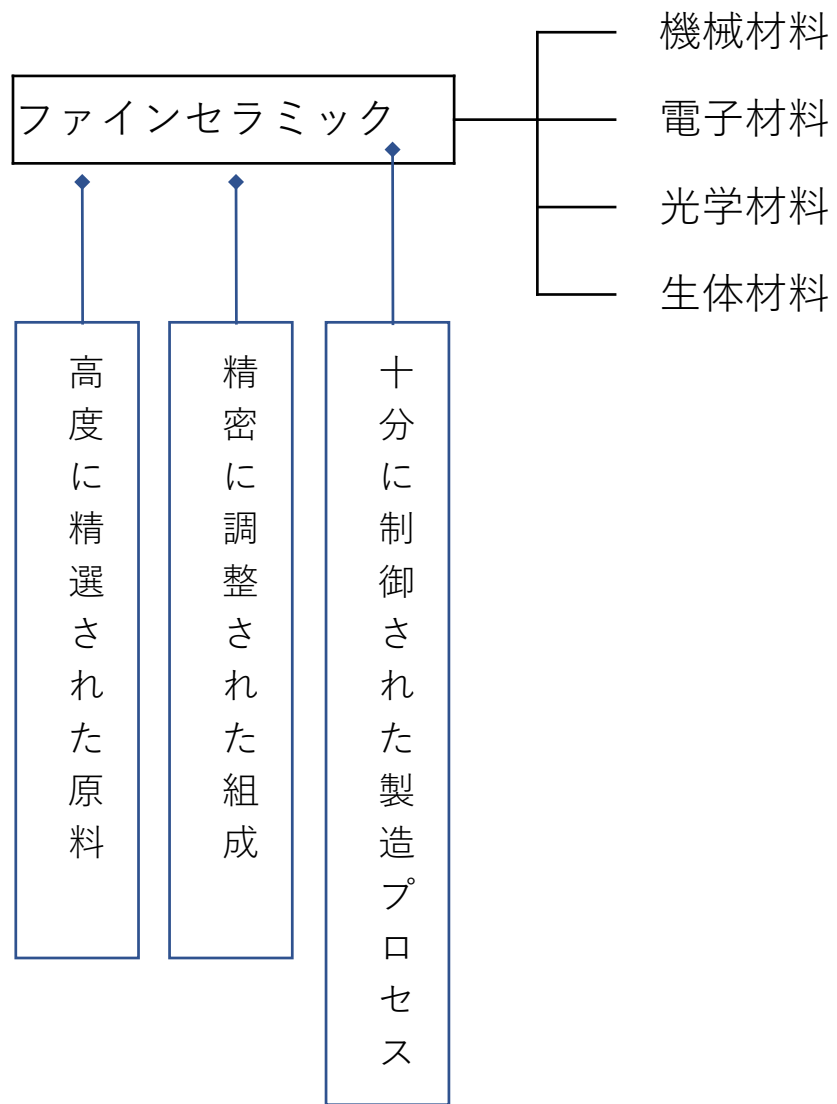
有機物を使いこなす

次に目指すは
脱真空





ファインセラミック



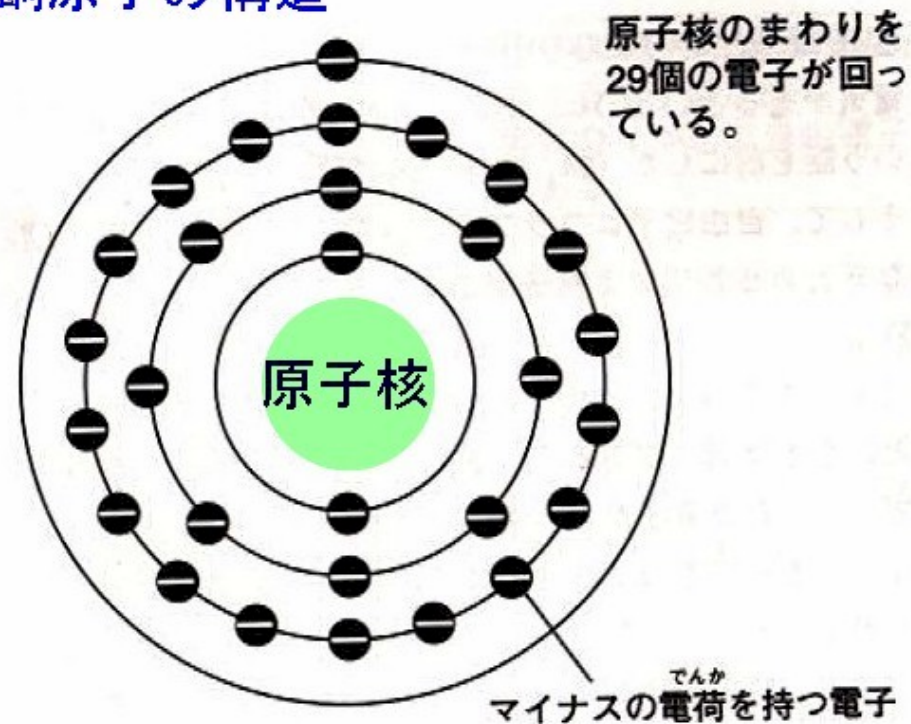
教科書 図1・2
ファインセラミックスの概念図

導体(1)

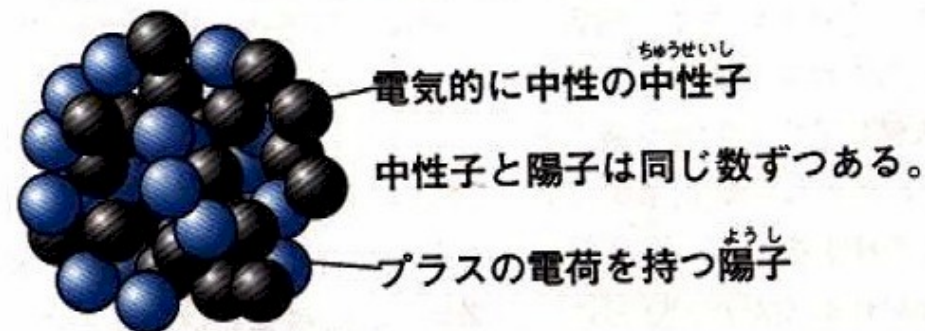
導線には銅が使われる ボーアの原子モデル



銅原子の構造

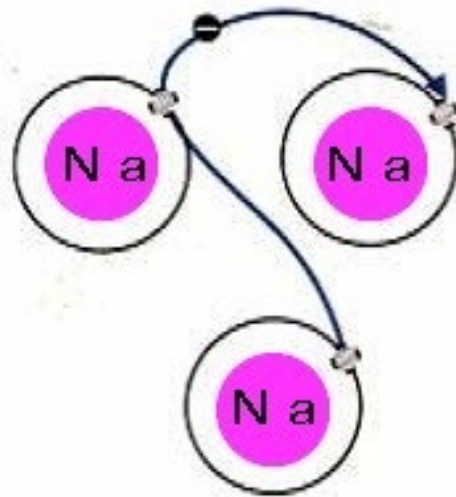
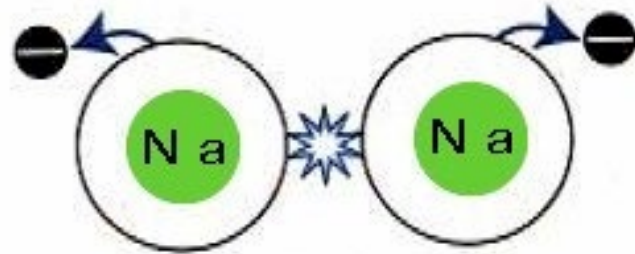


原子核は陽子と中性子でできている。



原子は電氣的に中性を保っているため、原子中の陽子、中性子、電子の数は同じである。銅なら各々29個ずつある。

導体(2)

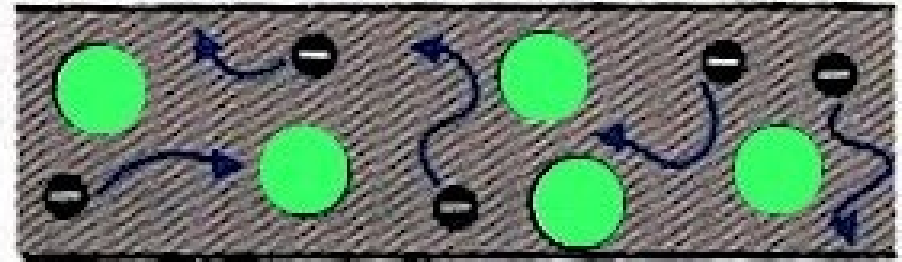


ドルーデモデル

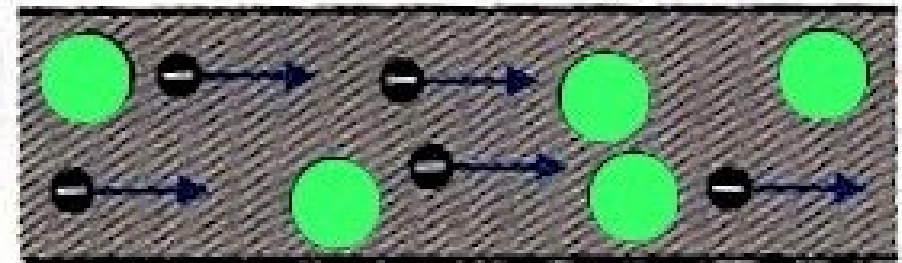
金属結合



導体



電圧をかけると



このような電子を自由電子という。
電気を通す物質を導体という。



フラインメタル

(1)半導体材料



(2)超電導材料



(3)磁性体材料



(4)アモルファス材料



(5)形状記憶合金



(6)水素貯蔵合金



スライド問題1-2

アモルファス材料と固体(結晶)を見分ける
にはどうすればいいか？



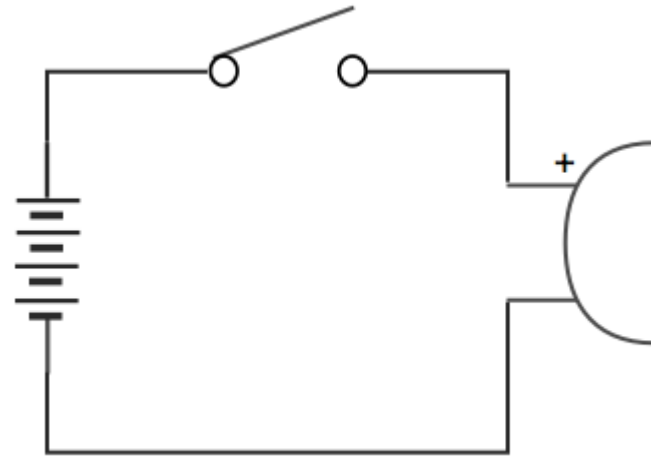
スライド問題1-2解答例

アモルファス状態では、結晶構造を持ちません。このため、X線回折実験を行えば直ぐ分かります。結晶ではその構造に対応した回折パターン（鋭いピーク）を得ることが出来ますが、アモルファス材料ではブロードなハローしか得られません。



スライド問題1-3

このようなごく単純な回路でもない限り、
能動素子無しには電子回路は構成できない。
何故なのか各自で考えて下さい。





フアインポリマー

電子材料としては、導電性高分子が注目されています^(*)。

最近では、感光剤としても普及しています。

^(*)2000年に白川秀樹博士がノーベル化学賞を受賞

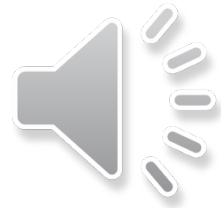
機能性セラミックスの用途例

教科書 p.12
表 1.6

機能	材料	主な応用素子・用途
絶縁性	Al_2O_3 , BeO , SiC , BN , Si_3N_4 , AlN	回路基板, 半導体パッケージ, がいし
誘電性 強誘電性	BaTiO_3 , SrTiO_3 (Pb , La) (Zr , TiO_3)	コンデンサ 電気光学素子
半導性	Mn , Ni , Co , Fe 酸化物 ZrO_2 系, SiC 系, SnO_2 , $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, ZnO , MgCr_2O_4 , $\cdot\text{TiO}_2$, BaTiO_3 , SrTiO_3 , ZnO , SiC	NTCサーミスタ, 高温サーミスタ, ガスセンサ, 湿度センサ, PTCサーミスタ, BLコンデンサ, バリスタ
伝導性	SiC , MoSi_2 , LaCrO_3 , LaCoO_3	炉用発熱体, MH発電, 燃料電池用電極
超電導性	SrTiO_2 , LiTi_2O_4 , $\text{Ba}(\text{Pb}, \text{Bi})\text{O}_3$ LiTi_2S_4 , PbxMo_6S_8	超電導電送, 磁気浮上, ジョセフソン素子
イオン伝導性	ZrO_2 系, LaF_3 , $\text{b-Al}_2\text{O}_3$, Li_2N , $\text{Na-bGa}_2\text{O}_3$	酸素センサ, イオンセンサ, Na-S電池, 燃料電池
圧電性	$\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$, BaTiO_3 , 水晶, ZnO	振動子, 超音波素子, 圧電ブザー, 表面波素子
焦電性	$\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$, PbTiO_3 , LiTaO_3	赤外線検出素子, 温度センサ

58 : 00

電子材料の将来



SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



スライド問題1-4

ある工場跡地で土壌汚染が見つかった。鉛が土壌中に1 ppm検出されたという。工場の敷地は1000 m²で、地表から1 mの深さまで均質に鉛が染み込んでいたと仮定すると、その土壌全体に染み込んだ鉛の総量はどのくらいと見積もれるか？



スライド問題1-4解答例

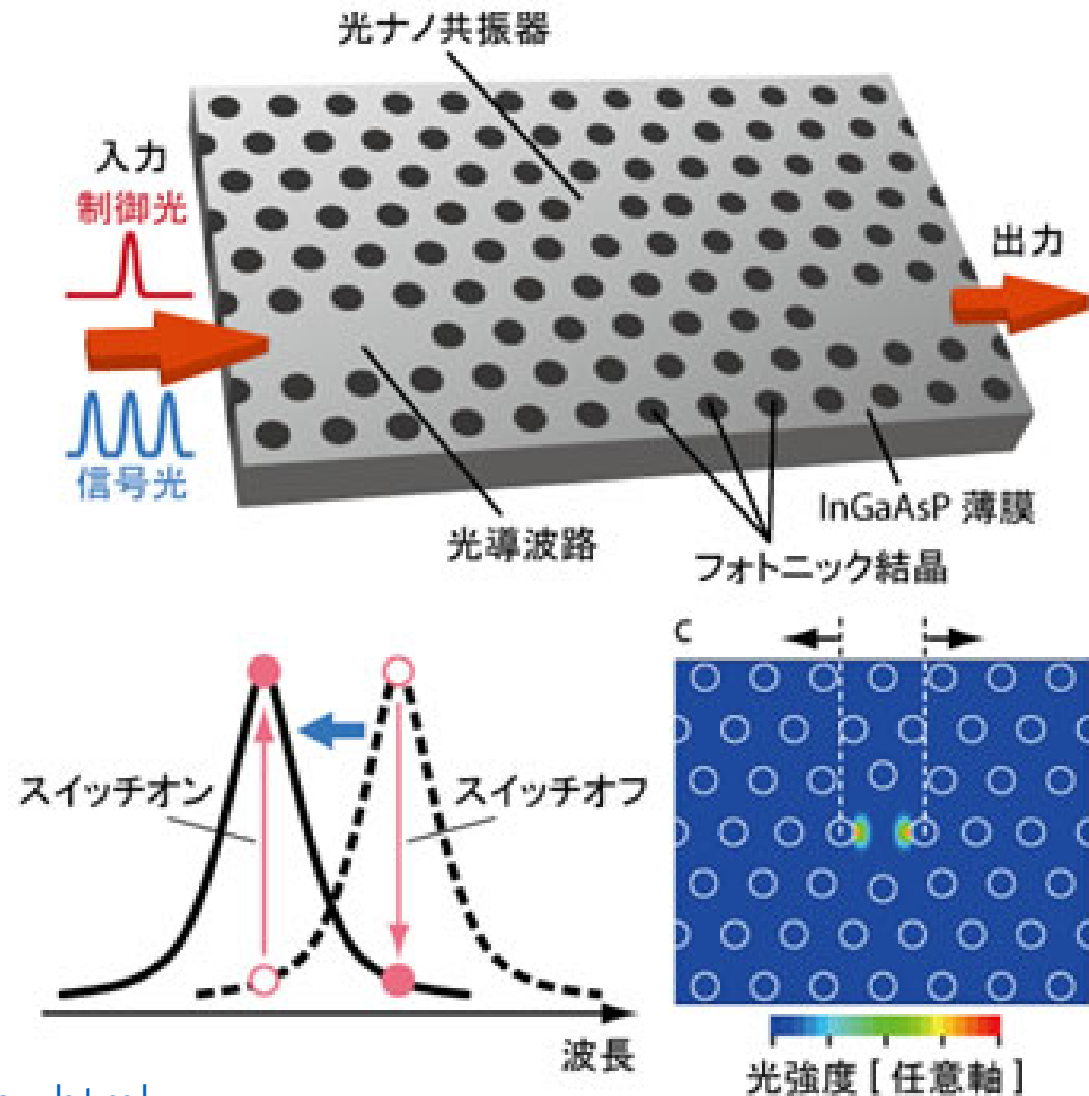
1 ppmは100万分の1 (10^{-6}) という意味です。
工場の敷地は1000 m²で、地表から1 mの深さまでの土壌の体積は 1×10^3 m³です。
よって鉛の体積は 1×10^{-3} m³ (1 L)といえます。
鉛の比重が11.4なので11.4 kgもの鉛が染み込んでいたと見積もれます。ものすごい量です。
これは、あるプリント基板工場跡地での話です。
皆さんも学生実験の際にハンダを跳ね散らかして環境を汚染しないよう気を付けて下さいね。

インテリジェント材料

- ①人工知能を材料のレベルで実現しようという観点
- ②材料の機能を最大限に利用するという観点
- ③知的な材料設計からの材料という観点
- ④ソフト機能をビルトインした材料という観点
- ⑤人間に歩みよる材料という観点
- ⑥全体的バランスをもつ材料という観点
- ⑦時間軸を有する材料という観点



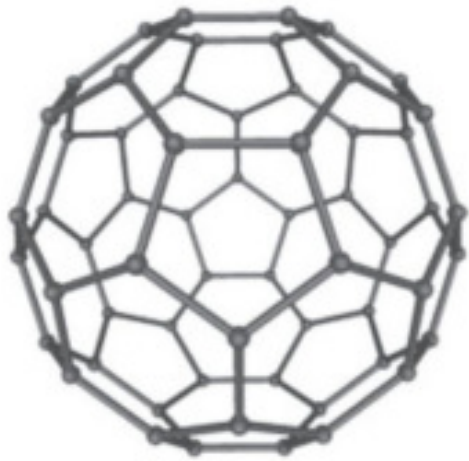
ナノ材料(フォトリソニック結晶)



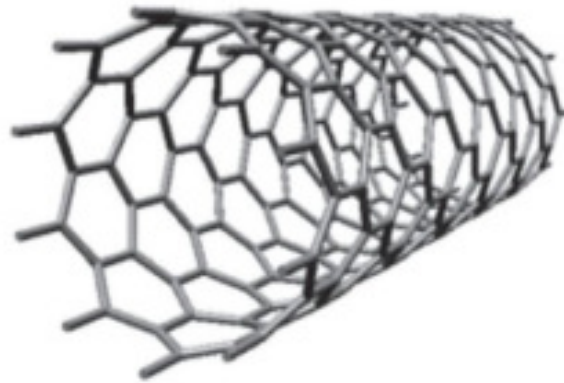
科学技術振興機構(JST)ホームページより

<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20100503-2/index.html>

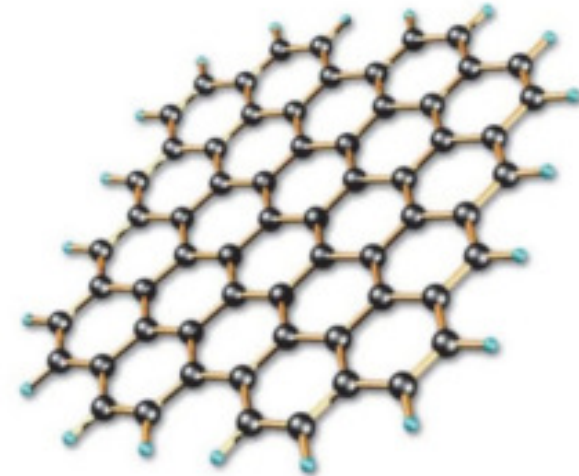
ナノ材料(カーボンナノチューブ他)



fullerene



nanotube



graphene



AMILA.SAMARABANDU, "The Greatness of Graphene," Surreal Science Stuff, AUGUST 14, 2015
<https://surrealsciencestuff.wordpress.com/2015/08/14/the-greatness-of-graphene/>

課題レポート (Homework)



以下のレポートを作成し、ILIASを使って提出してください。

字数は1000字程度。MSWordで作成すること。提出期限は4月30日13時JST.

ファイル名には必ず学籍番号の数字を含めて下さい「例： 20310085-HW01.docx」

課題：次のいずれかのテーマで作文を書いてください。編入学生は自分の卒研の紹介も兼ねて①を選んでください。

①高専の卒業論文を書く中で「このデバイスがあったお陰で、研究が成功した」と思ったデバイスを一つ取り上げ、そのデバイスについて説明して下さい。

②生活の中で「この便利な機能は、このデバイスのお陰だ」と思ったデバイスを一つ取り上げ、そのデバイスについて説明して下さい。

例：スマホに搭載されているジャイロセンサーは、Micro Electro Mechanical Systems(MEMS)技術によって作成され、振動子に角速度が加わった時に生じるコリオリ力を電極間の静電容量の変化として検知している。

Submit a brief report on your knowledge with regards to a novel electronic device. Dead line is noon of April 30 (JST). Only this time, you can write in your native language (including MY, VN). However, handwriting is not accepted, please write with using Microsoft Word and submit via ILIAS system. File name should contain your student number (ex. 20310085-HW01.docx). Attaching e-mail is not allowed.