

社団法人応用物理学会

リフレッシュ理科教室

(北陸・信越支部富山会場)

「真空と光が拓く未来の世界」

日程：平成 20 年 8 月 21 日(木)～8 月 22 日(金)

会場：富山大学工学部大会議室

社団法人応用物理学会

リフレッシュ理科教室

(北陸・信越支部富山会場)

「真空と光が拓く未来の世界」

日程：平成 20 年 8 月 21 日(木)～8 月 22 日(金)

会場：富山大学工学部大会議室

目次

- I. プログラム
- II. 「固体中の電子を波として見る」
東京工業大学 理工学研究部 宮本 恭幸 先生
- III. 「生体・半導体・電気・光の接点」
早稲田大学 各務記念材料研究所 小林 正和 先生
- IV. 「光が拓く未来…電磁波としての光」
富山大学 理工学研究部 岡田 裕之 先生
- V. リフレッシュ理科実験「真空の世界」
- VI. 「量子の世界」
富山大学 理工学研究部 前澤 宏一 先生
- VII. 「北陸電気工業のMEMSと3軸加速度センサー」
北陸電気工業(株) 開発技術センター 山本 肇 氏
- VIII. 「偏光板と液晶ディスプレイ」
(株)サンリツ 光機事業部 佐藤 智紀 氏
- IX. リフレッシュ理科実験 「光の世界」

平成 20 年度 (社) 応用物理学会 リフレッシュ理科教室 (北陸・信越支部富山会場)

「真空と光が拓く未来の世界」プログラム

日程：平成 20 年 8 月 21 日(木)～8 月 22 日(金)

会場：富山大学工学部大会議室

〒930 - 8555 富山市五福 3190 番地

<http://epic.eng.u-toyama.ac.jp/jsap/refresh08.htm>

第1部 8月21日(木)

9:30 受付開始

10:00 開会の辞

10:10-11:00 「固体中の電子を波として見る」

東京工業大学 理工学研究部 宮本 恭幸 先生

11:10-12:00 「生体・半導体・電気・光の接点」

早稲田大学 各務記念材料研究所 小林 正和 先生

12:00-13:00 (昼食)

13:00-13:50 「光が拓く未来…電磁波としての光」

富山大学 理工学研究部 岡田 裕之 先生

14:00-16:00 リフレッシュ理科実験「真空の世界」

- ① 真空の力
- ② 水が沸騰する!?
- ③ 音の伝わらない世界
- ④ 何もない世界
- ⑤ 真空装置の見学 (地域共同研究センター)

第2部 8月22日(金)

9:30 受付開始

10:00-10:50 「量子の世界」

富山大学 理工学研究部 前澤 宏一 先生

11:00-11:50 「北陸電気工業のMEMSと3軸加速度センサー」

北陸電気工業(株) 開発技術センター 山本 肇 氏

11:50-13:00 (昼食)

13:00-13:50 「偏光板と液晶ディスプレイ」

(株)サンリッツ 製品開発部 猪股 貴道 氏

14:00-16:00 リフレッシュ理科実験 「光の世界」

- ① 光の不思議 レーザ光が曲がる回折実験
- ② 光の不思議Ⅱ 虹が見える、縞が見える
- ③ 偏光の不思議 見えたり見えなかったり
- ④ 音波の世界 音の波を筒に閉じ込める
- ⑤ 光でコピーする 光による写真製版の技術
- ⑥ 電磁波に関する装置の見学 (地共研、富山市新産業支援センター)

「固体中の電子を波として見る」

東京工業大学 理工学研究部

宮本 恭幸 先生

固体中の電子を波としてみる

東京工業大学大学院
理工学研究科電子物理工学専攻

宮本恭幸



国立大学法人 東京工業大学

謝辞

本研究は、**K. Furuya, J. Appl. Phys. 62, 1492, 1987** における電子波回折素子の提案から始まり、東工大電子物理工学専攻 古屋一仁（主に理論を担当）・宮本恭幸（主に実験を担当）研究室で行ったものである。

本プロジェクトに貢献された現首都大学准教授である須原理彦氏、NEC基礎研本郷廣生博士を始めとする研究に従事した各氏に感謝いたします。東京大学の家教授には初期に低温磁場測定を手ほどきしていただきました。

また、

文部科学省による民間との共同研究「メソスコピックエレクトロニクス」
科学研究費補助金特定研究「量子位相エレクトロニクス」
JST-CREST「超ヘテロナノ構造によるバリスティック電子デバイスの創製」
他を通じて文部科学省および民間企業からご支援賜りました



国立大学法人 東京工業大学

概要

- 背景
- 素子の作製と寸法
- 作製した素子での評価
- 今後について
- 結論



国立大学法人 東京工業大学

概要

- 背景
 - 電子が波であること
 - 人工構造で波が見えるか
 - 固体(半導体)中で波に見えるか
- 素子の作製と寸法
- 作製した素子での評価
- 今後について
- 結論



国立大学法人 東京工業大学

光が波であること



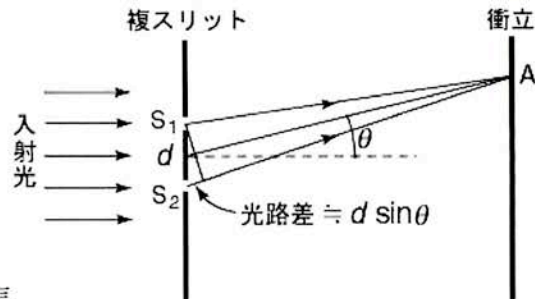
ヤングはダブルスリット干渉で光が波であること示した (1803)

<http://ibuki.ha.shotoku.ac.jp/school/science/>から

干渉縞出現のデモ

[原理] $d \sin \theta = n\lambda$ n は整数

d スリット間隔、 θ 角度、 λ 光の波長



この角度で、S1を通過した波とS2を過した波は、検立上で同じ位相
二つの波は加算され、光が強くなる
明るくなる角度はとびとび。
間の角度では暗くなる



(<http://www.kutl.kyushu-u.ac.jp/seminar/MicroWorld/>から引用)



国立大学法人 東京工業大学

電子が波であること

デビソンとジャーマーはニッケル単結晶に電子をあてて回折・干渉を発見 (1927)

同年に独立にトムソンが、1928年に菊地が同様な実験に成功

電子が波の性質をもつことが実証された

「電子の結晶による回折の実験的発見」でデビソンとトムソンにノーベル賞(1937)



The Nobel Prize in Physics 1937

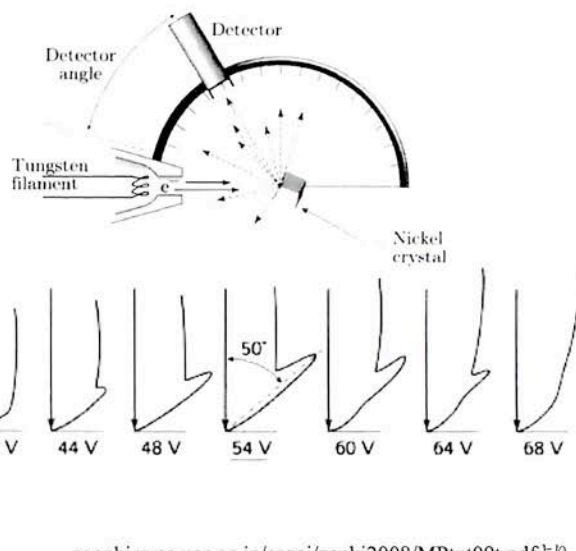
"for their experimental discovery of the diffraction of electrons by crystals"



Clinton Joseph Davison
 1/2 of the prize
 USA
 Bell Telephone Laboratories
 New York, NY, USA
 b. 1881
 d. 1958



George Paget Thomson
 1/2 of the prize
 United Kingdom
 London University
 London, United Kingdom
 b. 1892
 d. 1975



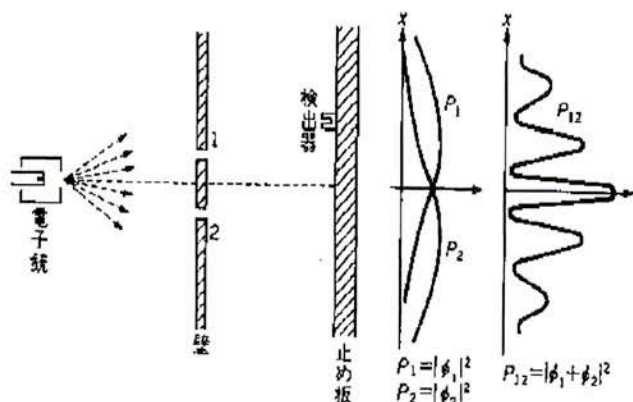
<http://nobelprize.org/physics laureates/1937/index.html>より

sapphire.pc.ucc.ac.jp/sozai/zenki2008/MPtx109t.pdfより



国立大学法人 東京工業大学

人工構造で波が見えるか



ファイマンは教科書「ファイマン物理学V 量子力学」(1965)でダブルスリット干渉で電子の波の姿が現れることを説明した後で

「ここで早速注意して置かなければならない^(c)のは、諸君はこの実験を実行しようと準備にかかっはいけないということである(これまで述べてきたふたつの(光についての)実験なら、諸君にもできるのだが)、この実験はこのままの形では、これまで実行されたことはない。その理由は、いま興味をもっている効果を検出しようとする、この装置は製作が不可能なほど小型に作られねばならないからである。我々は、ものごとを考えやすくするために“思考実験”をしているのである。」

(砂川訳 岩波書店 6-7頁より引用)

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

国立大学法人 東京工業大学

人工構造で波が見えるか

イエンソンは真空中でダブルスリット干渉実験に成功、ドイツ語で発表していた (1961)

Zeitschrift für Physik 161, 454-474 (1961)

Aus dem Institut für Angewandte Physik der Universität Tübingen

Elektroneninterferenzen an mehreren künstlich hergestellten Feinspalten

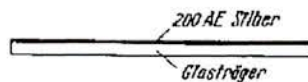
Von
CLAUS JÖNSSON

Mit 14 Figuren im Text

(Eingegangen am 17. Oktober 1960)

A glass plate covered with an evaporated silver film of about 200 Å thickness is irradiated by a line-shaped electron-probe in a vacuum of 10^{-4} Torr. A hydrocarbon polymerisation film of very low electrical conductivity is formed at places subjected to high electron current density. An electrolytically deposited copper film leaves these places free from copper. When the copper film is stripped a grating with slits free of any material is obtained. 50 μ long and 0.3 μ wide slits with a grating constant of 1 μ are obtained. The maximum number of slits is five. The electron diffraction pattern obtained using these slits in an arrangement analogous to Young's light optical interference experiment in the Fraunhofer plane and Fresnel region shows an effect corresponding to the well-known interference phenomena in light optics.

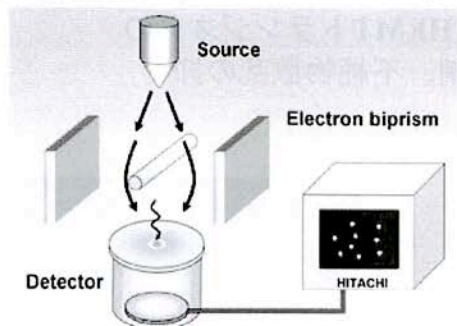
ダブルスリットは幅 0.3 μ m、中心間隔 1 μ m を作製



TOKYO TECH
Pursuing Excellence

国立大学法人 東京工業大学

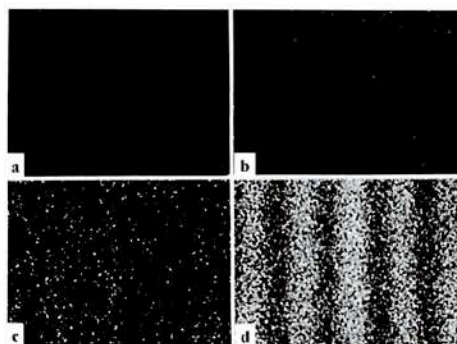
真空中のバイプリズム実験



外村らが完全に一つの電子が干渉を起こすことを真空中のバイプリズム干渉で実証(1989)

電流を小さくしていくと、電子銃からデテクタまでの空間にたった一つしか電子が存在しない状況になる

それでも干渉縞が現れることを見事に実証



<http://www.hqrd.hitachi.co.jp/em/doubleslit.cfm> より

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

国立大学法人 東京工業大学

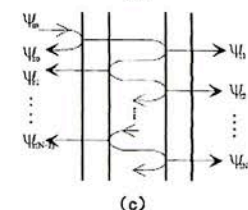
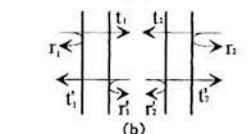
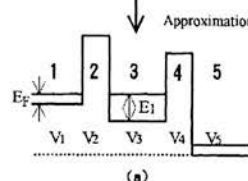
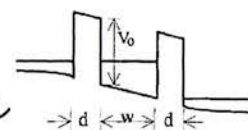
固体(半導体)中で波に見えるか

一次元なら非常に容易 → 共鳴トンネルダイオードで観測できる。

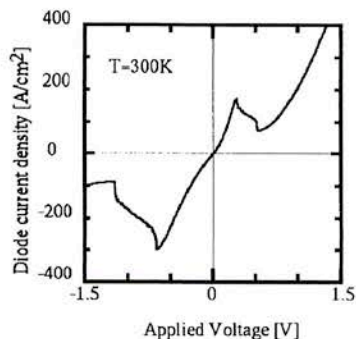
数nmの量子井戸に閉じ込められた電子が、

量子井戸厚と1/2波長の整数倍があったときだけ、強く成り、トンネルされて反対側に通過できる。

ニュートン・リングの様な現象



n-GaInAs contact layer 30 nm $N_d = 1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$
n-GaInAs collector 360 nm $N_d = 3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$
GaInAs spacer 5 nm
AlAs barrier
GaInAs well 8nm
AlAs barrier
GaInAs spacer 5 nm
n-GaInAs emitter 360 nm $N_d = 3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$
(100) n-InP substrate



TOKYO TECH
Pursuing Excellence

国立大学法人 東京工業大学

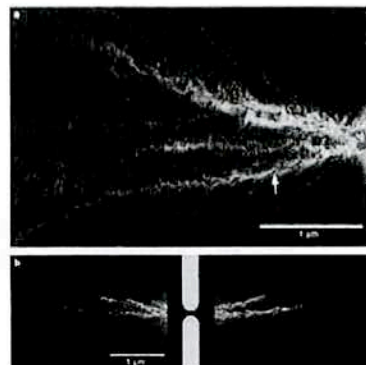
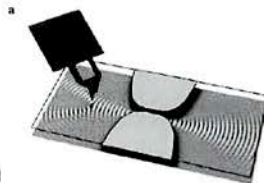
固体(半導体)中で波に見えるか

2次元電子ガス（衛星放送アンテナに使われるHEMTトランジスタの基本原理）によって、散乱の抑制（次元の抑制、不純物散乱の抑制）により横方向の波動も観測される。

NATURE | VOL 410 | 8 MARCH 2001 |

Coherent branched flow in a two-dimensional electron gas

M. A. Topinka¹, B. J. LeRoy¹, R. M. Westervelt^{1,2}, S. E. J. Shaw¹, R. Fleischmann¹, E. J. Heller^{1,3}, K. D. Maranowski¹ & A. C. Gossan¹



2meV程度の低エネルギー電子が一つのスリットを通過後、非人為的に置かれた散乱体で散乱され干渉する様子がとらえられた。

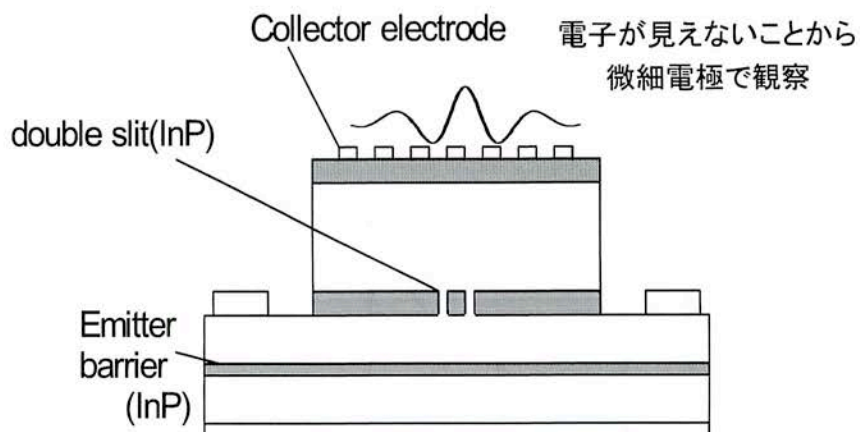
（ただし、遅い電子なので、素子応用は難しい）

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

国立大学法人 東京工業大学

固体中でのダブルスリット干渉観測の提案

非常に小さいスリットを作り、そこに散乱しにくい高いエネルギーを持つ電子（ホットエレクトロン）を入射すれば半導体中での干渉回折現象の観測を行うデバイスが可能



TOKYO TECH
Pursuing Excellence

国立大学法人 東京工業大学

概要

- 背景
- 素子の作製と寸法
 - コヒーレンス条件
 - 位相コヒーレンス時間
 - 微細ダブルスリット
 - 微細電極
 - 電子エネルギーの純度
- 作製した素子での評価
- 今後について
- 結論



国立大学法人 東京工業大学

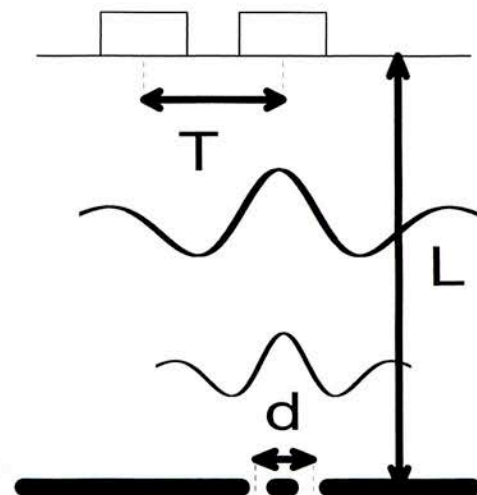
干渉を観測するには

山と谷を別の電極で捕まえる
山と山の間隔/2 > 電極周期

$$\frac{L\lambda}{2d} > T$$

• $E_{\text{hot}} = 0.1\text{eV}$, $\lambda = 20\text{nm}$

$\frac{\text{電極周期 } T \times \text{スリット間隔 } d}{\text{伝搬層厚 } L} < 10\text{nm}$



国立大学法人 東京工業大学

位相コヒーレンス長の観測

伝搬層厚 $L <$ 位相コヒーレンス長

3重障壁共鳴

トンネルダイオードで

位相コヒーレンス長を測定

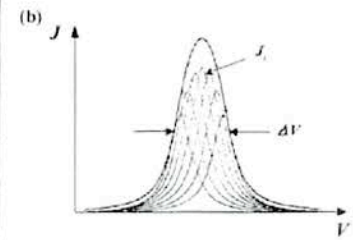
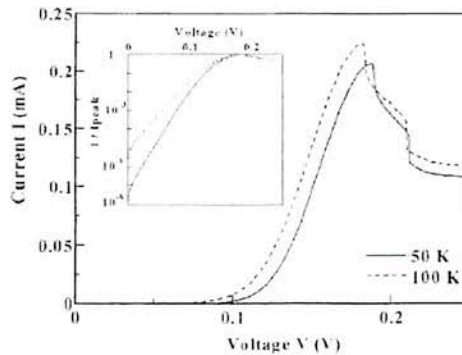
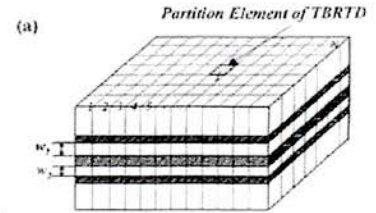
電圧-電流特性

片対数表示にして、

詳細に理論特性と比較

ただし、原子層オーダーの
界面のばらつきも考慮する

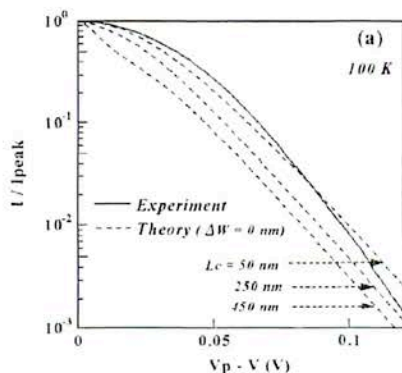
n ⁺ -GaInAs contact	100 nm ($N_D = 2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)
n-GaInAs emitter	260 nm ($N_D = 3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)
i-GaInAs spacer	15 nm ($N_D = 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)
i-InP barrier	6.0 nm
i-GaInAs well	9.5 nm
i-InP barrier	9.0 nm
i-GaInAs well	5.0 nm
i-InP barrier	6.0 nm
i-GaInAs spacer	15 nm ($N_D = 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)
n-GaInAs collector	260 nm ($N_D = 3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)
n ⁺ -GaInAs contact	100 nm ($N_D = 2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)
n-InP substrate	



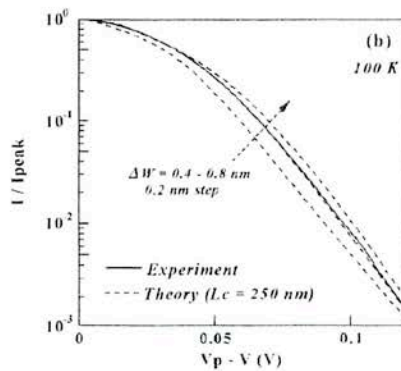
国立大学法人 東京工業大学

TOKYO TECH Pursuing Excellence

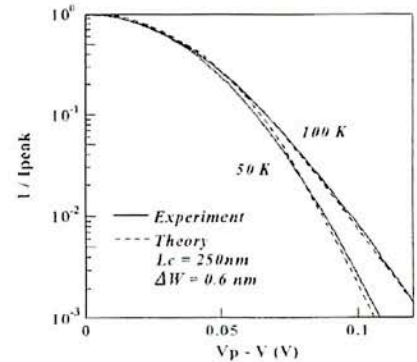
位相コヒーレンス長の観測



原子層オーダーのばらつきを
考慮しない場合



コヒーレンス長を250nmとして
原子層オーダーのばらつきを
考慮した場合



コヒーレンス長250nm
ばらつき0.6nm
とした場合の
理論と実験の比較

TOKYO TECH Pursuing Excellence

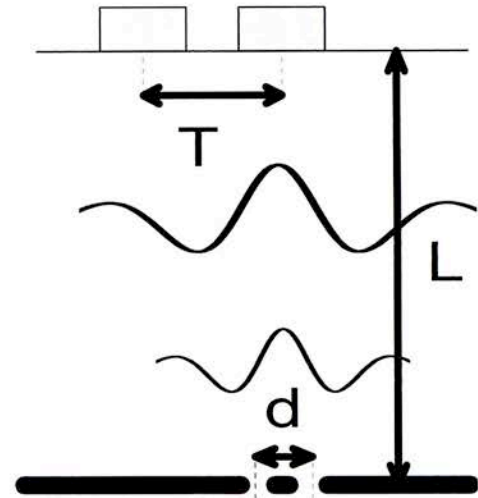
国立大学法人 東京工業大学

干渉を観測するには

山と谷を別の電極で捕まえる
山と山の間隔/2 > 電極周期

$$\frac{L\lambda}{2d} > T$$

- $E_{\text{hot}} = 0.1\text{eV}$, $\lambda = 20\text{nm}$
- 伝搬層厚 $L \sim 200\text{nm}$



電極周期 $T \times$ スリット間隔 $d < 2000\text{nm}^2$

微細な構造を作製するには？ 半導体極微細形成法の極限を使う



国立大学法人 東京工業大学

電子線リソグラフィ

基板(半導体やガラス乾板:数百 μm ~数 mm 厚)上にレジスト(数十 nm ~数 μm)を塗布

絞り込んだ加速電子ビーム(25-150 keV)で走査

電子ビームの直径 数 nm ~数百 nm

→ 任意形状を描くには、最も微細な構造を描画できる方法

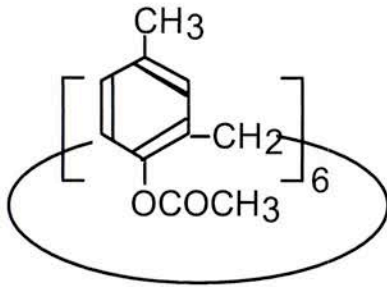
電子ビーム走査部のみ化学反応して、現像液への性質を

不溶解→溶解(ポジレジスト)または溶解→不溶解(ネガレジスト)に変える。



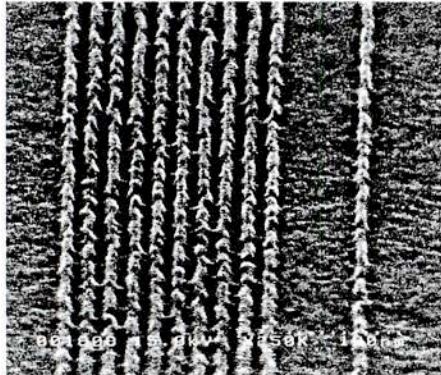
国立大学法人 東京工業大学

高解像度レジスト



現在の電子線露光法
解像度はレジストによって決まる。
(現像・レジスト密着性・レジスト膨潤も含む)

高解像度ネガレジスト カリックスアレーン
(J.Fujita et al, NEC JVST '96)



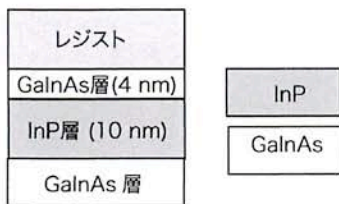
25 nm周期構造
レジスト厚 17 nm

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

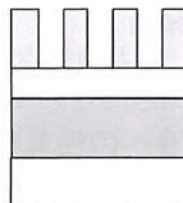
国立大学法人 東京工業大学

薄いレジスト層を半導体へ転写

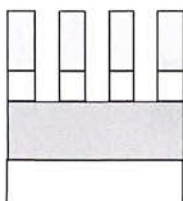
a) 結晶成長とレジスト塗布



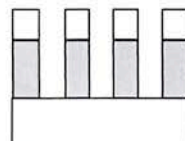
b) 電子線露光と現像



c) GalnAs 層エッチング
(クエン酸：過酸化水素：水溶液による)



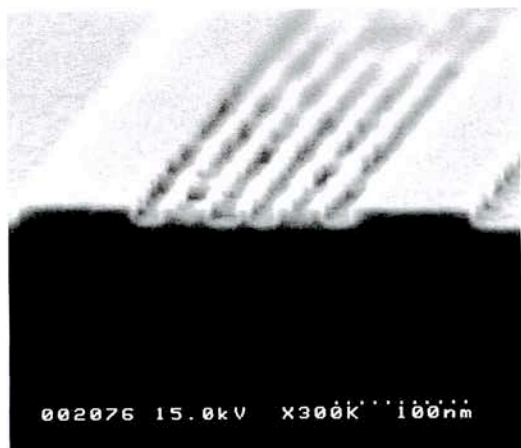
d) 酸素アッシングによるレジスト除去と
塩酸：酢酸溶液による InP 層エッチング



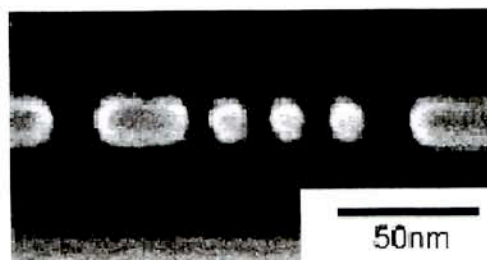
TOKYO TECH
Pursuing Excellence

国立大学法人 東京工業大学

再成長によるスリット構造形成



25 nm 周期 InP パターン



GaInAsによる埋め込み成長後の断面

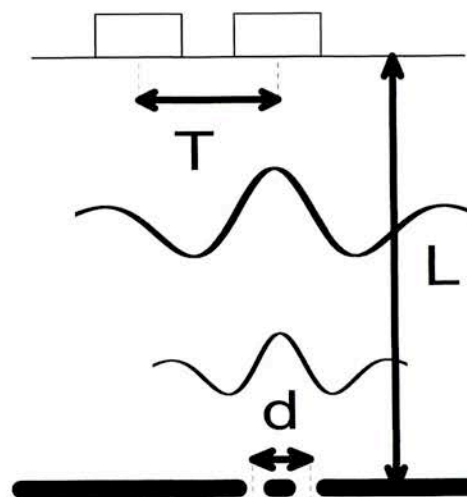
干渉を観測するには

山と谷を別の電極で捕まえる
山と山の間隔/2 > 電極周期

$$\frac{L\lambda}{2d} > T$$

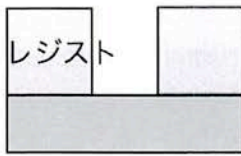
- ・ $E_{\text{hot}} = 0.1\text{eV}$, $\lambda = 20\text{nm}$
- ・ 伝搬層厚 $L \sim 200\text{ nm}$
- ・ スリット間隔 $d \sim 25\text{ nm}$

電極周期 $T < 80\text{ nm}$

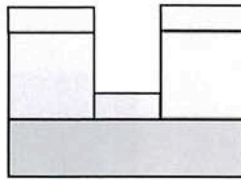


電極の形成 -リフトオフ-

a) レジスト露光
・現像



b) 薄膜堆積



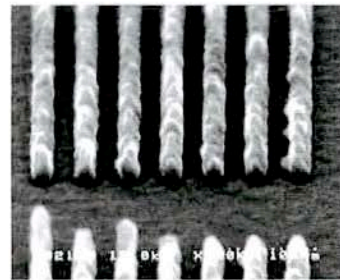
c) リフトオフ



研究レベルでは金属パターンの主流
金属の厚さの二倍程度のレジスト厚が必要



50nm周期
レジストパターン
縦横比 > 2

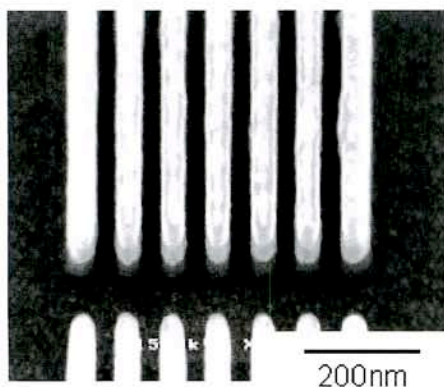


50nm周期
金属パターン
Au 18 nm
/ Ti 8nm

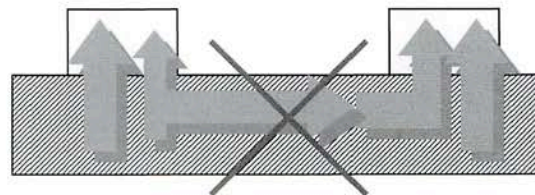
TOKYO TECH
Pursuing Excellence

国立大学法人 東京工業大学

電極厚さの必要性



オーミックコンタクトを取る
半導体最上層 ドープ層
コレクタ電極



電極下以外は削除が必要
CH₄/H₂ドライエッチングで
電極をマスクにして除去

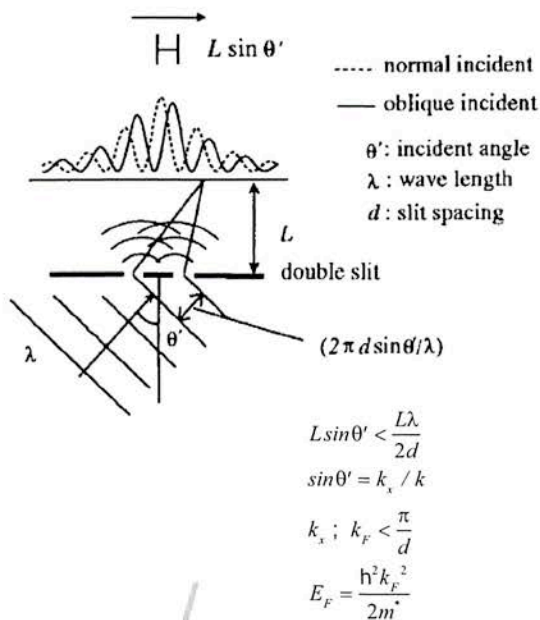
薄いと断線する！

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

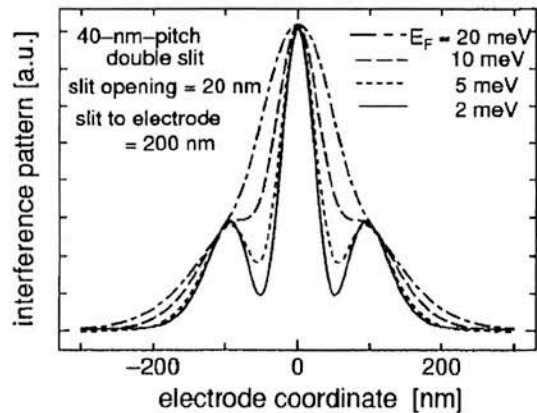
国立大学法人 東京工業大学

横方向のエネルギー

電子が横方向のエネルギーを持つと
干渉像がシフトする



電子はフェルミオンなので、半導体中
では、全ての電子はそれぞれxyz方
向に異なるエネルギーを持つ



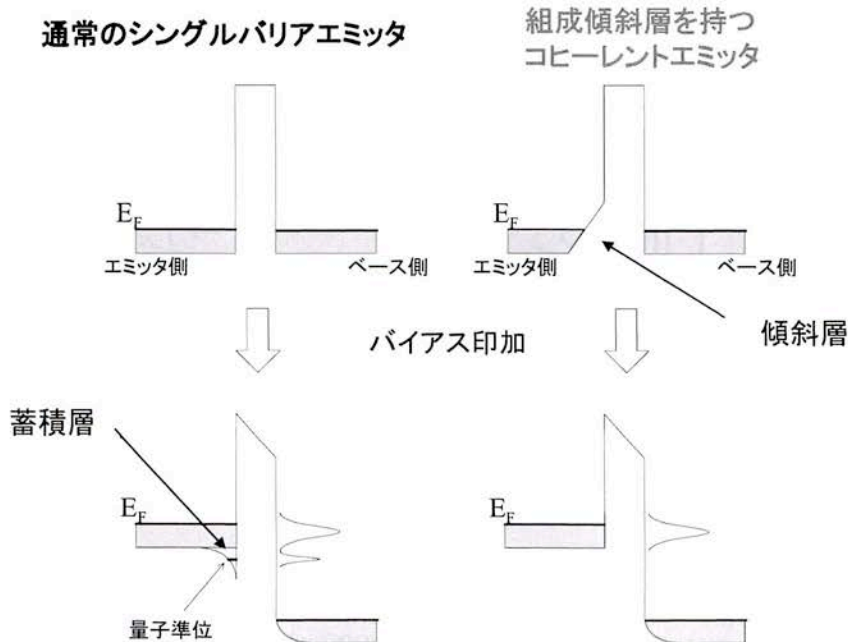
現在の構造では、電子の横方向エネ
ルギーを数meVに抑える必要がある。



国立大学法人 東京工業大学

横方向のコヒーレンスを持たせる構造

目標: $E_F = 6\text{meV}$



国立大学法人 東京工業大学

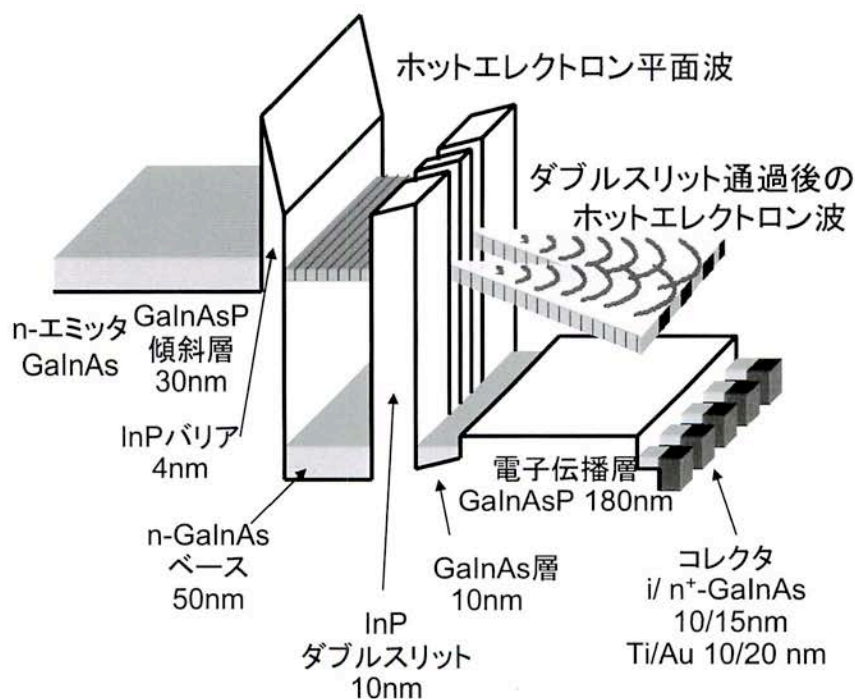
概要

- 背景
- 素子の作製と寸法
- 作製した素子での評価
 - 電子顕微鏡像
 - 磁場下での特性
 - 電圧-電流特性
 - 結果の考察
- 今後について
- 結論



国立大学法人 東京工業大学

作製した素子の構造



- スリット周期25nm
- 電極周期80nm
(0.1eV: 波長:20nm
伝播距離 $200 \text{ nm} < L_{\phi}$
→干渉パターン半周期
とスリット間隔の積
 $< 2000 \text{ nm}^2 = L\lambda/2$)
- 高コレクタ電極間抵抗→
バンド不連続による
キャリアの分離
(電子伝播層に無キャリア)

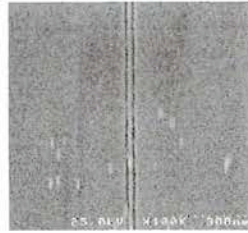


国立大学法人 東京工業大学

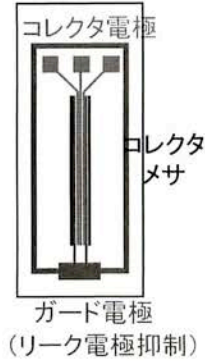
電子顕微鏡像

ダブルスリット

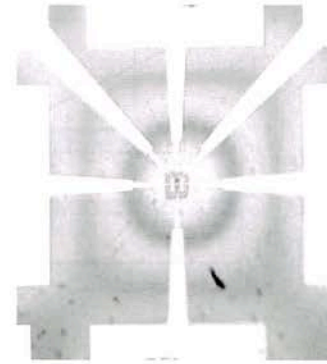
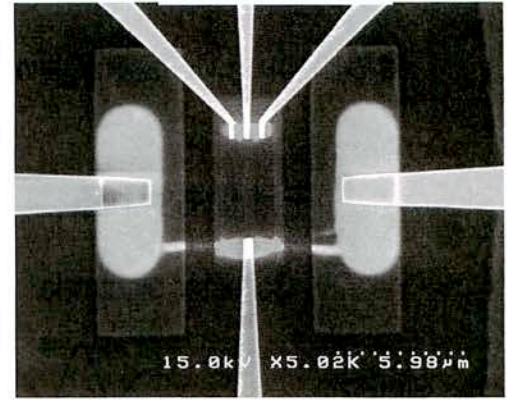
スリット幅12nm(0.012 μ m)
中心間隔25nm(0.025 μ m)



80nm周期微細電極(7電極) 電極幅40nm



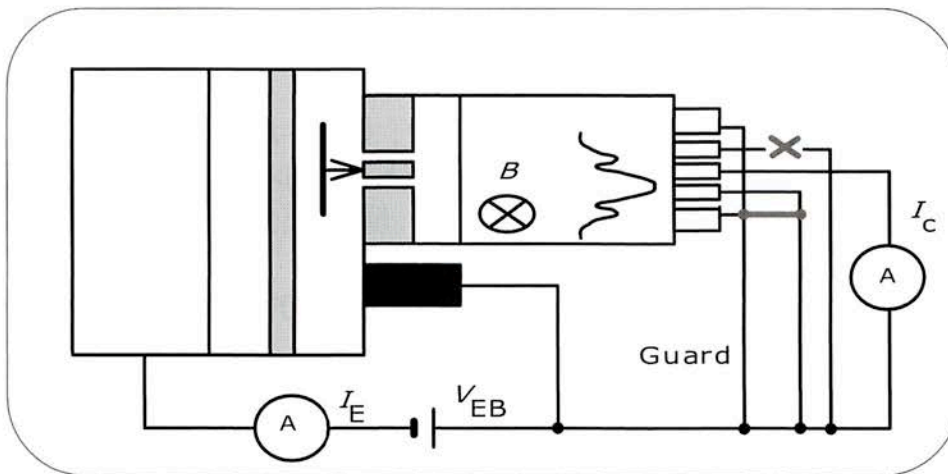
引き回し配線



TOKYO TECH
Pursuing Excellence

国立大学法人 東京工業大学

作製された素子



2回のMOVPE成長 / 11回EBX / 3回のフォトリソで二十数個の素子を作製
電圧電流測定(電流値およびリーク特性)で選別/測定途中でも素子が壊れる!

ある程度の測定が行えた素子

ひとつのコレクタのみ動作(他電極とのアイソレーションもok!)

/ひとつのコレクタは断線/最後のひとつがガードと接触 → 磁場印加で観測

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

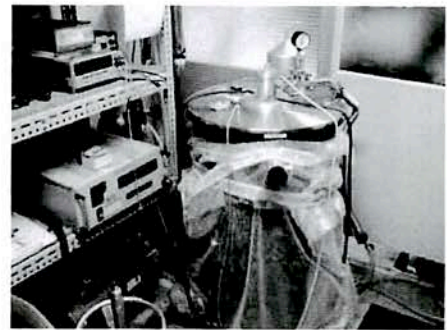
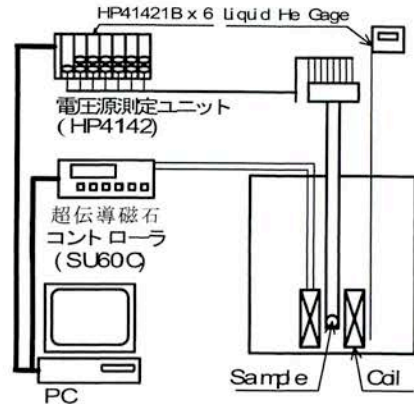
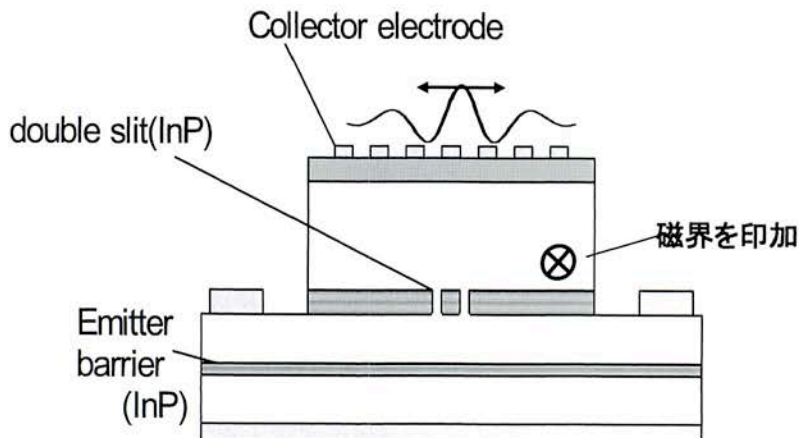
国立大学法人 東京工業大学

超低温/磁場下での測定

磁場印加により、観測が曲がる



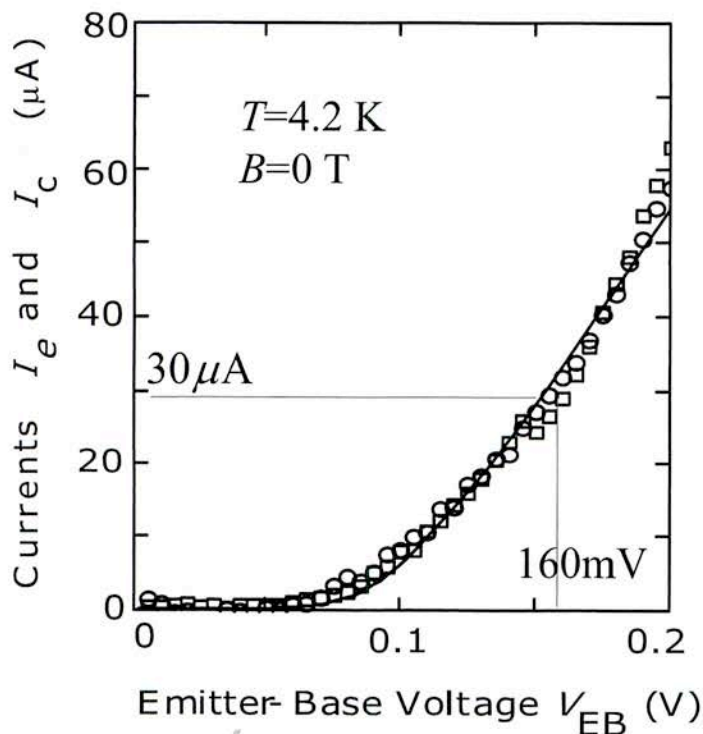
干渉像もずれる



国立大学法人 東京工業大学

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

電圧-電流特性



○: トンネル電流
(トンネル電流はエミッタ電流から
線形成分を削除して推測)

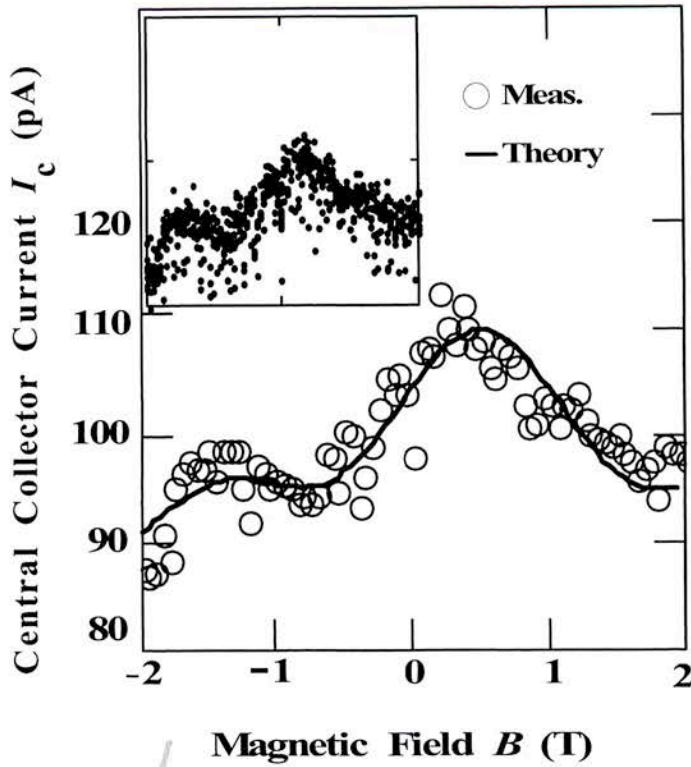
□: 3×10^5 倍されたコレクタ電流

実線: 理論特性

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

国立大学法人 東京工業大学

ダブルスリット干渉測定結果



液体ヘリウム中で測定

$V_{EB} = 160\text{mV}$

各磁場点でコレクタ電流を7回測定

その中心値を表示

エミッタ電流変動は0.75%.

磁場に対するバレーを観測!

変調電流振幅 約 20pA

理論特性

120nmの実効電極幅で

量子ビーム伝搬法で計算

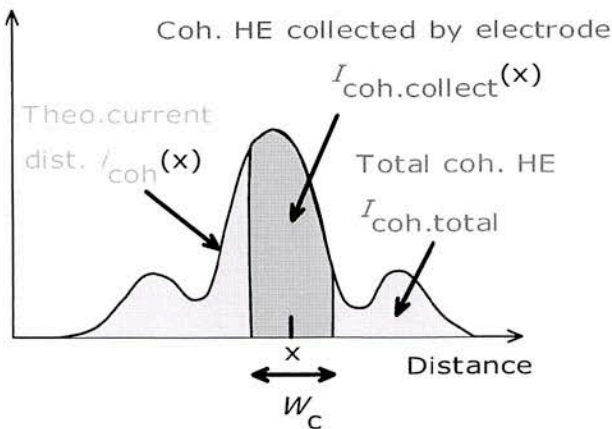
周期が一致!

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

国立大学法人 東京工業大学

電流値についての考察 1

Current density



変調電流振幅 約20pA

干渉パターンを考慮

コヒーレント成分 約40pA?

エミッタ電流 30 μ A

スリット/エミッタ幅 5000倍

→スリットを通過する電流 6nA

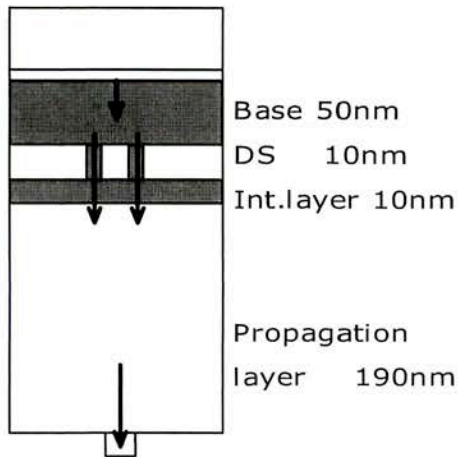
コヒーレントな割合

40pA/6nA= 約0.7%

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

国立大学法人 東京工業大学

電流値についての考察 2



コヒーレンスを失う要因

ベース中での電子電子散乱確率 0.93
($n=5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)

走行層中でのLOフォノン散乱 0.77

コヒーレンスな割合 1.6%

($= (1-0.93)(1-0.77)$)
オーダーとしては一致

電流値および磁界変調振幅について検討した結果、理論値と3倍以内で一致
観測した電流の磁界変調は、その周期、振幅ともに理論と矛盾しない
ダブルスリットによる干渉縞である可能性が高い



国立大学法人 東京工業大学

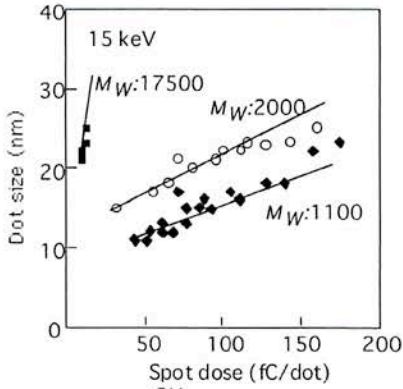
概要

- 背景
- 素子の作製と寸法
- 作製した素子での評価
- 今後について
 - より小さなダブルスリットは？
 - ベース層中散乱の抑制
 - 応用
- 結論



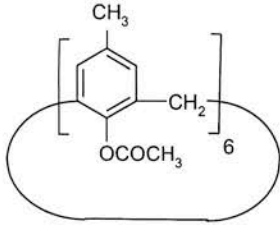
国立大学法人 東京工業大学

もっと小さいスリット間隔には？



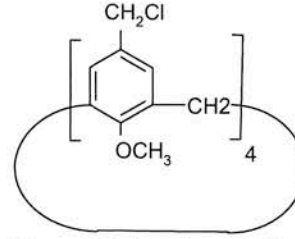
ポリスチレンの分子量での依存性
(NECの真子らによる)

分子量が低い
→必要ドーズ量は高くなる
しかしドットサイズは小さくなる



p-methylacetoxycalix[6]arene (MC[6]AOAc)
Mw: 972

より低分子料の
カリクスアレーン



p-chloromethyl-methoxy-calix[4]arene
(CMC[4]AOMe)

Mw: 610

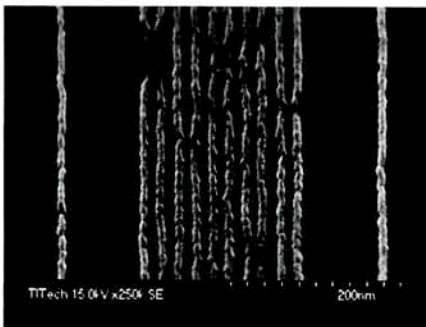
M. Ishida, et al., Jpn. J. Appl. Phys. **42**,3913 (2003)



国立大学法人 東京工業大学

カリクスアレーンでの10nmL&S パターン

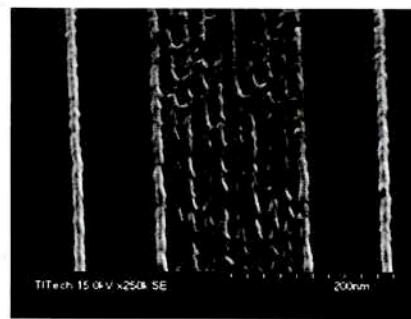
CMC[4]AOMe



Dose: 4.7nC/cm

Thickness : 12nm

MC[6]AOAc



Dose: 18nC/cm

Thickness : 17nm

シリコン基板上でのデータ

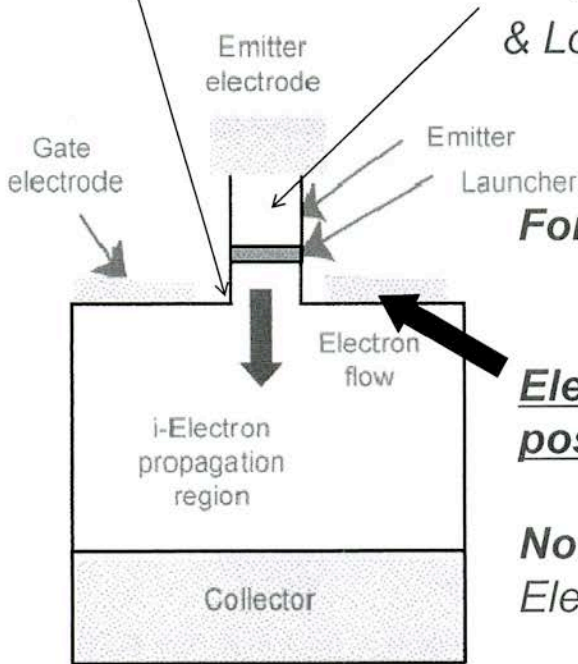


国立大学法人 東京工業大学

ベース層散乱の抑制

Small separation for efficient extraction

Narrow emitter for Uniform extraction & Low output conductance

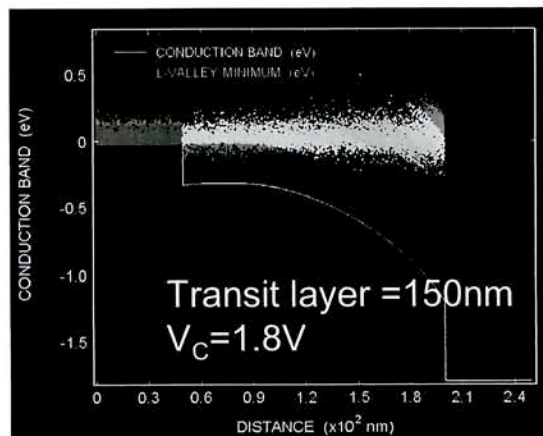
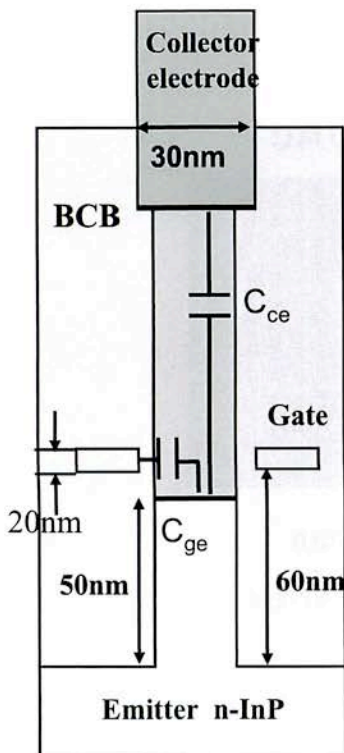


For hetero-electron launcher
→ Vertical transistors

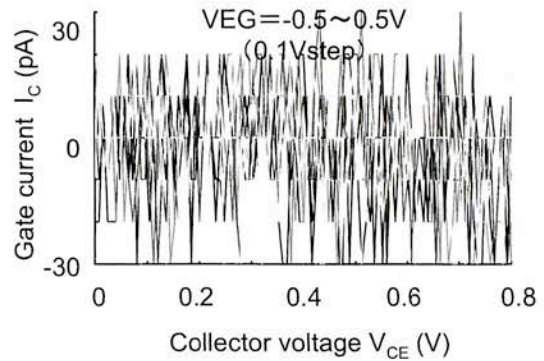
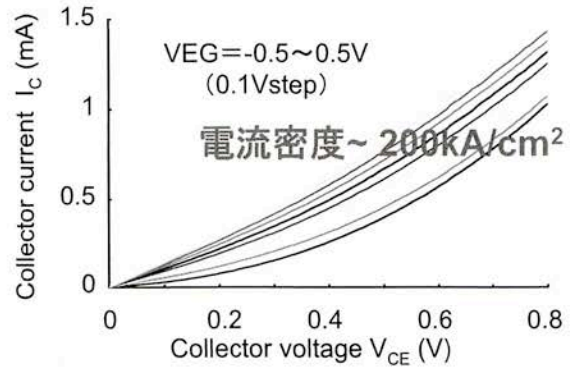
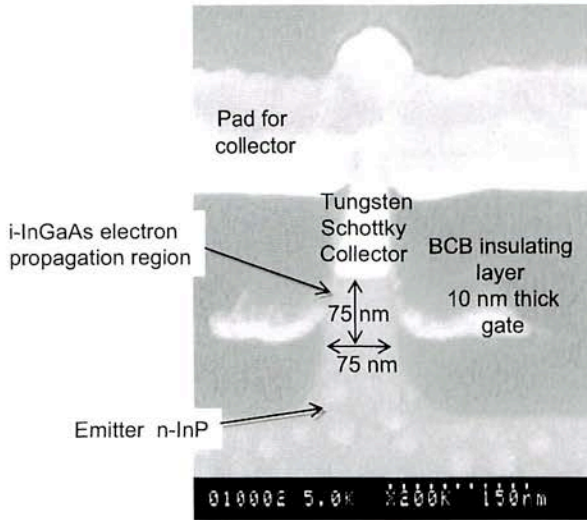
Electron extracted by positively biased gate

No doped base layer
Electron transits in undoped layer
Ballistic transportation

無散乱測定の確認の為のモンテカルロ計算



断面構造と電圧電流特性

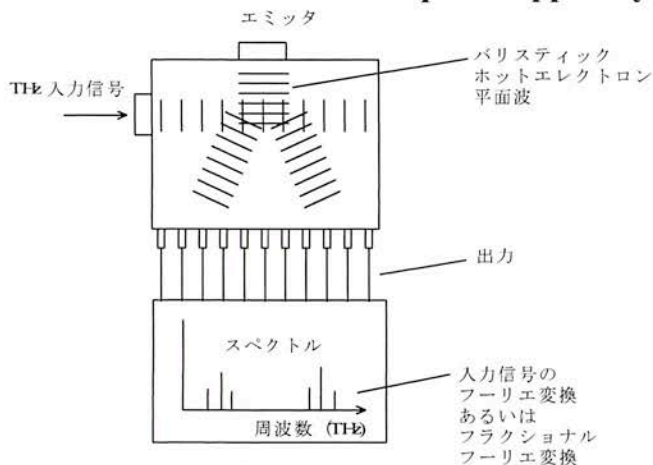


国立大学法人 東京工業大学

応用

固体中の人工構造による電子のダブルスリット干渉は
エンジニアにどんな刺激を与えるか？

電子の波動性を活かした新概念のデバイスの創造に結びつけたい
(K. Furuya, J. Appl. Phys. 62, 1492, 1987, J. Crystal Growth, 98, 234, 1989,
Jpn. J. Appl. Phys., 30, 82, 1991)



高速フーリエ変換へ

フーリエ変換 は現在でも
音声圧縮、画像圧縮 (mp3、jpeg、mpeg)
OFDM (直交周波数分割多重方式/
無線LAN, 次世代携帯電話などに利用)
に重要。



国立大学法人 東京工業大学

概要

- 背景
- 素子の作製と寸法
- 作製した素子での評価
- 今後について
- 結論



国立大学法人 東京工業大学

結論

固体中の人工構造による電子のダブルスリット干渉の観察

位相コヒーレンス長 250 nm
電子ビーム露光による25nmスリット
観測の為の微細周期(80nm)電極
横方向コヒーレンスを考慮したエミッタ

を組み合わせた素子を作製

ヘリウム中で磁場印加し、電流-磁場特性を測定

観測した電流の変化は、周期・振幅とも理論と矛盾しない

今後に向けて

ドーピング層除去したホットエレクトロントランジスタ



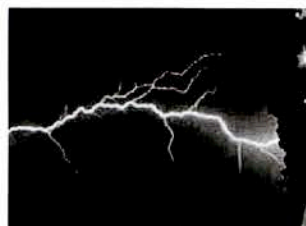
国立大学法人 東京工業大学

「生体・半導体・電気・光の接点」

早稲田大学 各務記念材料研究所

小林 正和 先生

電気工学



雷から電気を集めた (1752年、フランクリン)

生体・半導体・電気・光の接点

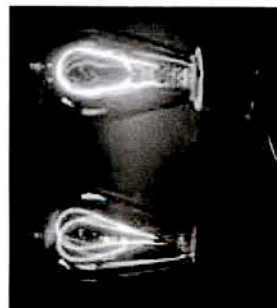
早稲田大学

各務記念材料技術研究所

先進理工学部電気・情報生命工学科

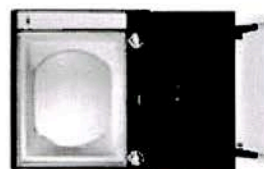
小林 正和

電気工学



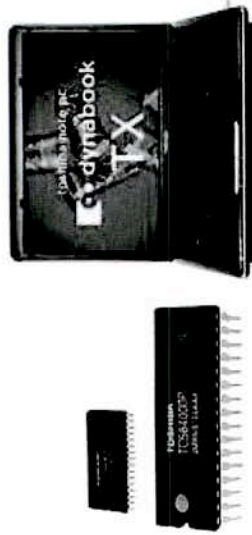
白熱電球の実用化 (1880年ごろ、電気の利用)

電気工学から電子工学へ



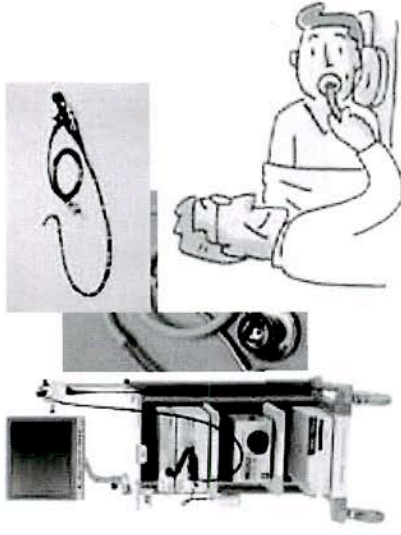
真空管の開発やテレビの開発 (1900年ごろ)

電気工学から電子工学
さらに情報工学の台頭



電子部品が集積化され、情報処理が行えるようになった

生命工学や医療工学の台頭と電気・情報工学との融合



研究室で実施されているテーマ例



- ・半導体による紫外線センサの開発
- ・半導体による高性能光素子の開発
- ・肺ガンの早期発見
- ・ナノ粒子による蛍光体の開発



生

半導

肺がんの有無・発光デバイスの特性

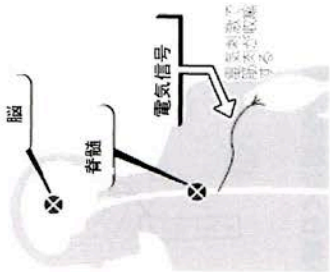
いずれも同じ電子材料
同じ技術を用いて研究する
ことができます



高校時代の「理科」に
根付いてます

人間の体も電子材料

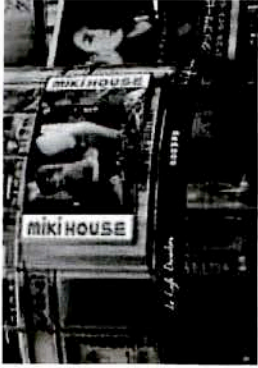
筋肉の収縮は脳からの信号によって行なわれる。



電気信号が筋肉の運動に大きく関与している。

人間の体に関しても「電気(電子)」が機能に大きく関与している。

光も電気・情報生命工学の一翼を担っています



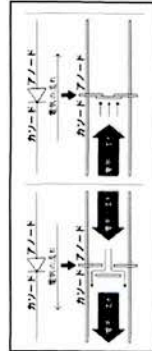
発光ダイオードディスプレイ



プラズマテレビ

半導体とは？

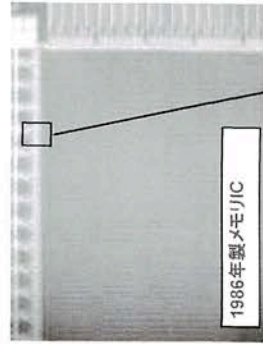
ダイオード・トランジスタ・IC・LSI・CPU



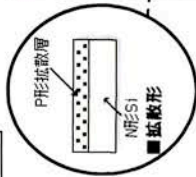
教科書にはダイオードが載っている

真空管
1つ5cm?

半導体
現在は
1ミクロン以下



1986年製メモリIC



1つのダイオードの大きさは20ミクロン

何色かわかりますか？



従来の信号機の問題点の1つ



電球

自身が光るので光らないときは黒色
見間違えが減少

色ガラスを光らせている
光っていないときも
色ガラスの色は見える

発光ダイオード
(電気を流すと光る)

**発光ダイオードは
いたるところに普及しはじめた**

使用電力を白熱電球の十分の一未満に、寿命を何百倍にできる

様々な箇所に使われ始めている

**半導体を使った新型素子の例
紫外線センサー開発の重要性(環境問題)**

UV-C < 280nm
UV-B < 320nm
UV-A < 400nm

オゾン層 50km
電離層 110km
対流圏
成層圏
中間圏
熱圏

ガン予防のためには
携帯電話に付くくらいのサイズのセンサ
があると良い?

当然のことながら現在は世の中に存在
しない... 開発しよう、...

**私たちの研究室で使われている
半導体製造装置**

原子を積層を一層ずつ制御することで、新機能性素材用結晶の開発に威力を発揮します。

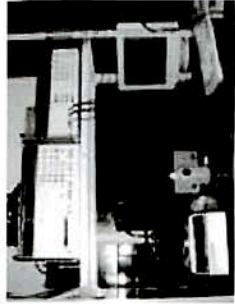
この装置では半導体結晶を製作するだけ

作製された結晶は評価に回されます

結晶の評価装置等



作製された結晶は、様々な方法により特性を評価します。



だまに期待した以上の好特性が出ることもあります

作ったら必ず評価しなくてはならない

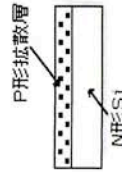
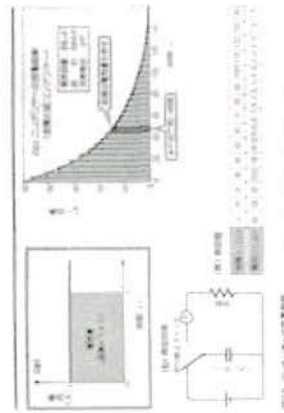
模試を受けた後に自己採点・反省するのと同じ

- ・電気的特性
- ・構造学的特性
- ・光学的特性

(高校の教科書にすべて記述されている)

電気的特性評価

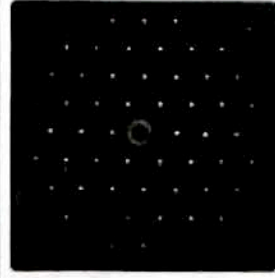
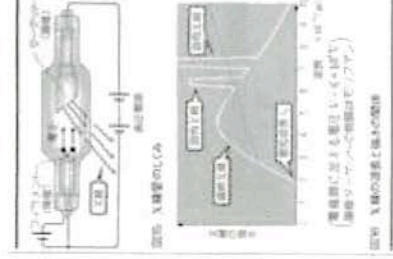
電気を流すことによって作製した結晶の不純物量
などがわかる



コンデンサの知識が
必要です

高校物理教科書より

構造学的評価



多方位からのX線の照射による
X線回折図

図17 X線の回折

高校物理教科書より

X線が物質中に入射すると、物質中電子によって散乱されます。結晶中のように規則性をもって配置している場合にはそれぞれの原子からの散乱X線が干渉して配置の規則性を反映した特定の方向に強くX線が散乱されます。

高校物理教科書より

波の重ね合わせの知識が必要です

具体的には結晶中の原子の配置によって決まる結晶格子面の間隔をd、X線の波長をλ、格子面への入射角度をθとすると

$$2d \cdot \sin\theta = n\lambda$$

という関係が成り立つ場合にX線回折がおきます。

鉱物のような無機物から生体を構成するタンパク質のような有機分子にまでこの方法は適用できます。

高校物理教科書より

光学的特性の測定

1666年にニュートンがプリズムによって太陽の光を分光して色と光の関係を解き明かしました

異なる物質からは異なるパターンが得られます

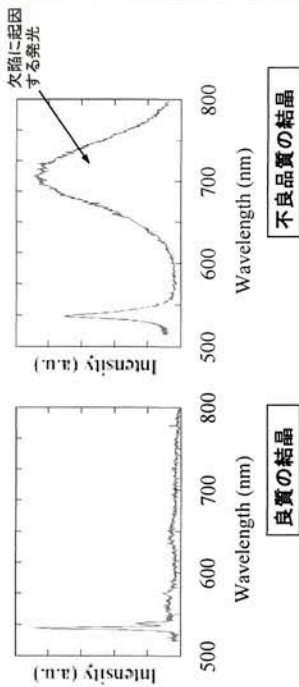
高校物理教科書より

試料の光学的特性評価

試料に光を照射し、試料から出てくる(蛍光する)光を分光します

ピークの位置・鋭さ・強さから作製した半導体結晶の品質が判断可能です。

半導体結晶の光学的特性評価(続き)



肺ガンに侵された気管支



喫煙指数200以上でハイリスクになります



肺ガンの早期発見

白色内視鏡



気管支の分岐部に腫瘍が形成されることが多い

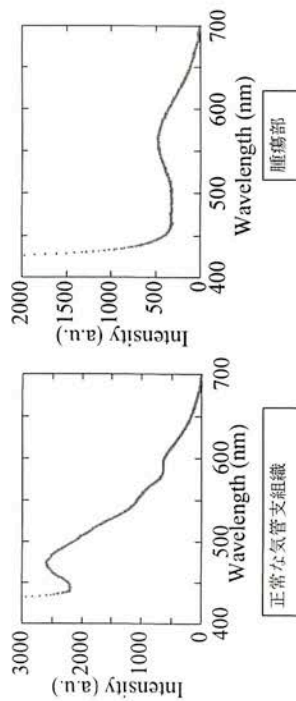
蛍光内視鏡 (紫外線を照射)



白色内視鏡で判断できないような早期異常も且つ蛍光の減弱として観察可能

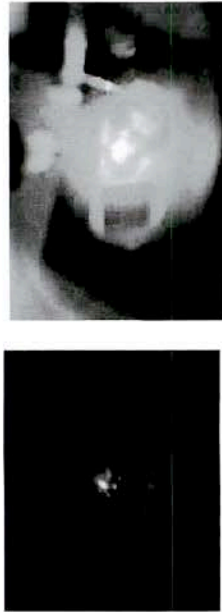
蛍光の異常部(気付かない程度の変化です)

気管支の光学的特性



半導体の評価方法と同じ手法でガンが診断できます

高性能発光素子

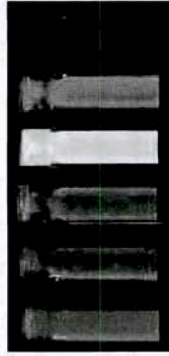


電気を流すと光る半導体材料を利用すると発光ダイオード等が作製できます。

ナノメートルサイズの結晶(ナノ微粒子)を組み込むことにより発光色の制御が可能

Conventional Core/Shell Nanoparticles

CdSe (core) /ZnS (shell) structures were widely explored by many groups

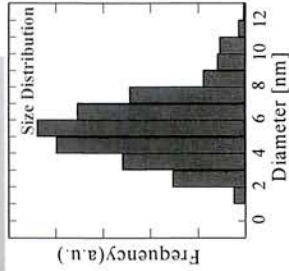
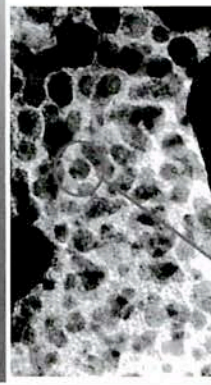


ex)

Various Fluorescence Colors by Tuning the Particle Size

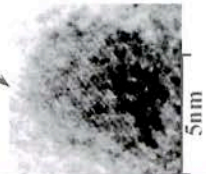
Complicated synthesis procedures with various harmful materials

TEM observation of the ball milled CdSe nanoparticle

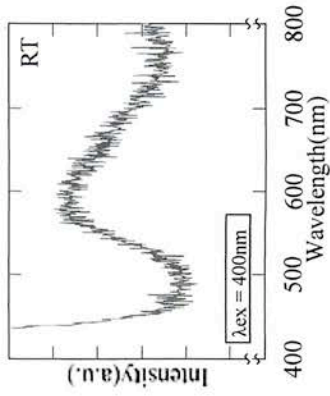
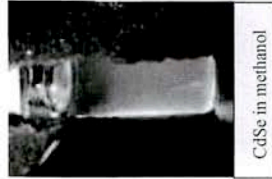


Massive amount of CdSe nanoparticles with uniform size distribution could be fabricated

Most of particles exhibited fine crystal quality



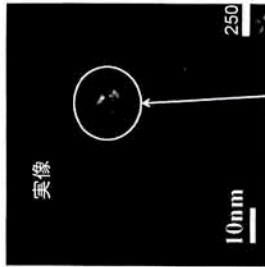
Fluorescence from CdSe nanoparticles



The peak was at around 600nm

Quantum effects observed from the milled nanoparticles

TEM-EDXによるコアシェル構造の評価



ビーム照射によって穴が開いた

粒径が小さすぎると、面分析による電子線の過剰照射により粒子が蒸散してしまい、元素分析ができなかった

TEM-EDX of CdSe/ZnO nanoparticles

An image of CdSe/ZnO nanoparticle (about 250 nm for this particular measurement)

The size of the image: 250nm
 The size of Zn signals → 250nm
 The size of Cd signals → 200nm

Red: Zn Blue: Cd

The shell layer of ZnO was confirmed

研究背景

EL素子を用いたディスプレイは自発光性を持つ
 →高解像度・長寿命etc.

EL用蛍光体の研究が盛んに行われている
 発光効率向上を期待して蛍光体ナノ粒子に着目した

蛍光体ナノ粒子

実用化されているもの→CdSe, CdSのナノ粒子など

(電子-正孔対の再結合を利用して発光する蛍光体)

Size-dependent emission

1nm 10nm 100nm

マルチ
モノリット

- ・粒径を制御することで発光色を変えられる
- ・Cdなど毒物元素を含むものがほとんど
- ・10nm以下では厳密な粒径の制御が必要

内殻遷移を利用して発光する蛍光体のナノサイズ化に着目

- Ba₂ZnS₃:Mn (630nm)
- SrGa₂S₄:Eu (530nm)
- BaAl₂S₄:Eu (480nm)

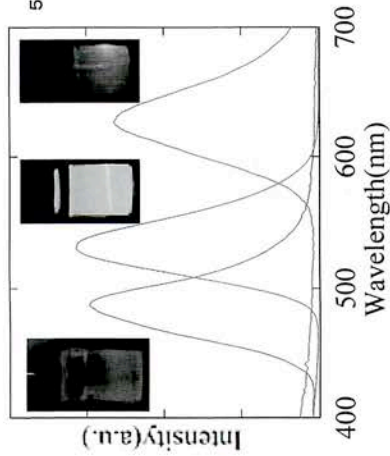
- ・発光色(波長)は粒径によらない
- ・毒物元素を含まない

3元硫化物蛍光体のナノ粒子を作製する



作製したナノ粒子の
さらなる光学的特性の向上を検討する

ナノ粒子による蛍光体の開発



53-301で実物が見れます

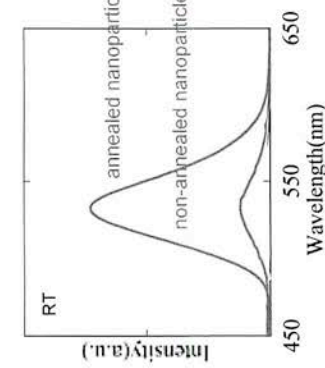


蛍光体を発する前の状態
殆ど無色透明の液体です。

様々な材料からなるナノ粒子の蛍光体材料。
光の3原色である赤、緑、青の蛍光体が液体中に分散されています

アニール処理が蛍光特性に与える影響

$\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}$ (アニール温度: 640°C)



アニール処理は蛍光強度の改善に大きな効果があった

($\text{BaAl}_2\text{S}_4:\text{Eu}$, $\text{Ba}_2\text{ZnS}_3:\text{Mn}$ も蛍光強度の改善が見られた)

まとめ

高校生で勉強したことは大学で役立ちます

最近はまだ多様な知識を求められます

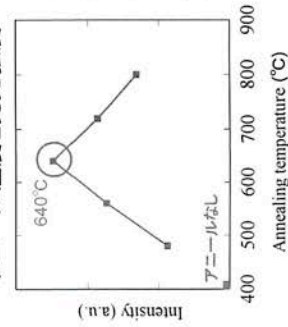
さまざまな「ナノ」が存在します

生物・化学でも受験できます
(入学後にフォローします)

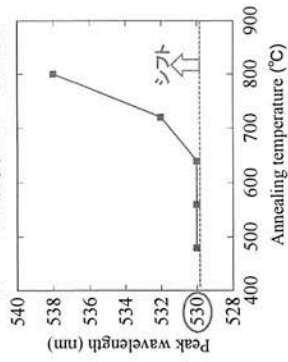
アニール温度の違いが蛍光特性に与える影響

溶液中に分散させたナノ粒子にHe-Cdレーザを照射

アニール温度と蛍光強度



アニール温度とピーク波長



このように異なる温度で処理すると異なる波長が観測される
（赤、緑、青の蛍光体はそれぞれ異なる波長を発光する）

「光が拓く未来…電磁波としての光」

富山大学 理工学研究部

岡田 裕之 先生



平成20年度 リフレッシュ理科教室「真空と光が拓く未来の世界」

「光が拓く未来・・・電磁波としての光」



富山大学 理工学研究部
岡田 裕之

背景・・・本講座の狙い



地球には太陽から絶え間なく光が降りそそいでいます。また電球や蛍光灯といった人工の光も身の回りにあふれています。

光は、ものを照らす明かりとしての光、植物の成長に必要な光合成をさせる光、テレビのように映像を映し出す光など、私たちにとってなくてはならないものです。

このような光について、その基本的な性質を調べ、光の不思議な現象を説明することで、生徒さんに対し科学に対する興味を伝えていく手助けをすることが狙いです。



1 背景

- ・光とは …… 電磁波の延長上の光
- ・光の性質 …… 波と粒子の二重性
- ・可視光 …… 380～780nm
- ・混色 …… 加法混色、減法混色
- ・光の応用 …… レーザ光、工業加工、光通信

2 光により起こる諸現象

3 表示素子への応用

4 光の将来

光とは …… 電磁波の延長上の光



周波数	波長	名称
10^{22} Hz	10^{-14} m	γ線放射
10^{21} Hz	10^{-13} m	
10^{20} Hz	10^{-12} m	X線放射
10^{19} Hz	10^{-11} m	
10^{18} Hz	10^{-10} m	UV-放射
10^{17} Hz	10^{-9} m	
10^{16} Hz	10^{-8} m	可視光
10^{15} Hz	10^{-7} m	
100 THz	10^{-6} m	赤外線放射
10 THz	10^{-5} m	
1 THz	10^{-4} m	マイクロ波
100 GHz	10^{-3} m	
10 GHz	10^{-2} m	ラジオ無線
1 GHz	10^{-1} m	
100 MHz	1 m	交流
10 MHz	10 m	
1 MHz	100 m	高周波
100 kHz	1 km	
10 kHz	10 km	低周波
1 kHz	100 km	
100 Hz	10^6 m	交流
10 Hz	10^7 m	
1 Hz	10^8 m	



光…可視光 波長 380-780 nm

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

h: プランク定数 (= 6.626×10^{-34} Js)
c: 光速 (= 3×10^8 m/s)

550nmの周波数(振動数) ν は、 5.45×10^{14} (Hz)

光の性質 …… 波と粒子の二重性



【光の二重性】 粒子説と波動説 「光は粒子か波か？」

この問題は、かつてよく議論された。何故なら、光が波でなければ説明がつかない現象(光の干渉、分光など)と、光が粒子でなければ説明のつかない現象(光電効果など)が、どちらも明確に確認できたからである。

「量子力学」の確立していく中で、「光は粒子でもあり波でもある。粒子と波の両方の性質を併せ持つ、量子というものである」という事が確かめられ、決着がついた。

光の波動性: 波動としての光を光波と呼び、反射・屈折・回折などの現象を起こす。ヤングの干渉実験により光の波動説として証明され、その後マクスウェルらにより光は電磁波であることが示された。

光の粒子性: 粒子としての光を光子という。光子は電磁場の量子化によって現れる量子の1つで、電磁相互作用を媒介する。ニュートンの光の粒子説で唱えられた。現在の光子の概念はアインシュタインによって提唱された。

粒子性の例

コンプトン散乱 Compton scattering
コンプトン効果 Compton effect

$$\lambda_s - \lambda_i = \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta)$$

λ_s : 散乱光の波長
 λ_i : 入射光の波長
 h : プランク定数
 m : 電子の質量
 c : 光速
 θ : 散乱角



電磁波を物質にあてたとき、散乱してでてくる電磁波の波長が入射電磁波のそれより大きくなる現象。

可視光 …… 波長380~780nmの光



可視光: 人間の目により見ることが出来る光



青紫	紫	青	青緑	緑	黄緑	黄	橙	赤
波長	380			550				780

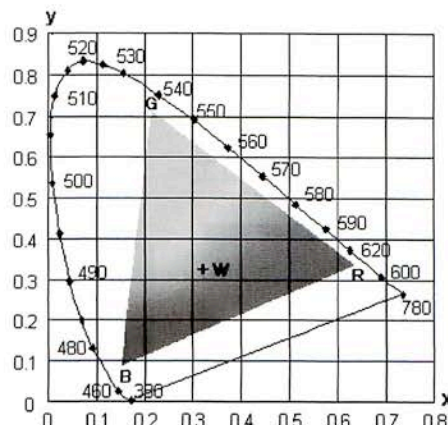
(nm)

色の表現: CIE 表色系x-y色度座標

可視色・単波長光の軌跡を、ある色空間の第1象限に接するよう配置します。

この色空間をxy座標系で表し、輝度をy軸に取り、色度を、(x,y)座標で表します。

(例) 白色 (x,y) = (0.33, 0.33)



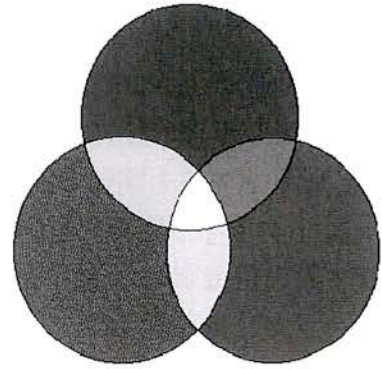


光の3原色(加法混色)

光の3原色は赤緑青(RGB)の3つです。テレビ画面に眼を近づけてみれば、画面が赤緑青3色で作られていることが分かります。混ぜ合わせは、

赤+緑=黄、緑+青=水色(シアン)、
青+赤=紫(マゼンタ)、
赤+緑+青=白

となっています。

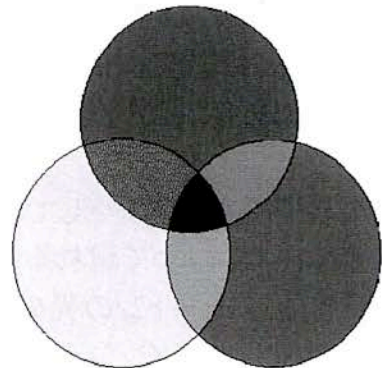


(参考) 色の3原色(減法混色)

色の3原色は赤黄青の3つで、これらから他の色を作ることができます。

赤+黄=橙 黄+青=緑
青+赤=紫 赤+黄+青=黒

となっています。



光の応用 … レーザ光、工業加工、光通信



・光通信

光信号の強弱を光ファイバーを通じて伝送する。

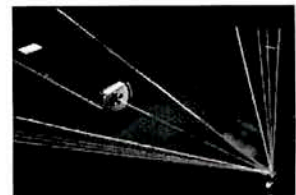
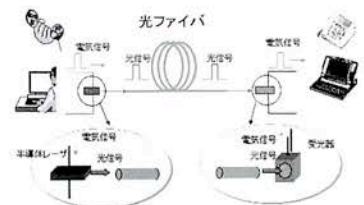
・光ディスク

光の波長オーダーの間隔で記録された凹凸を読み出す。



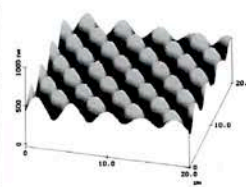
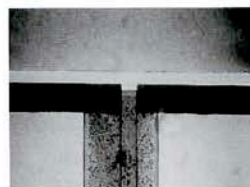
・レーザー (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

単一の波長の揃った光。指向性や収束性に優れ、波長を一定に保つことができる。



(応用例) 工業加工

レーザーパターニング



ディスプレイ





- 1 背景
- 2 光により起こる諸現象
 - ・屈折
 - ・干渉
 - ・回折
 - ・偏光
- 3 表示素子への応用
- 4 光の将来

屈折



Snellの法則

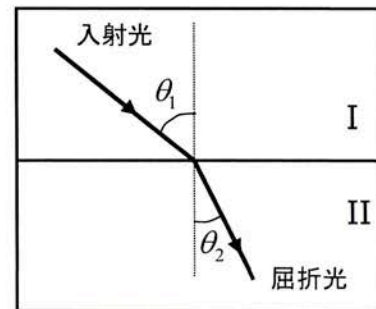
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

n_1 : 入射側の屈折率 θ_1 : 入射角
 n_2 : 出射側の屈折率 θ_2 : 出射角

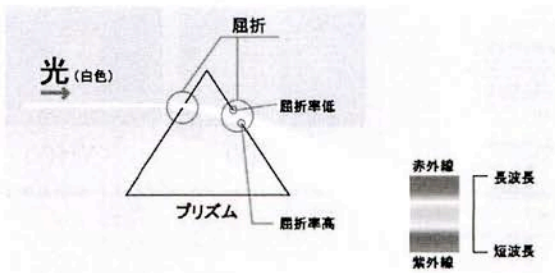
空気から水へ入射する場合は、 $n_1=1$ となり

$$\sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

すなわち、 θ_2 の方が小さくなる。



(実例1)プリズム



(実例2)虹





ヤングの干渉実験

明線条件式

$$|SP_1 - SP_2| = m\lambda$$

m : 整数 ($m=0, 1, 2, 3, \dots$)

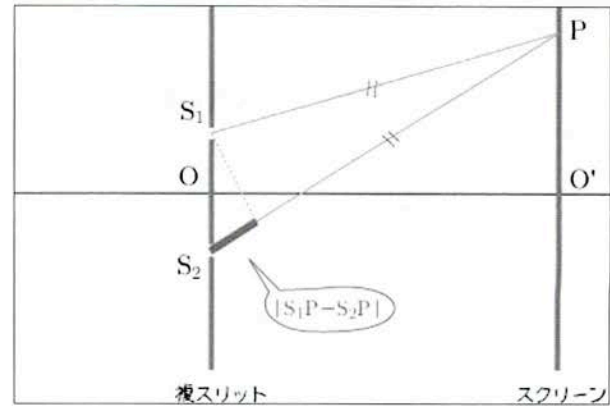
のとき、点Pは明るくなる。

暗線条件式

$$|SP_1 - SP_2| = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

m : 整数 ($m=0, 1, 2, 3, \dots$)

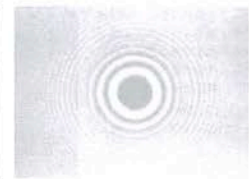
のとき、点Pは暗くなる。



実例

ニュートンリング

$\lambda/2$ の間隔で縞が出来る



▲ナトリウム光

▲白色光

回折



【定義】

媒質中を伝わる波に対し障害物が存在する時、波がその障害物の背後など、つまり一見すると幾何学的には到達できない領域に回り込んで伝わっていく現象

富山大学での研究例

微小屈折液晶表示方式

電圧により回折現象を制御できる方式

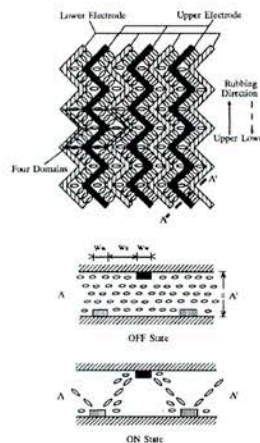


Fig. 1 Phase view and cross-sectional view of one of the MD LCD modes.

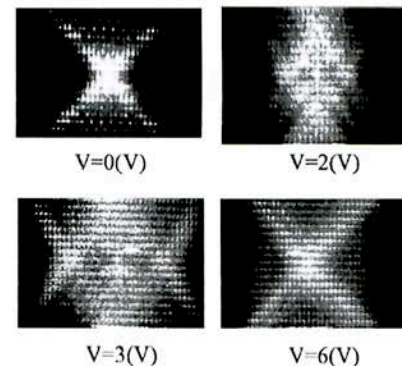


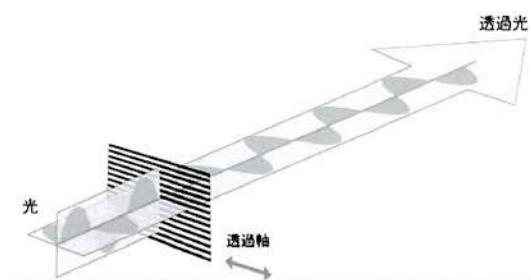
Fig. 6 Output light patterns with varied applied voltage in the parallel incidence case.



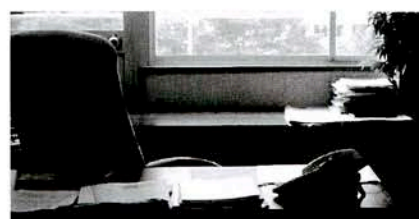
特定の偏光方向のみに振動した光。

偏光子や位相子を通過させることで、直線偏光や円偏光などを得ることができる。

直線偏光板を用いた代表的応用として、液晶ディスプレイがある。



図はタテ方向とヨコ方向に振動している光の波だけを描いてあります。光が偏光板に当たると偏光板の方向(ヨコ)の光だけが偏光板を通り抜けます。



反射光は水平方向の偏光の波 … 試してみよう！



- 1 背景
- 2 光により起こる諸現象
- 3 表示素子への応用
 - ・種々のディスプレイ・・・液晶、プラズマ、SED、有機EL素子
 - ・液晶とは
 - ・液晶ディスプレイの構造
- 4 光の将来



【CES2007, 2006 Consumer Electronics Show 展示例】

Sharp 108インチ 液晶TV (2007)



松下 103インチ プラズマTV (2006)

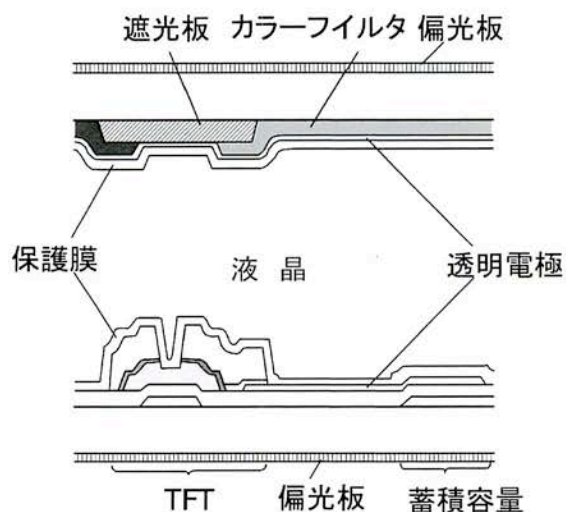


VS.

各種表示方式例

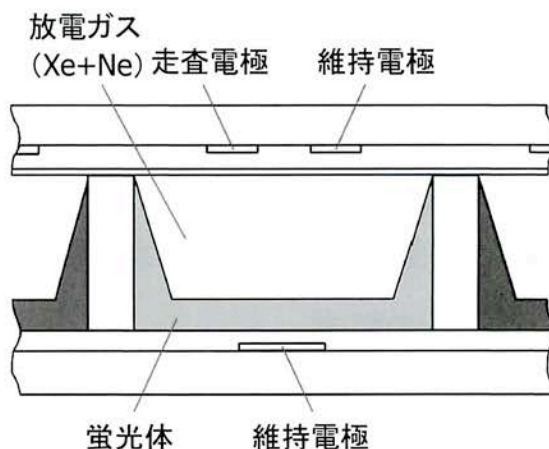


液晶



・電圧で液晶分子が動き
光スイッチの働きをする

プラズマディスプレイ

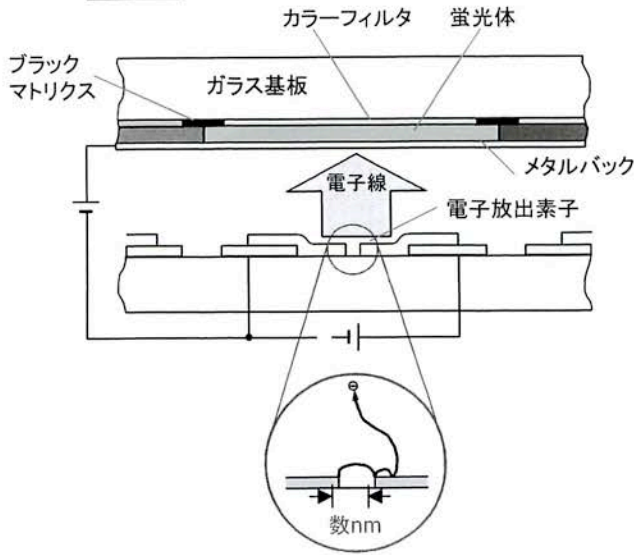


・蛍光灯と同じ原理で光る

次世代のディスプレイ



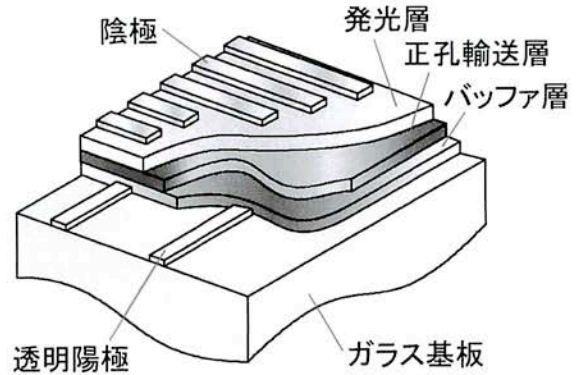
SED



・ナノギャップに電圧印加

SED: Surface-conduction Electron Emitter Display

有機EL素子

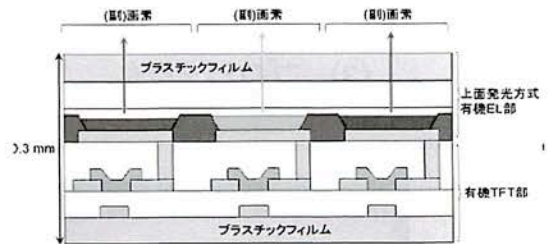


・有機発光材料にキャリア注入
→ LEDと同原理

次世代のディスプレイ(2)



曲げられるフルカラー有機ELディスプレイ



サイズ:	2.5型/160×120ドット
表示色数:	1,677万7,216色
解像度:	80ppi
輝度:	100cd/m ²
コントラスト比:	1,000:1
パネル厚:	0.3mm
重量:	1.5g

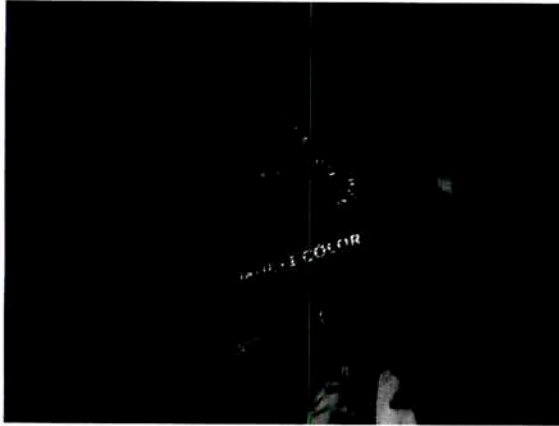
SONY 関連記事より引用

<http://www.watch.impress.co.jp/av/docs/20070524/sony.htm>

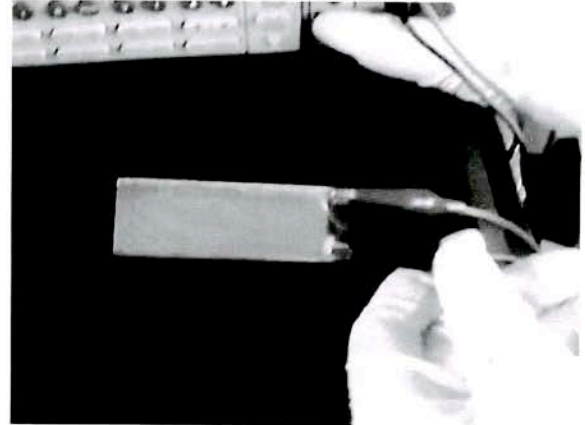


発光ポスターを狙ったパネル

富山大学Gでの研究例



IJP有機ELパネル



発光シール

液晶表示素子の応用



- (1) 液晶テレビ・モニター
- (2) 携帯用情報端末
- (3) プロジェクタ



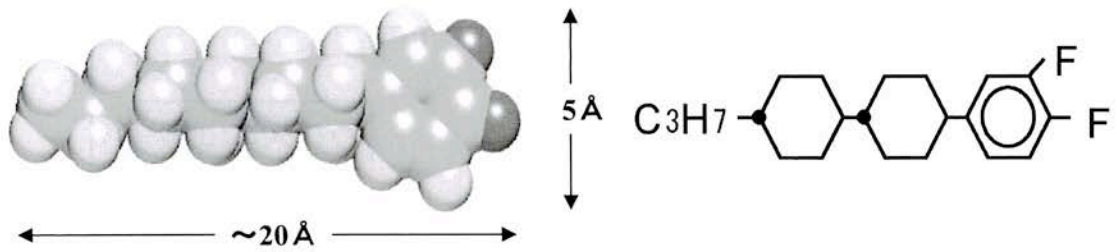
Sharp 108インチ 液晶TV (2007)



SONY: クリエ



EPSON: プロジェクタ



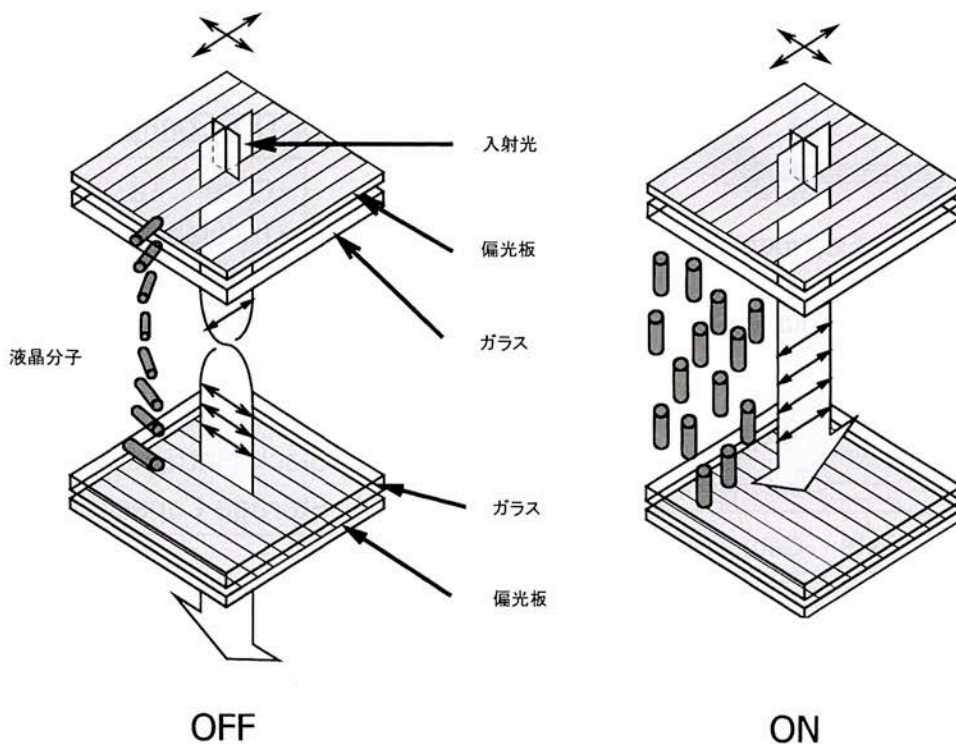
“固体と液体の中間の相状態”

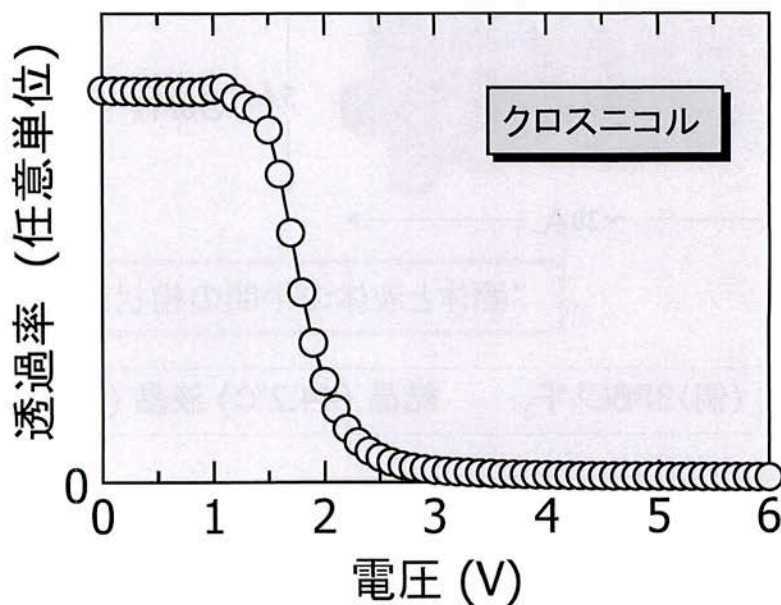
(例) 3PBC^{3,4}F₂: 結晶 (44.2°C) 液晶 (118°C) 液体

誘電率異方性	$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp}$
複屈折	$\Delta n = n_{\parallel} - n_{\perp}$
駆動力	$F = \frac{1}{2} \Delta\varepsilon E^2$

電圧印加で回転し
偏光状態を変える

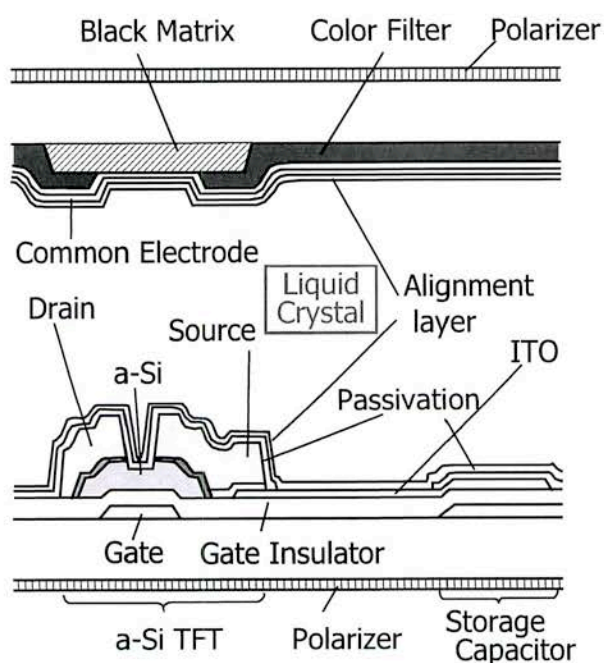
表示原理例





偏光状態が変化し透過率が変化

液晶パネルの構造断面図



a-Si TFT Configuration

- Gate Ta
- Insulator Ta₂O₅/SiN
- Drain & Source Al

- Black Matrix 光シールド用
- Storage Capacitor 電荷保持用

a-Siを半導体として用い、均一性良好な大型パネルを実現する。



- 1 背景
- 2 光により起こる諸現象
- 3 表示素子への応用
- 4 光の将来
 - ・未来の光応用
 - ・将来のディスプレイ応用展開

未来の光応用



・近接場光

波長以下の微小空間へ入射し発生する近接場光を用い、これまで見れなかった波長以下の物体を観察します。

(応用) ・光記録媒体 ・超微細半導体デバイス
・分子イメージング ・生体観測



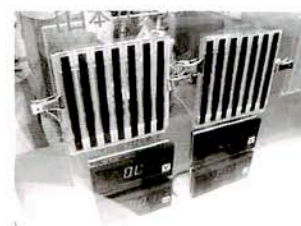
・レーザー光核融合

超高エネルギーレーザーの使用で、核融合を実現します。



・有機太陽電池

環境負荷の小さな大面積太陽電池で、光エネルギーを電気に変えます。

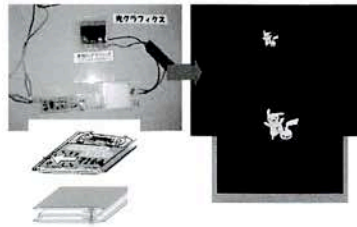


将来のディスプレイ応用 ... 光を生み出すディスプレイ

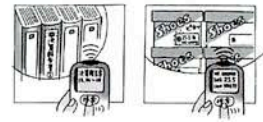
IJPによるフレキシブルディスプレイ



非接触電磁給電



光シール・光タグ



発光ポスター



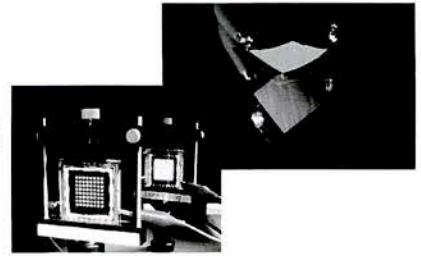
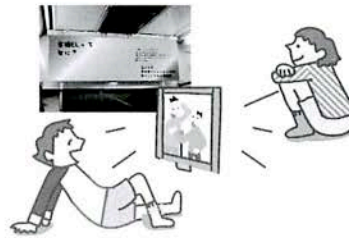
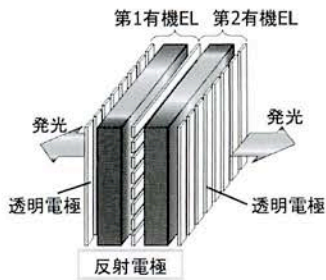
光スキャナ



多機能ディスプレイ



両面発光有機ELパネル



リフレッシュ理科実験 「真空の世界」

- ① 真空の力
- ② 水が沸騰する!?
- ③ 音の伝わらない世界
- ④ 何も無い世界

真空って？

- ・空気などの物質が全然ない空間。実際上は、圧力が極めて低い状態の空間もさす。(岩波国語辞典)
- ・工学的、技術的には雰囲気圧より低い圧力状態を広い意味で真空という。これに対して物質の全くない空間の状態を考えるとそれを完全真空、絶対真空、理想真空などという。(理化学辞典)

大気圧の大きさ

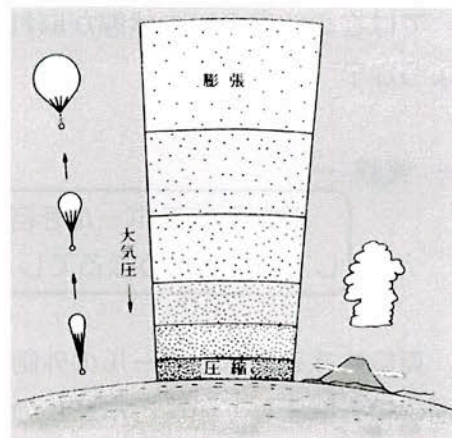
地球のまわりには空気がとりまいています。ふだん空気の重さは全く感じませんが、空気にも質量があります。

1リットルあたり 1.29g

1リットルは 1000cm³ です。牛乳パック1つ分の体積で1.29g あるのだから、部屋の中の空気だけを考えてもけっこう質量がありますね。地球をおおっている空気の下敷きになっているはずです。

大気圧 …… 空気の重さによる圧力

地表付近の大気圧は1気圧=1013hPa



1 cm²の面積に1 kg ものおもりが乗っている状態。

空気の重さを計るにはどうしたら良い？

- ・空気の入った容器から1Lだけ空気を取り出し、取り出す前の重さと比べる。

— 実験 —

真空バルブを取り付けたガラス容器内の空気を真空ポンプで排気し、前後の容器の重さを計測してみよう！

- ・空気の組成、各ガスの分子量から計算で求める。

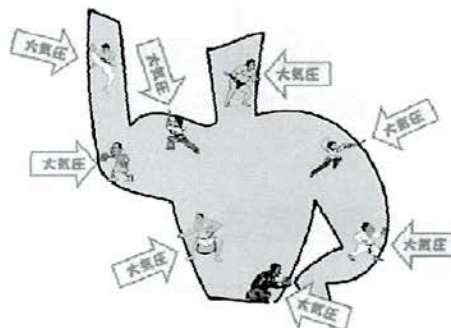
表 1. 空気の組成と分子量

ガス名	化学式	比率%	分子量
窒素	N ₂	78.08	28.01
酸素	O ₂	20.95	32.0
アルゴン	Ar	0.93	39.95
二酸化炭素	CO ₂	0.034	44.01
ネオン	Ne	0.0018	20.18
ヘリウム	He	0.0052	4.003

力のつりあい

大気圧が非常に大きいということが分かったと思いますが、ではなぜその大きな圧力を受けているのに人間はつぶれないのでしょうか？それは人間の体の内側から外に向かって同じ圧力で押し返しているからです。テニスボール等も同じように大気圧を受け、同じ圧力で押し返しているのでつぶれません。

ではこの釣り合いの状態が崩れた場合はどうなるのでしょうか？



— 実験 —

軟式テニスボールを容器の中に入れ、容器の中を真空ポンプで減圧（真空に）していくとどうなるでしょう？

真空にする前は、ボールの外側の圧力（大気圧）と内側の圧力が釣り合っています。しかし、容器の中を減圧していくとボールの外側の圧力が減るため、ボールの内部から押す圧力の方が強くなり、ボールは膨らみます。

ちなみに、中を真空にした容器のフタは開きません。なぜなら、容器の外と中では圧力差が1気圧あるから。フタの大きさが30×30cmくらいですから、

$$900\text{ cm}^2 \times 1\text{ kg} = 900\text{ kg}$$

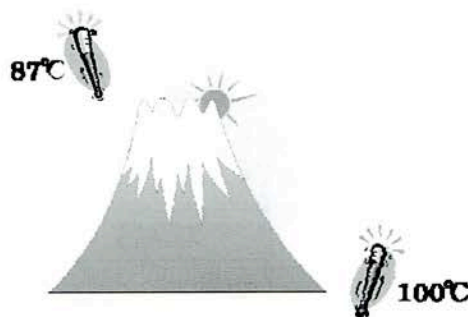
フタには軽四車が1台乗っているくらいの圧力がかかっているからです。

水の沸騰

液体を加熱すると湯気（蒸気）が出てきてやがて沸騰します。その蒸気が呈する圧力（蒸気圧）と大気圧が等しくなると沸騰が起こります。水の場合は100℃で蒸気圧と大気圧が等しくなるので100℃で沸騰します。

しかし、富士山の山頂でお湯を沸かすと約87℃で沸騰してしまい、それ以上温度が上がらずご飯が美味しく炊けないそうです。これは富士山山頂（3776m）付近の気圧が低い（約640hPa）から。

気圧が低いので、より低い温度で蒸気圧が大気圧と等しくなり沸騰が起こるようになるのです。このように圧力が低くなるとより低い温度で（水でも）沸騰が起こります。



— 実験 —

ビーカーにお湯（水）を入れて容器の中に入れ、容器の中を真空ポンプで減圧（真空に）してみよう！

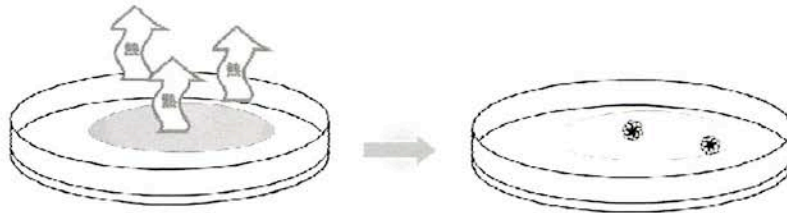
お湯を容器に入れて少しずつ減圧（真空に）していくと、容器内の圧力が下がるため沸騰が始まります。温度計を見ると沸騰はしているものの温度は 100°C ではありません。

また、しばらく温度計を見ていると少しずつお湯の温度が下がっていくのがみられます。これは“気化熱”による温度低下です。気化熱とは液体を気化させる（気体にする）のに必要な熱量のことです。液体が気体になるときは体積が増大するために外部に対して膨張の仕事を行います。このため気化にはこの仕事分のエネルギーが必要となり、お湯（水）から熱エネルギーが奪われ水温が下がります。

“打ち水”って知ってますか？ 暑さを和らげるために道路や庭に水を撒くことを言いますが、これも気化熱を利用した昔ながらの知恵です。人間も体温調節のため、体温が上昇すると汗をかいて体を冷やします。

ケースに水を入れて真空容器に入れ、容器内を真空ポンプで減圧し続けると、沸騰が起こりやがて気化によって熱エネルギーを奪われ、水温が下がります。そのまましばらくするとやがて水温が 0°C になりますが、凍ることなくそのまま水温が下がります。これは過冷却と呼ばれる現象で、振動などちょっとした刺激を加えると突然水が凍ります。

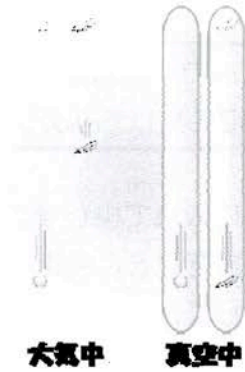
水が 0°C 以下になるまでの時間は水の量によって異なります。これは 1g の水の温度を 1°C 下げするのに 4.2cal のエネルギーを奪う必要があるため、水量が多いと、より大きなエネルギーが奪われなければならないからです。



空気抵抗

上空 2000m の雲から雨が降ってくる場合を考えます。雨粒が鉄球と同じように落ちて来るとして計算すると、雨粒の地上での速度は 700km/h にも なります。これでは雨の日には怖くて外も歩けませんね。ところが、実際は雨粒の地上での速度は、時速 20km/h 程度にしかありません。これはなぜでしょうか？ 実は空気には、雨粒の落下を邪魔する働きがあり、空気抵抗と呼ばれています。雨粒の速度がだんだん速くなってくると、空気抵抗も大きくなり、やがて重力と空気抵抗の大きさが等しくなると一定の速度になるからです。この速度を終端速度といいます。

真空中ではこのような空気抵抗がないため、物体は同時に落下します。ガラス管の中に発泡スチロール片とアルミホイルを丸めたものを入れて中を真空にしたものを用意しました。大気中では発泡スチロールは空気抵抗を受けアルミホイルよりもゆっくりと地面に落ちますが、真空中では同時に落ちます。鳥の羽や綿でも結果は同じです。



音の伝わり

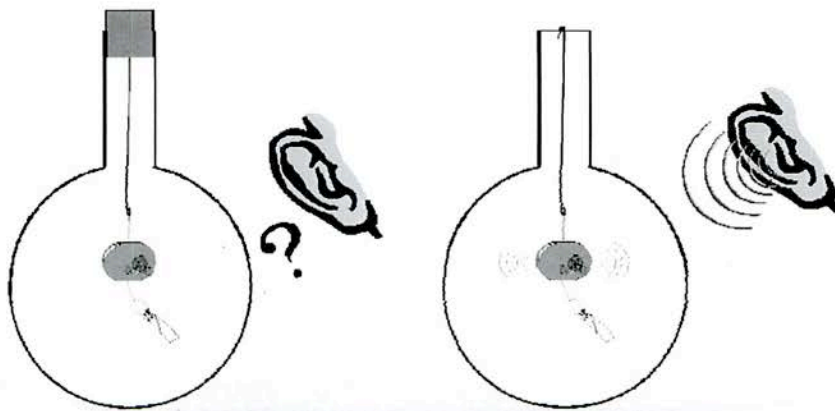
音はもともと、ただの物体の振動が空気などの物質（媒質）の中を伝わってきたものです。その空気の振動によって耳の奥にある鼓膜が振動し、その振動が電気信号に変換され脳に送られて音として認識されます。

しかし、真空中では振動を伝える媒質（空気）がないため、振動が伝わらず音が聞こえません。

— 実験 —

鈴を吊るしたフラスコの中を真空ポンプで減圧（真空に）してみよう！

真空ポンプで鈴を吊るしたフラスコの中を真空にし、真空が漏れないようにしっかりコックを閉じます。その後フラスコを振って中を真空にしていけないものと鈴の音を比較してみましょう。鈴をフラスコ内に入れるだけで音がかなり小さくなりますが、鈴が鳴っていることは確認できます。しかし、フラスコ内を減圧すると全く聞こえなくなります。鈴がガラスに当たったときだけ音が聞こえます。



身近な真空

私たちの身の回りにも真空、あるいは真空を利用して作られた物がいっぱいあります。例えば電球、蛍光灯、車のヘッドライトなどの中にも真空がありますし、またテレビCRTディスプレイ、色鮮やかなネオンサインなども真空なしでは作れません。真空の断熱作用を利用した真空ガラスや魔法瓶もありますし、最近では魔法瓶浴槽といったものも出てきています。

即席麺や即席みそ汁の具材および即席ブロックスープなど、あらゆる加工食品に使用されているフリーズドライ製品も真空技術を使って作られています。「フリーズドライ」は、真空凍結乾燥という加工方法のことです。簡単に説明すると、食品中の水分を凍結させ、氷のまま蒸発させて乾燥させる、という方法です。従来の高熱での乾燥方法と違い、素材のナチュラルな成分が、ほとんど破壊されることなく残りますので、手作りそのままに栄養摂取ができ、赤ちゃんの離乳食や、介護食など、特に栄養摂取を気にしなくてはいけない分野で、積極的に利用されています。宇宙食として、NASAでも採用されている、最先端の加工方法です。

「量子の世界」

富山大学 理工学研究部

前澤 宏一 先生



量子の世界

富山大学大学院理工学研究部

前澤宏一

内容

- ※ はじめに
- ※ 電子・光の波動性と粒子性
- ※ 不確定性原理
- ※ 波動関数とは？
- ※ 観測問題
 - ◆ シュレーディンガーの猫
 - ◆ アインシュタインとボーアの対決
 - ◆ 多宇宙解釈と量子コンピュータ
- ※ 科学とは？

はじめに

※ 量子力学

※ 最も成功を収めた物理理論

- ◆ 精緻な予測性
- ◆ 様々な応用
- ◆ レーザー、超LSI、LED、超伝導

※ しかし、...

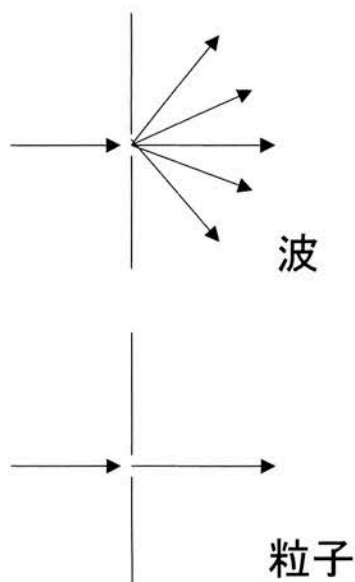
- ◆ 物理学者の間で、現在でも未解決の問題
- ◆ 観測問題

※ 科学理論とは何か？

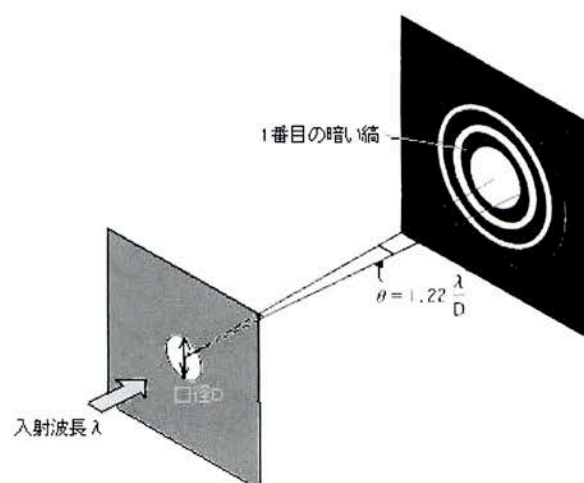
リフレッシュ理科教育

光・電子の波動性

※ 波動性の根拠 回折

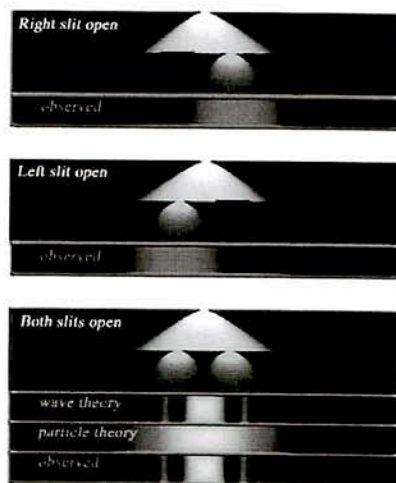
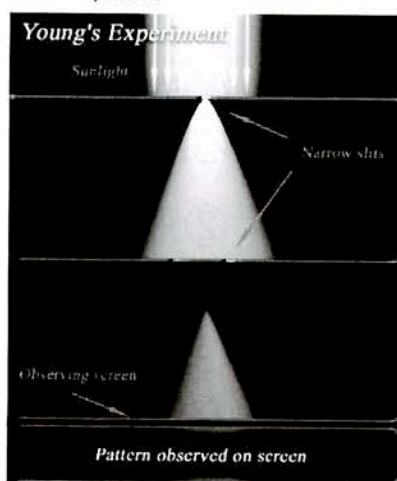
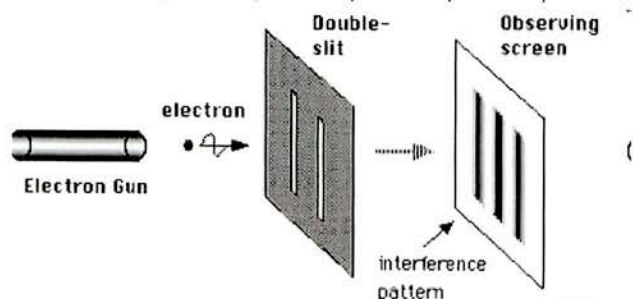


小さな穴から波が広がる



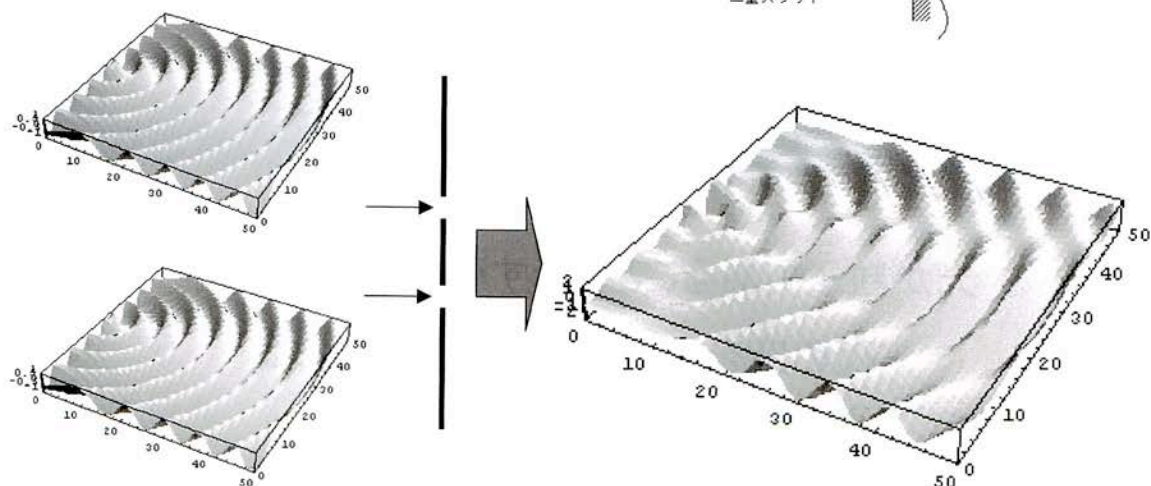
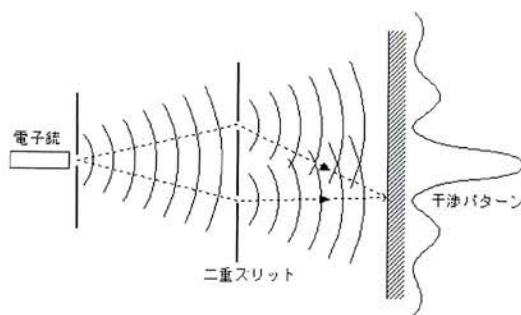
リフレッシュ理科教育

二重スリットの実験



リフレッシュ理科教育

二重スリットの実験2



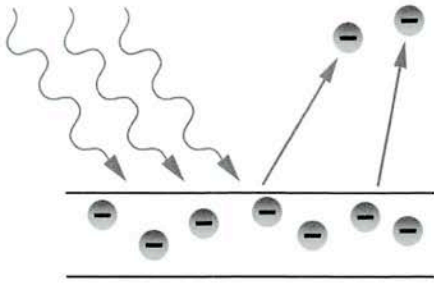
リフレッシュ理科教育

光・電子の粒子性

※ 粒子性とは「数えられること」

光のエネルギーはかたまり(とびとびの値)としてやり取りされる。 → 光電効果(アインシュタイン)

光量子仮説



①波長の短い光を金属にあてると電子が飛び出す。

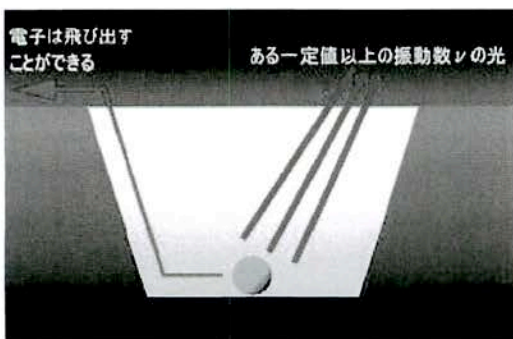
②飛び出して来る電子の数は光の強さに比例する。

③波長の長い光の場合はどんなに強い光をあてても電子は飛び出さない。

リフレッシュ理科教育

光量子仮説

光は振動数に比例するエネルギーをもつ粒子である。



光が粒子であることを示す他の例

夜の空を見るとすぐに星が見える

ストーブでは日焼けしない

波動性と粒子性

- ※ 今まで波と考えていた光は波でもある。
- ※ 今まで粒子と考えていた電子(実は他のすべての物質も!)も波動性を示す。



波動関数 $\Psi(x, y, z, t)$

すべての粒子(物質)は波動関数としてあらわされる。

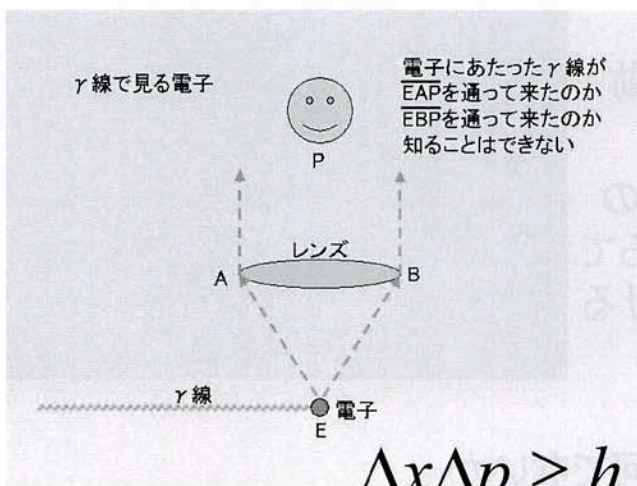
シュレーディンガー方程式

$$H\Psi = E\Psi$$

リフレッシュ理科教育

不確定性原理

ハイゼンベルクの顕微鏡



位置を正確に知るためには?

短波長の光を使う

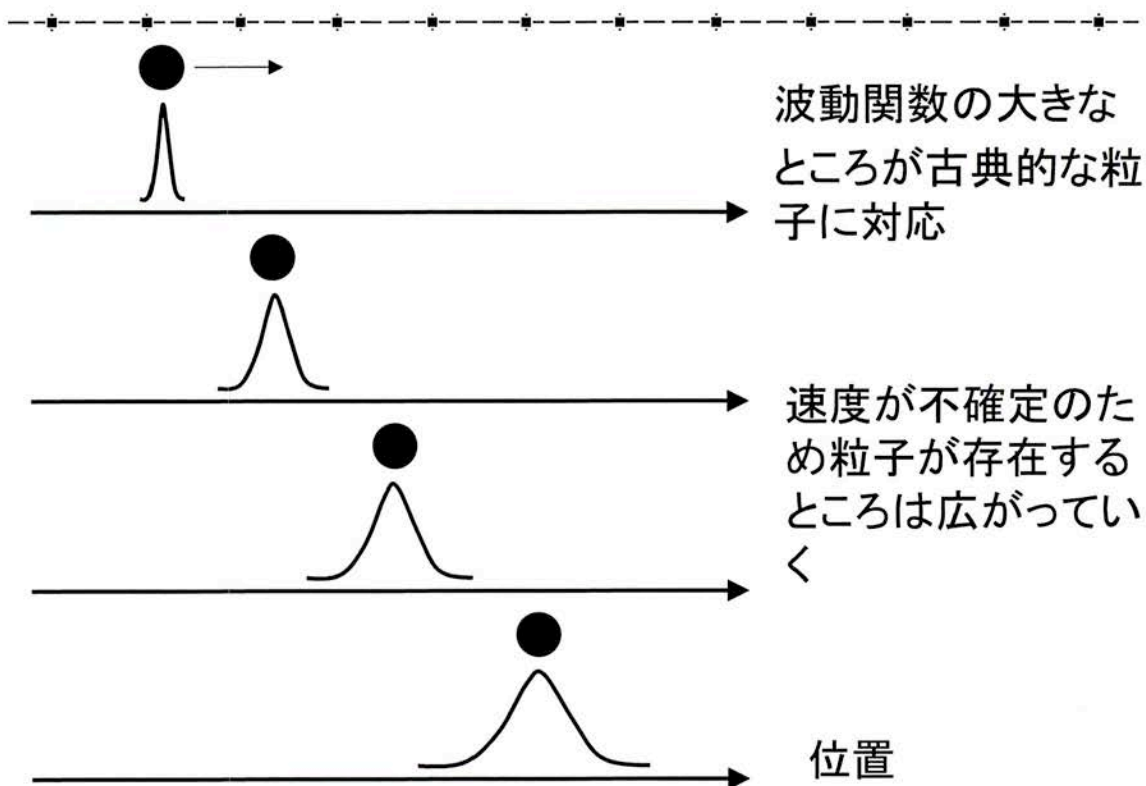
短波長の光は運動量大

電子を弾き飛ばす

その後の電子の運動は不明

位置と速度の両者をどこまでも正確に知ることは出来ない
→ 物理の核心部分に確率的にしか知ることが出来ないことがある

運動する粒子の波動関数

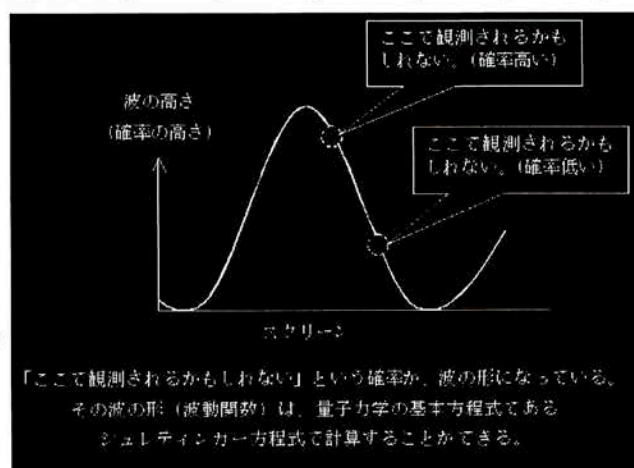


リフレッシュ理科教育

波動関数とは何か？

コペンハーゲン解釈
(エルンスト・ボーア)

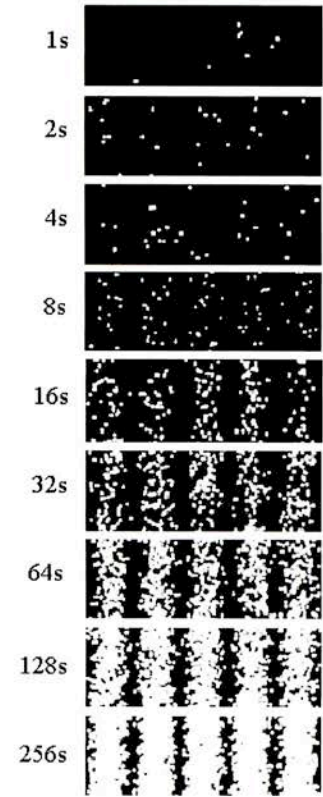
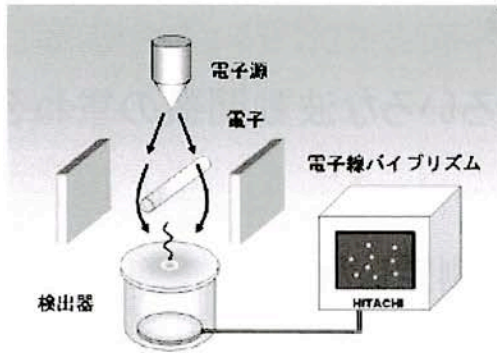
- ※ すべての粒子は波動関数であらわせる
- ※ 波動関数(の大きさの二乗)が大きいところではその粒子を見つける可能性が大きい



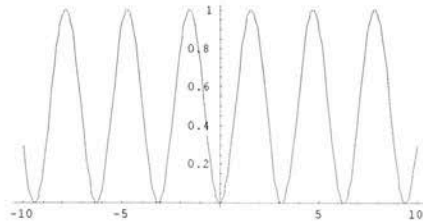
※ 波動関数とは何でないか

- ◆ 一個の粒子の密度分布を表すものではない
- ◆ 多数の粒子の密度分布を表すものではない

例：電子の振る舞い



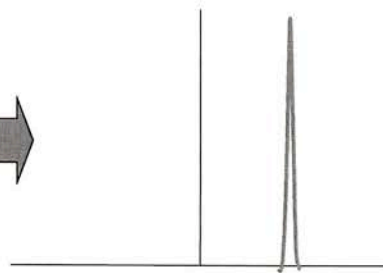
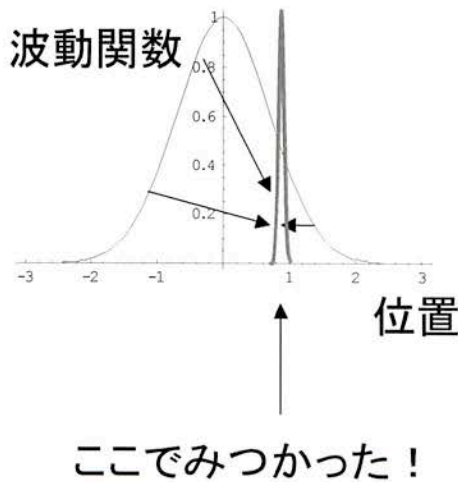
波動関数(の大きさの二乗)



リフレッシュ理科教育

コペンハーゲン解釈の不思議

波動関数の収縮



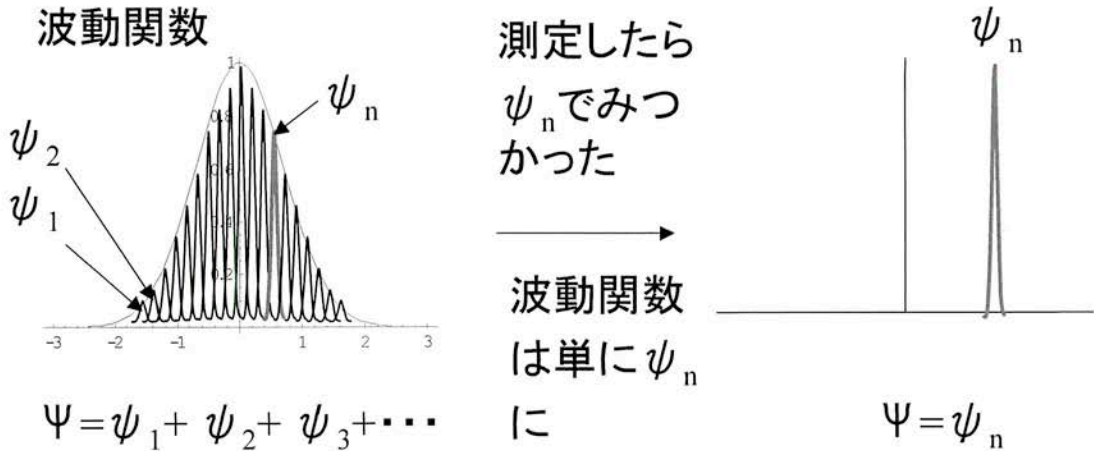
測定によってたまたま見つかった位置に波動関数は収縮し、その点だけに値をもつ細くとがったものになる

測定自身は量子力学で記述できない

シュレーディンガーの猫1

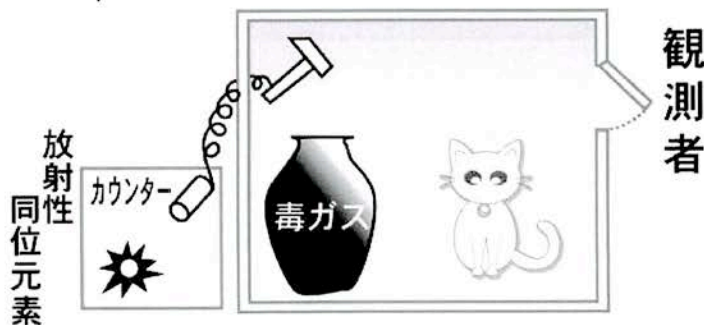
※ 重ね合わせ状態

測定前の状態はいろいろな波動関数の重ね合わせ



リフレッシュ理科教育

シュレーディンガーの猫2



$$\Psi = \psi_{死} + \psi_{生}$$

測定(観測)とは何か？
いつが観測か？
生きた猫と死んだ猫の重ね合
わせ状態？



リフレッシュ理科教育

シュレーディンガーの猫3

※ 観測されて波動関数が収縮するのはいつ？

◆ 人間が窓から見たとき？

- ・ 人間の目が物を見るのは物理現象だから量子力学に従う

◆ 観測は脳が認識したとき？

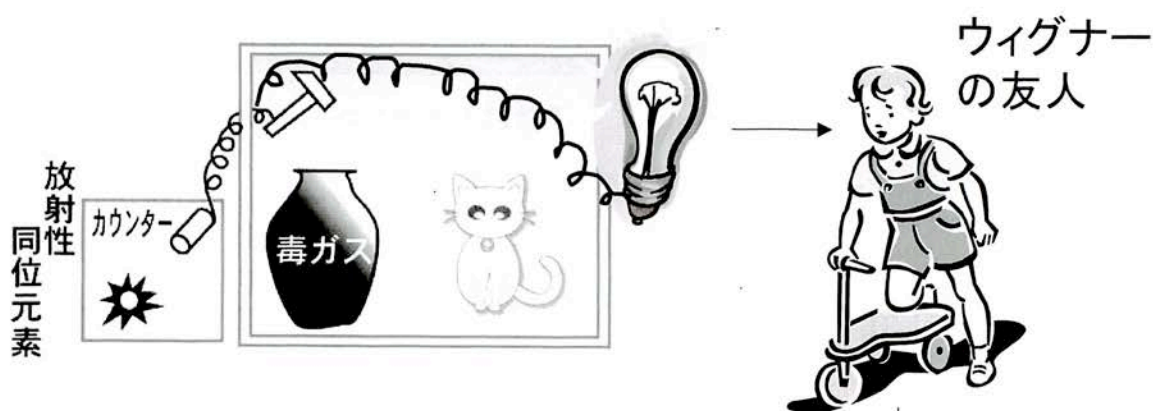
- ・ 人間の脳だって物質から出来ている

◆ 観測とは精神が認識したとき？

物理学に精神なんて持ち込んでいいの？

リフレッシュ理科教育

ウィグナーの友人



友人を介して結果を教えてもらう。
友人は実験の中身を知らない

いつ波動関数は収縮するか？



ウィグナー

リフレッシュ理科教育

アインシュタイン

※ 最後まで量子力学を不完全な理論として認めなかった

- ◆ 神はさいころを振らない
- ◆ 月は見ていないときは存在しないのか？

※ ソルベー会議(1911)

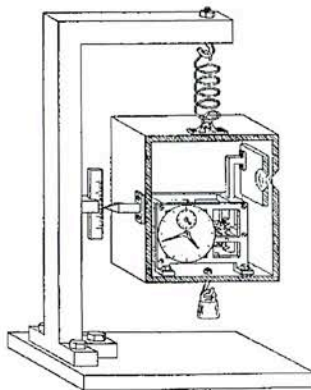
- ◆ 物理学のサミット 物理界のスーパースター勢ぞろい



リフレッシュ理科教育

対決：アインシュタイン対ボーア

量子力学の基礎をなす「不確定性原理」への反論



アインシュタインの「箱の中の時計の思考実験」
についてのボーア直筆の絵

「電球から発した一つの光の粒が、シャッターを通過して、外に出るとします。この時、シャッターに連動したタイマーで、光の粒が外に飛び出した時間は正確に測れます。一方、箱は、光の粒一個分だけ軽くなります。すると、バネがちぢみ、横の目盛りで重さの変化を測ることができます。重さの変化から、光の粒一個分のエネルギーが、計算で出ます。時間とエネルギーの両方とも正確にわかるのです。これは『不確定性原理』への根本的な反論です。」

ボーアの反論：相対性理論によって時間は正確に測れない

多宇宙解釈 パラレルワールド

- ※ 宇宙は多数の平行ワールドから出来ている
 - ◆ すべての宇宙を考えにいれて理論を作れば、確率は
いらない
 - ◆ 干渉現象などの量子効果は平行ワールドにある
自分自身の影響によりおこる。

デビッド・ドイチュ: 量子コンピュータの提唱者

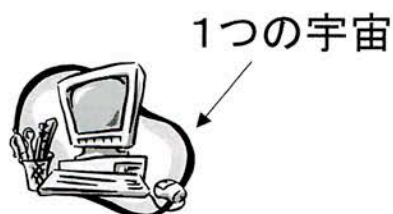
量子コンピュータが速いのは平行ワールドがあるから。



リフレッシュ理科教育

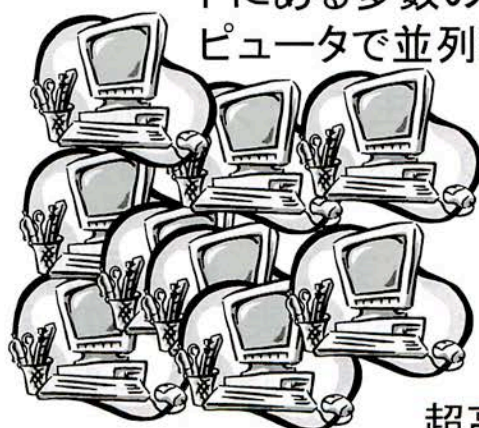
量子コンピュータ

量子コンピュータは量子力学の重ね合わせの原理を用いて超並列演算を行ない、こういった問題を超高速に処理出来る。では、重ね合わせの原理による並列演算とは何か？



1つの宇宙

1個のコンピュータで計算
時間がかかる



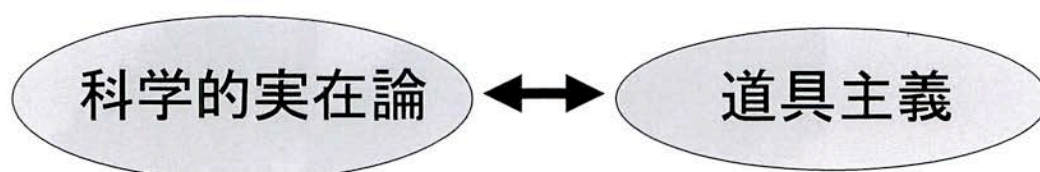
多数の平行ワールドにある多数のコンピュータで並列計算

超高速

多宇宙解釈への批判

単なる解釈、説明であって、何も新しいことを生み出していない。コペンハーゲン解釈と同じ予測結果しか、でない。意味がない。

これらの批判に対するDavid Deutschの反論は良い説明こそが科学の神髄であり、多宇宙解釈はそうなっているということである。この問題は科学とは何か、という科学の本質にふれる疑問である。



リフレッシュ理科教育

道具主義と科学的事実論

科学的事実論(かがくてきじつざいろん、Scientific realism)とは、科学哲学におけるモノの存在に関する立場のひとつで、「科学的なモデルの中に登場する電子や光子や波動関数といった対象は、実際に、そのような形で、存在しているのだ」とする考え方のこと。存在論上の立場のひとつ。

道具主義(どうぐしゅぎ、instrumentalism)とは、科学哲学の世界で使われる言葉で、科学理論を、観察可能な現象を組織化・予測するための形式的な道具・装置であると見なす立場。観察可能な現象の背後にある観察不可能な隠れた実在の真の姿は知りえないとする。この点で科学的事実論と対立する。

リフレッシュ理科教育

道具主義と科学的实在論2

もっと簡単に言うと

科学的实在論: 科学はちゃんと物事を説明するためにある。

道具主義: 科学は観測可能な量の間関係、その予測ができればよい。説明は本質ではない!

科学的实在論

アインシュタイン

デビッド・ドイチュ

ロジャー・ペンローズ

道具主義

ニールス・ボーア

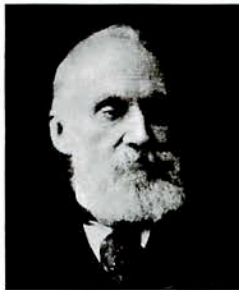
エルンスト・マツハ

リフレッシュ理科教育

おまけ: 量子力学と進化論

19世紀末 古典物理学の最盛期

古典物理学帝国の守護者
ウィリアム・トムソン、またの名をケルビン卿



当時の物理学界に君臨
最後まで量子力学を認めなかった

チャールズ・ダーウィン
進化論を提唱



量子力学と進化論2

地球年齢をケルビン卿が計算：約1億年

地球が誕生したとき高温の溶融状態にあり、それが徐々に冷えて現在の状態になったと仮定

ダーウィンの進化論に対する重要な反論の根拠

地球の年齢が1億年では短すぎて、進化には足りない。

古典物理学帝国の守護者
ケルビン卿

ダーウィン：「ケルビン卿が憎むべき妖怪のように見えてきました。」

リフレッシュ理科教育

量子力学と進化論3

若いアーネスト・ラザフォード(32)
放射能の影響でケルビン卿の計算が間違っていることを示す。放射能の原因である核分裂は量子効果なくしては存在しない。(1904)

「北陸電気工業のMEMSと 3軸加速度センサー」

北陸電気工業(株) 開発技術センター

山本 肇 氏

北陸電気工業のMEMSと 3軸加速度センサー



1



地元で
こんなものを開発製造している会社がある

1. 北陸電気工業の紹介
2. 北陸電気工業の3軸加速度センサ
3. 原理
4. 用途
5. 他のMEMS製品
6. どうやってつくるのか(MEMS)

2

1. 北陸電気工業の紹介

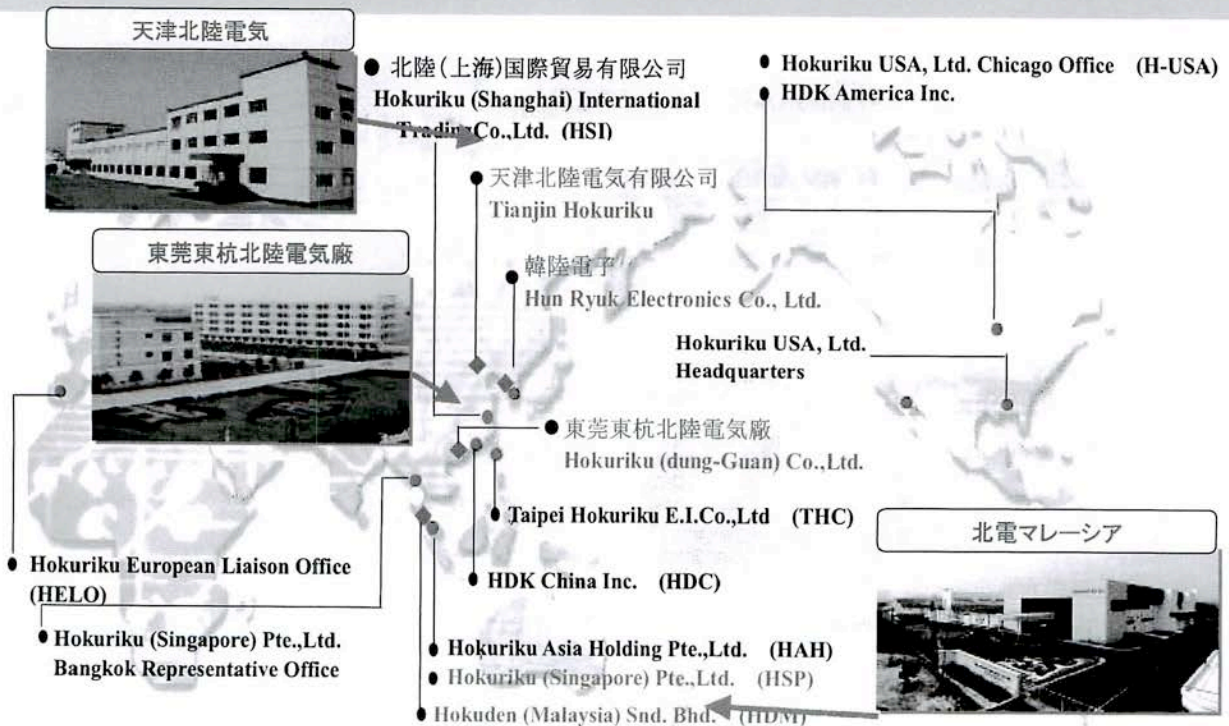
- ・社名 北陸電気工業株式会社
- ・設立 1943/4/4
- ・本社所在地 富山県富山市下大久保3158番地
- ・社業 電子部品製造 販売
- ・資本金 5,200 百万円
- ・年間売上高 52,578百万円 (連結、2008年3月期)
- ・従業員数 2,408 名 (連結、2008年3月31日現在)



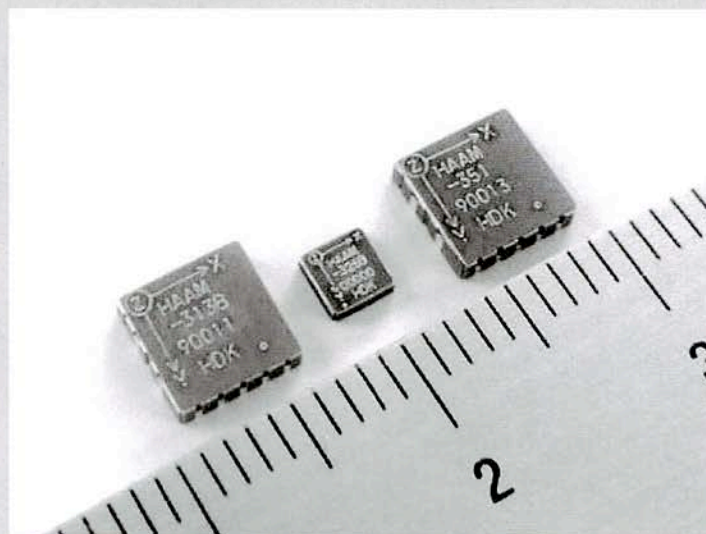
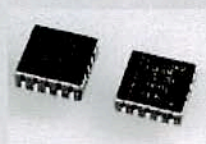
北陸電気工業株式会社

海外拠点の紹介

- ◆ : 生産拠点
- : 販売拠点



2. 北陸電気工業の3軸加速度センサ



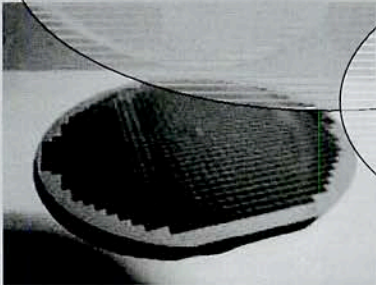
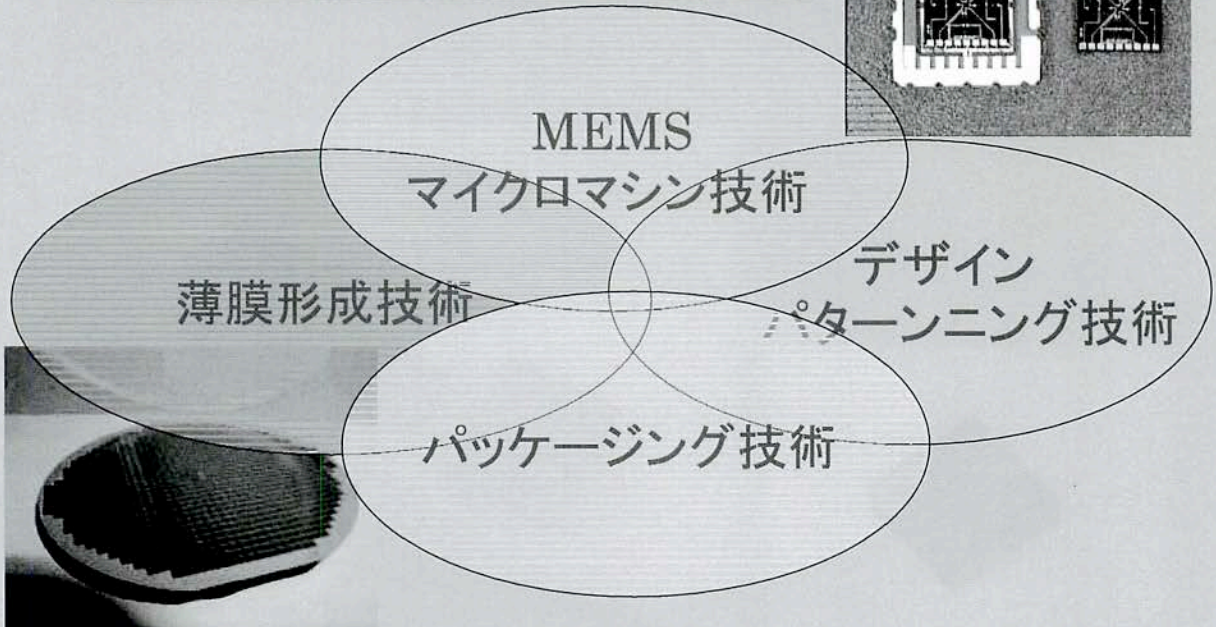
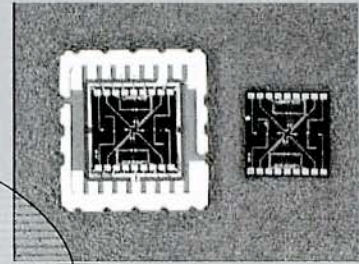
5

北陸電気工業の3軸加速度センサとは

- 3次元空間の縦、横、高さ方向(3軸)夫々の加速度を検出できる → だから立体的な運動の測定が出来る
- 振動体の動的加速度も引力(重力)のような静的加速度も検出できる → 運動だけでなく姿勢も判る
- 小型で高性能 → 携帯機器に向く
- MEMSという技術でつくっている → 小型で安定した品質レベルの製品量産が出来る

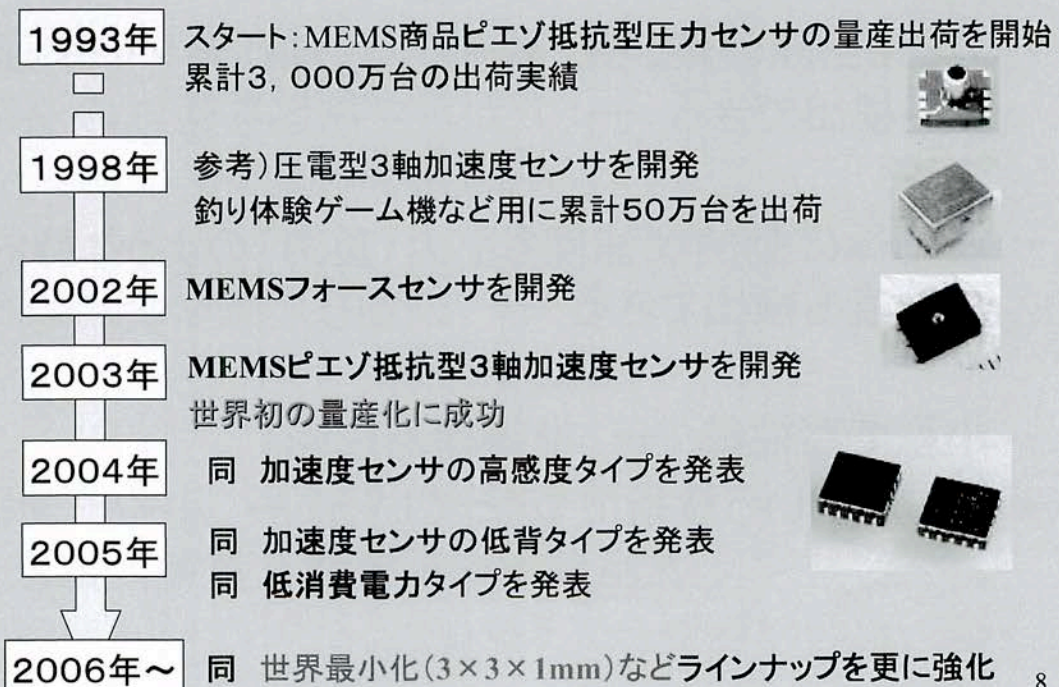
6

北陸電気工業の 3軸加速度センサ製品製造の要素技術



7

HOKURIKUのMEMSセンサの歴史



8

3軸加速度センサ開発コンセプト

- ◆自動車分野を中心に使用されてきた単軸の加速度センサも近年、携帯情報端末やポータブルデジタル機器の多様化に伴い、新たなセンシングデバイスとして注目を集め、3軸の要求が高まっている。



小型・低背化の必要性

☆MEMS技術の進歩

☆電子部品と機構部品の融合

MEMS型

3軸加速度センサ

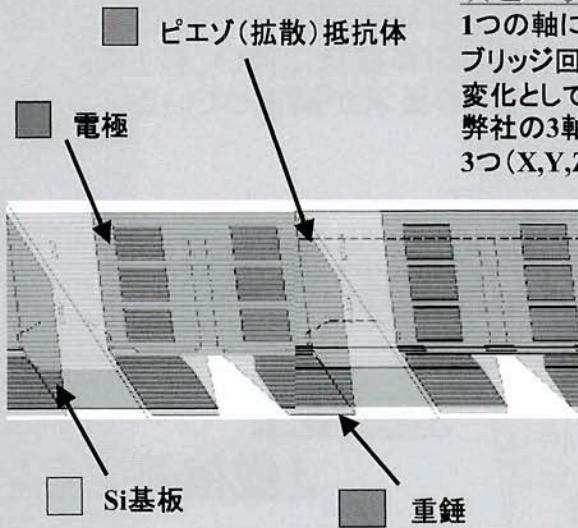
9



3軸加速度センサの 構造と動作原理説明

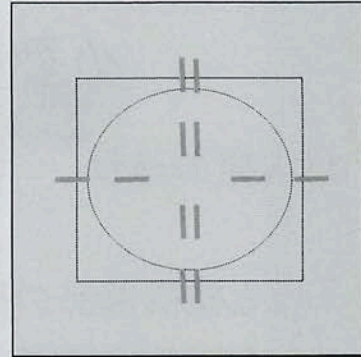
10

3軸加速度センサ チップ構造



☆ピエゾ抵抗効果

1つの軸に対し4つの抵抗体素子でホイートストン・ブリッジ回路を構成し、応力による抵抗変化を電圧変化として検出する。
 弊社の3軸加速度センサの場合は、1つのチップ上に3つ(X,Y,Z)の回路が形成されている。



11

ピエゾ抵抗効果？

Q. ピエゾ抵抗とは？

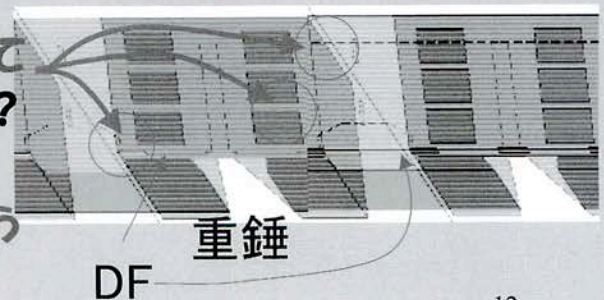
A. Si表面に抵抗としたいパターン形状にホウ素やリンをドーピングすると、その部分は抵抗器となるが、変形(圧縮歪、引張歪)に応じた抵抗値変化をする

Q. 何処にあるのか？

A. 厚い部分と薄い部分に跨って

Q. 何故薄いところがあるのか？

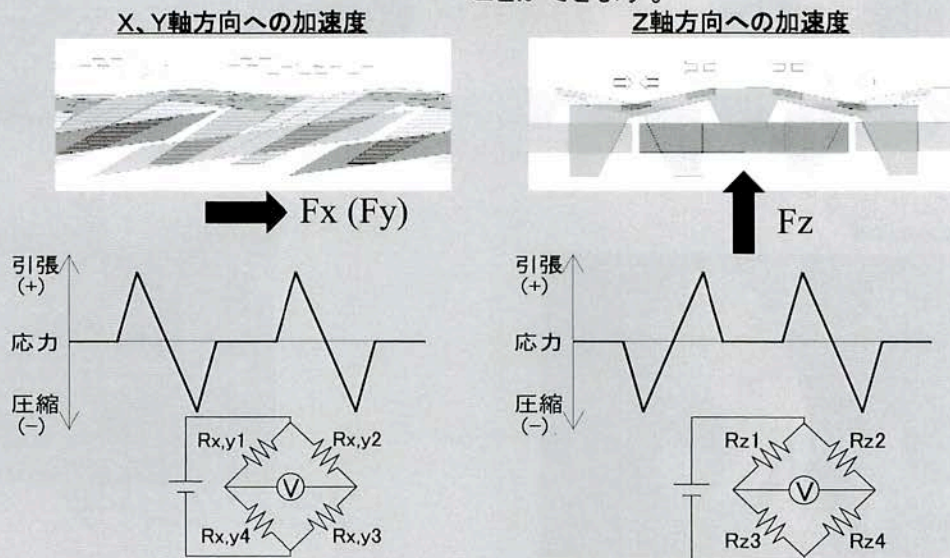
A. 同じ力でも変形し易いため
 ここをダイヤフラムDFという



12

3軸加速度センサ動作原理

★加速度が発生するとダイアフラムが変形し、ブリッジ回路の抵抗比に変化をもたらします。このように機械(メカ)の変位量を⇒電気変換する事により、アナログ的に加速度の大きさを現すことができます。



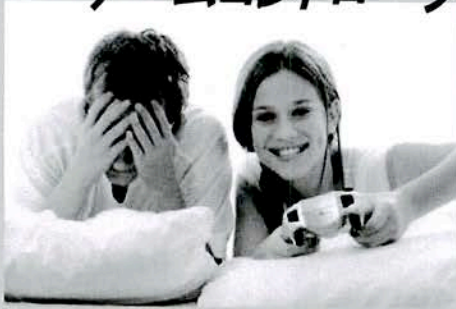
13

3軸加速度センサの アプリケーション事例



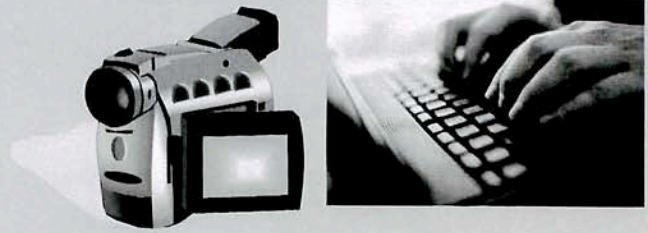
14

3軸加速度センサ アプリケーション
ゲームコントローラ



ユーザインターフェイス

HDDプロテクション



盗難防止装置



ドライブレコーダ

3軸加速度センサ アプリケーション事例

■タッピング

タッピングすることでModeやMenu
 の切換えに有用



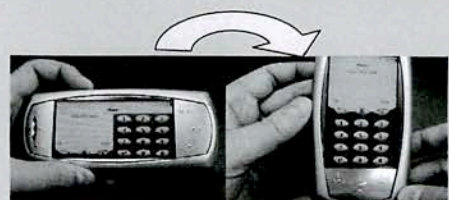
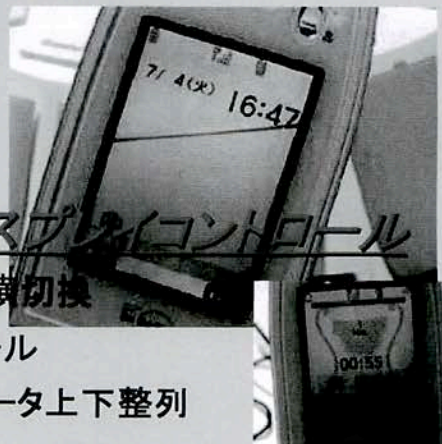
■ゲームコントロール

加速度センサにより傾斜
 を検出し、ゲームのキャラ
 クタを制御



■ディスプレイコントロール

- 画面縦横切換
- スクロール
- 画像データ上下整列



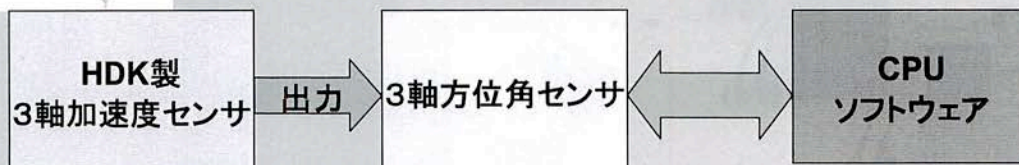
ナビゲーション携帯の デジタルコンパスとの融合



3軸加速度センサにより傾斜角を検知し補正することにより、
水平以外の自由な手持ち姿勢でも正しい方位情報が提供可能

☆Menナビゲーション(自律航法)

- ・デジタルコンパスの傾斜補正
- ・3D(立体)地図表示
- ・歩数計機能
(*デジタルコンパスメーカーとの協業)



17

3軸加速度センサ アプリケーション事例

■歩数計測

歩いたり走ったりした時の振動を検出。

歩数計測やカロリー計算が可能！

携帯電話2機種に搭載。

3軸により精度が高く、カロリー計算も可能！



大手健康機器メーカーの
歩数計に搭載！



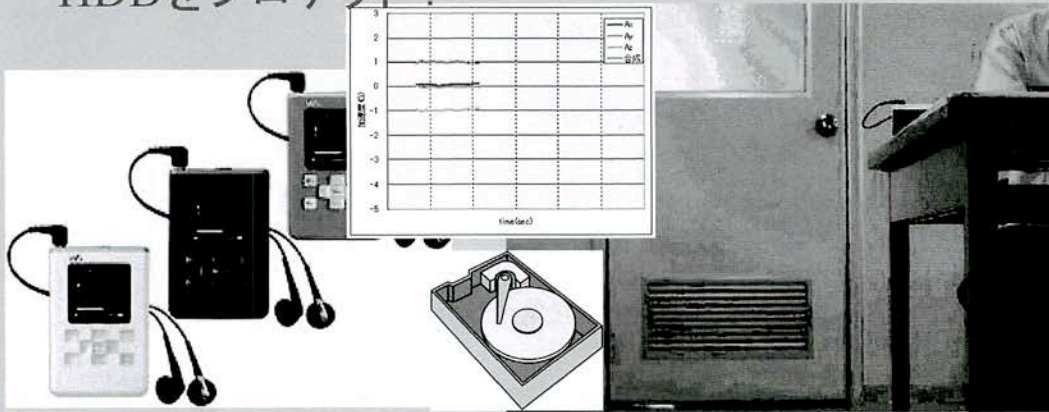
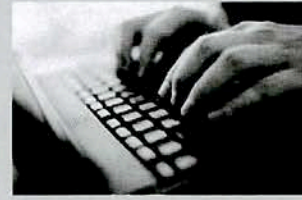
18

3軸加速度センサ アプリケーション事例

■HDD Protection

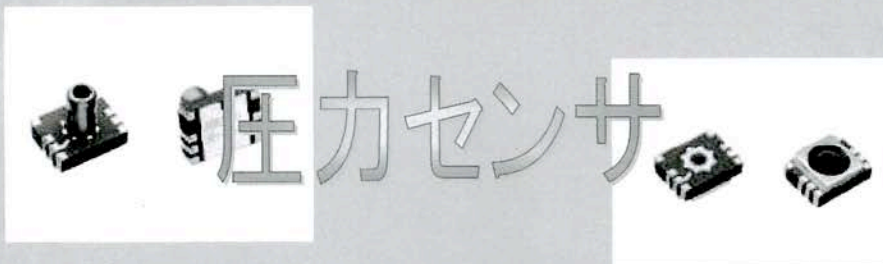
落下検出

落下時の無重力状態を検出し
HDDをプロテクト！



19

他のMEMSセンサ



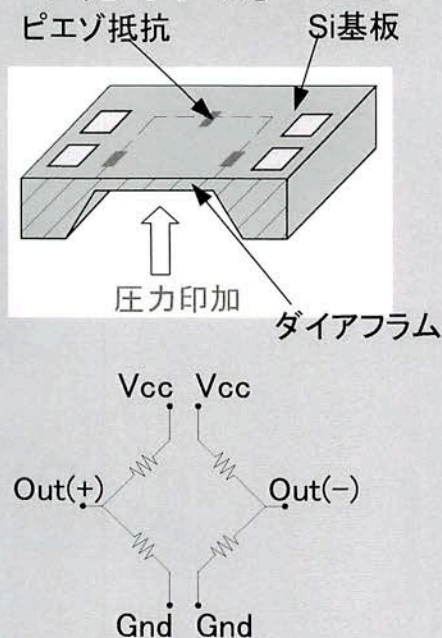
3軸加速度センサの基礎は圧力センサが作った

20

圧力センサ ～動作原理～

右図の様に、エッチングによってダイアフラムを形成したSi基板に圧力が印加されると、ダイアフラムが変形します。

Si基板表面にはピエゾ抵抗が配置されており、4つの抵抗によりブリッジ回路が形成されています。ダイアフラムの変形に応じてこの4つの抵抗が抵抗値変化することによって、中点電圧が変化し、圧力検出が可能となります。



21

圧力センサ ～アプリケーション例～

幅広い用途に

車載用

エンジン制御
ブレーキ制御
エアコン制御
パワステ制御
AT制御

等

産業用

産業用機器
建設機械
プラント
ガスメータ

等

民生用

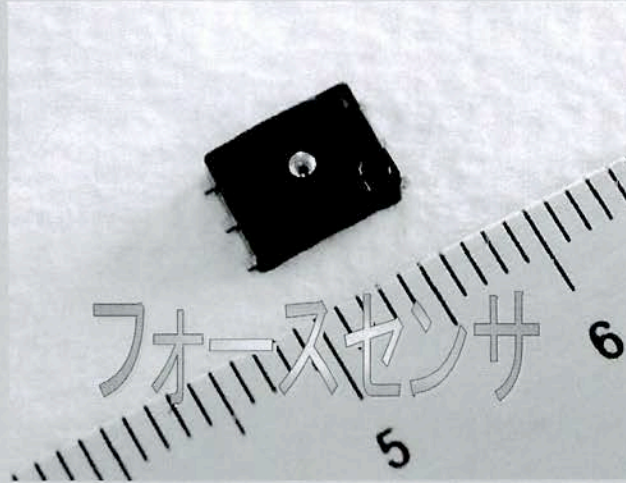
掃除機
洗濯機
エアコン
血圧計

等

ガスメータ用、産業機器、血圧計用に採用実績。
特にガスメータ用では市場シェア70%以上!!

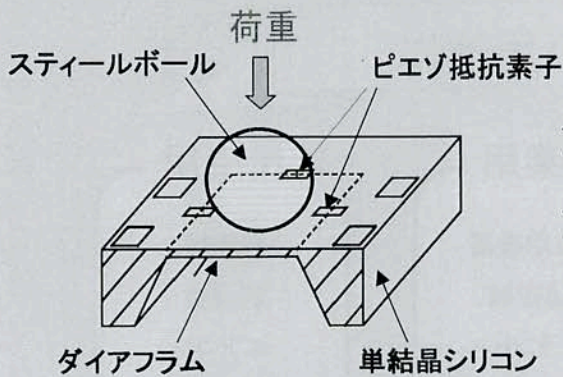
22

他のMEMSセンサ



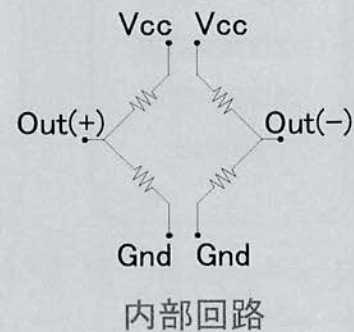
23

フォースセンサ ～動作原理～



スチールボールに加わる荷重でシリコンチップに歪が生じ、ピエゾ抵抗素子の抵抗値が変化します。(ピエゾ抵抗効果)

4つのピエゾ抵抗からなるブリッジ回路が、抵抗比の変化をもたらすことによって、中点電圧差として出力が得られます。

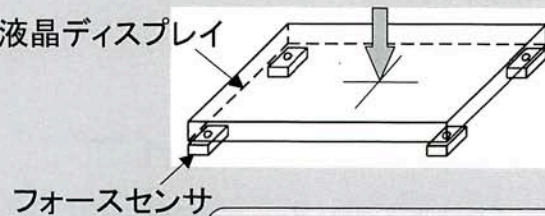


24

フォースセンサ ～アプリケーション例～

- ◆PDA等のタッチパネル
- ◆モバイル機器への多機能SW
- ◆テンションゲージ
- ◆微小荷重計測

※タッチパネルへの応用例



荷重が加わる位置により4個のセンサの出力バランスが変化し、荷重印加座標の検出が可能

25

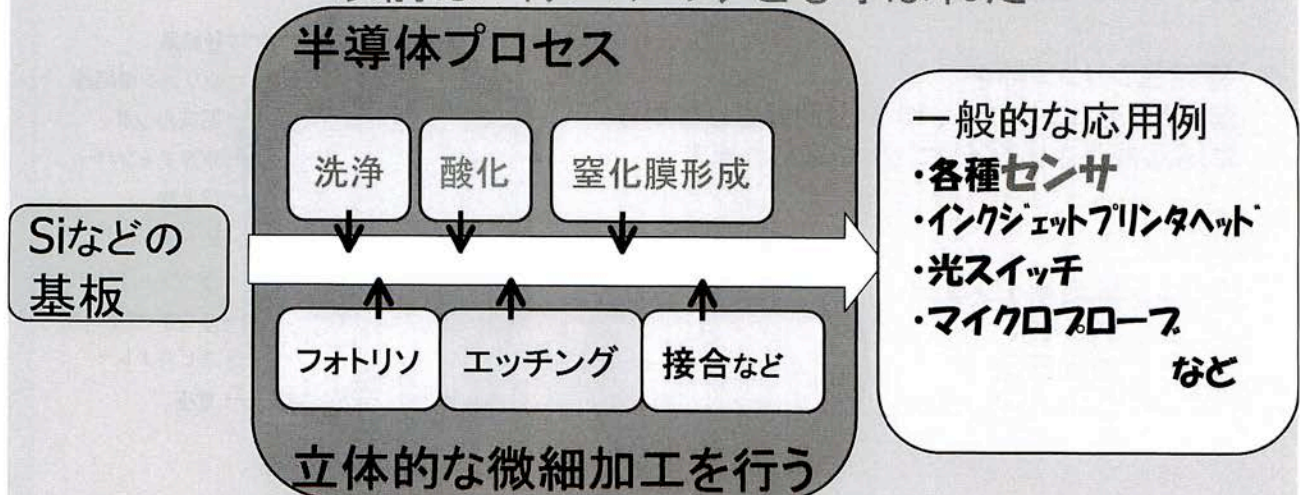
6. どうやってつくるのか

MEMS製品は半導体プロセスの繰り返しで製造する

MEMS: Micro Electro Mechanical System

(微小電気機械システム)

以前はマイクロマシニングとも呼ばれた



26

MEMSの製造プロセス例

どのようなプロセスを使って製造されているのか
感じ取ってくだされば細部は覚えなくてもOKです。

- ウェハー
- 洗浄例
- 酸化処理
- フトリソグラフィ
- イオン注入、拡散処理
- エッチング
- その他

27

シリコンウェハーは以下の方法で製造されたものを購入

チョクラスキー法 (Czochralski = CZ法) と呼ばれる製造方法により製造されるシリコン単結晶を使用しています。(下図参照)

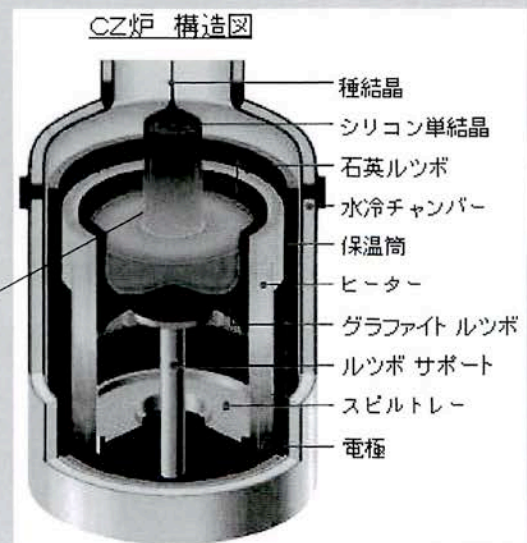
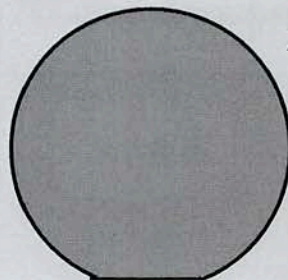
CZ法では、不純物が数ppb以下(1ppb=10億分の1)

多結晶シリコン減量

約1420°Cで溶融します。

種結晶シリコン棒を
溶けたシリコンにつけ、ゆっくり回転させながら
単結晶成長させたインゴットが造られます。

シリコン単結晶インゴット
→ スライス
→ 鏡面研磨
→ シリコンウェハー

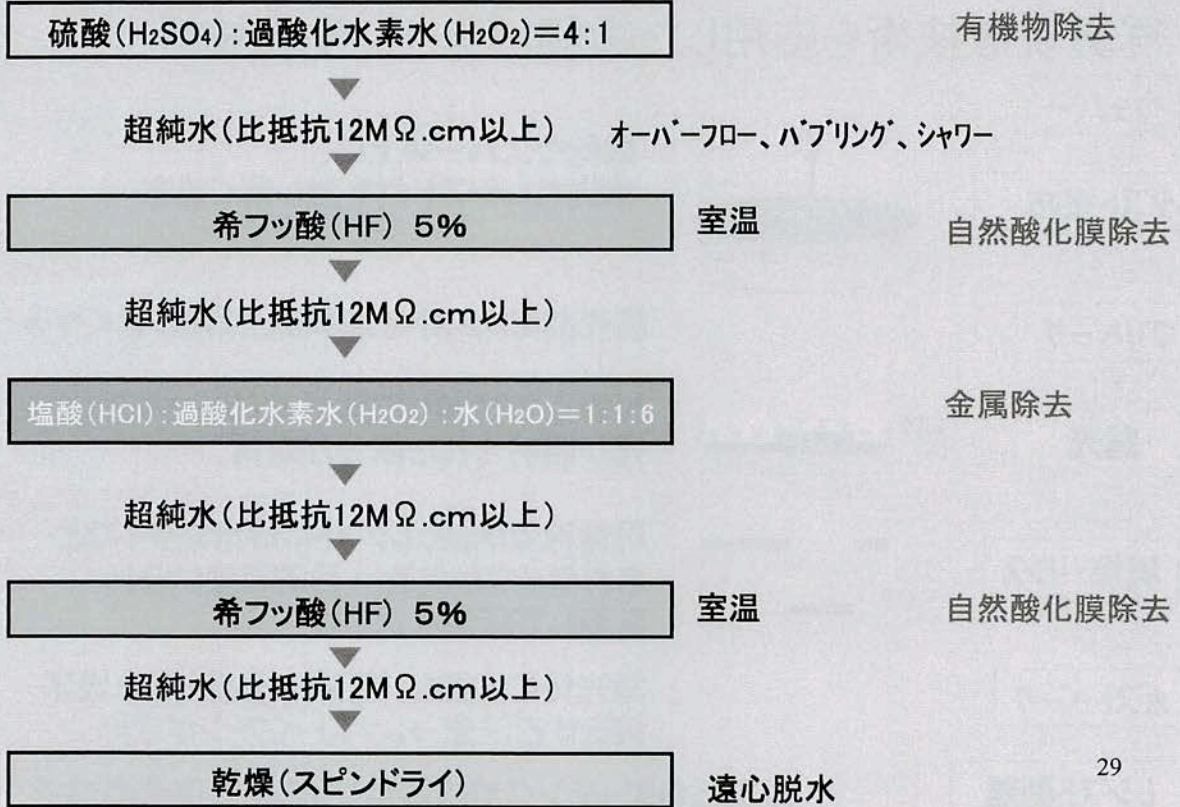


28

洗淨

拡散炉・真空装置などウエハー加工時に使用する洗淨

RCA洗淨法を例に説明



29

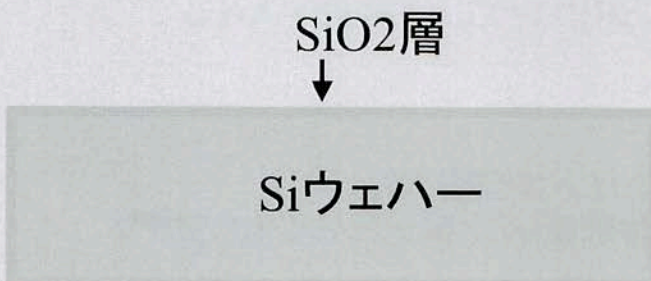
酸化処理工程

～酸化膜形成～

ウエハーを熱処理して表面にSiO₂層を形成

保護膜、絶縁層またはマスキング材として使用

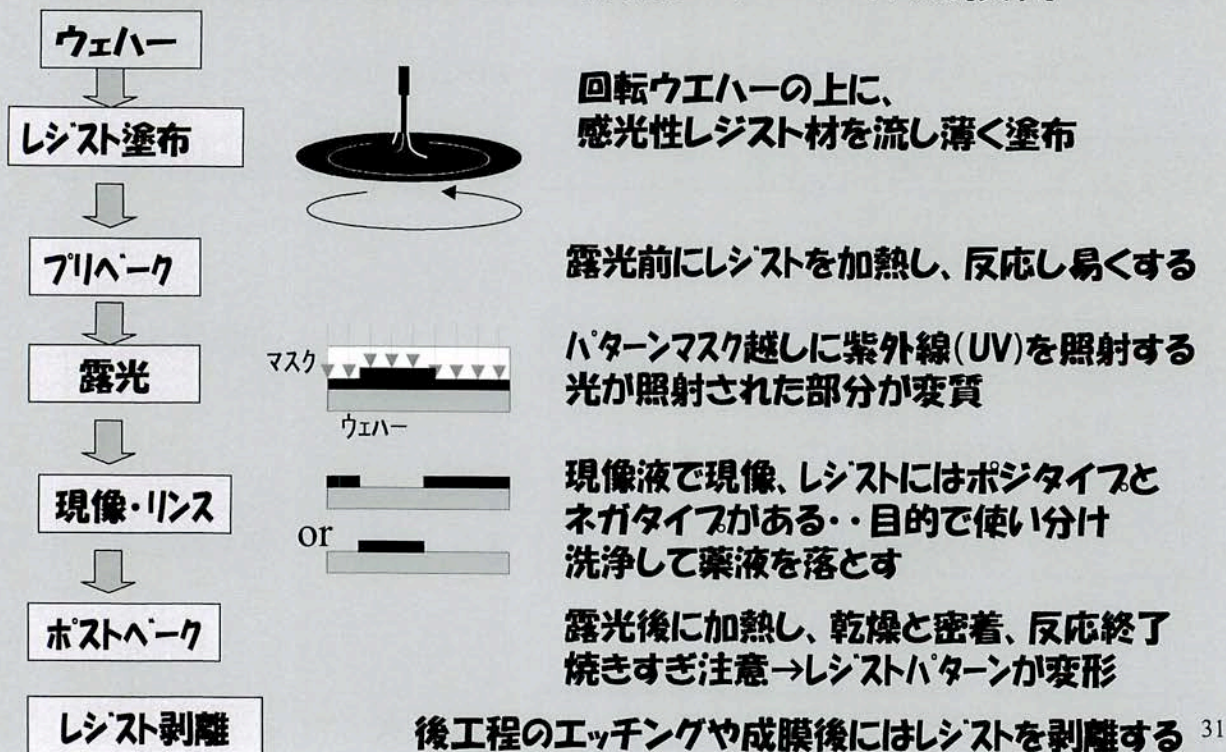
フッ酸(HF)でエッチングされる



30

フォトリソ工程

写真現像技術を応用した微細パターン作成技術



イオン注入、拡散処理

P型、N型の性質を持たせるための、不純物の拡散にはガス中での熱拡散と、イオン注入などの方法がある
これがないとビエゾ抵抗もできない

ここではイオン注入を説明

高エネルギーの不純物イオンをウェハに打ち込むための

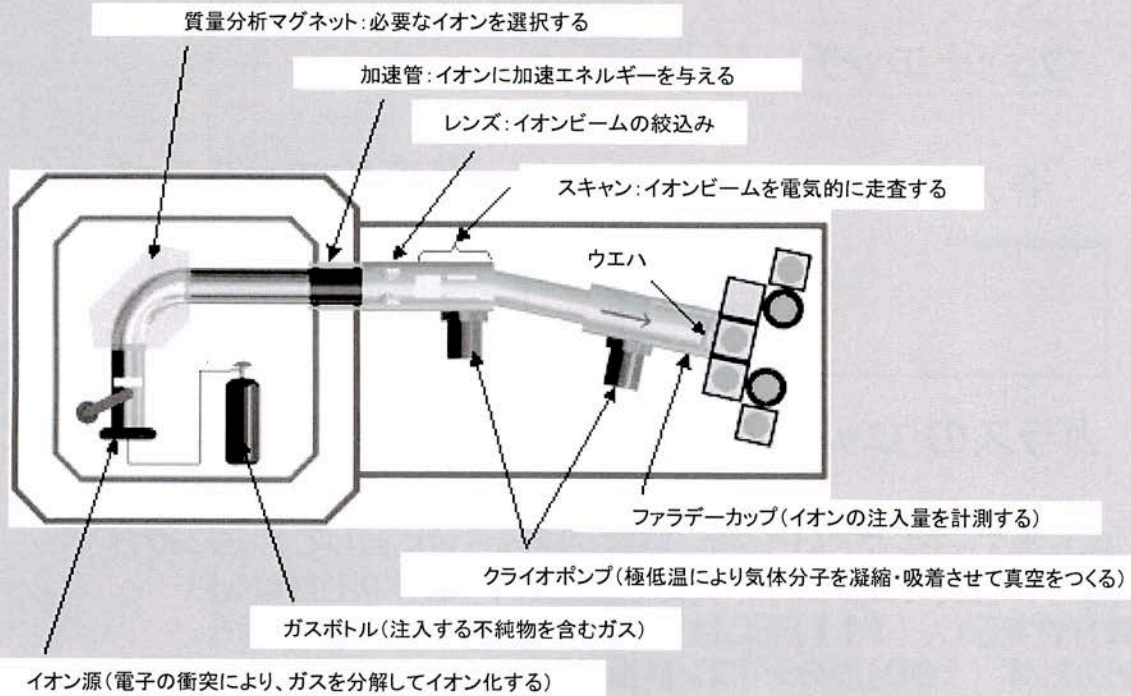
イオン注入装置では発生させたイオン(B:ホウ素 or P:リン)を加速器を通して加速して、シリコンウェハの中に注入する

注入量(ドーズ量)

※シリコンウェハにイオンを注入する際には、シリコン内部の破損または破壊など、構造的な変化も生ずる

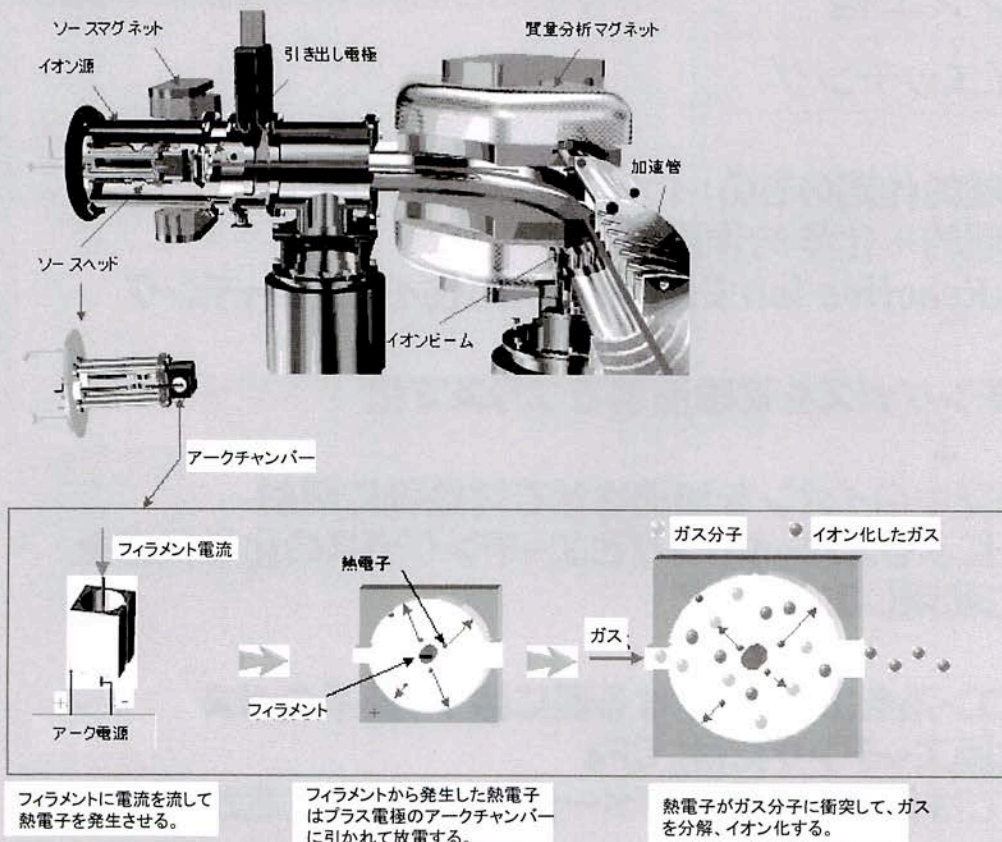
イオン注入説明 1

【装置】詳細



イオン注入説明 2

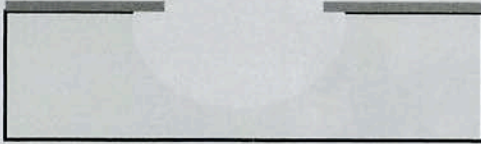
【イオン源】詳細



エッチング工程

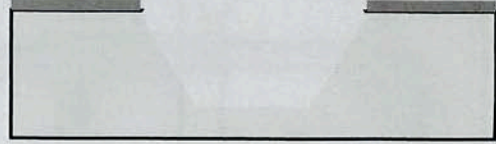
ウェットエッチング

等方性エッチング



ガラスのウェットエッチング

異方性エッチング



SiをKOHでウェットエッチング

異方性エッチングというのは、特定の結晶方位に対してエッチングが進まない性質のことであり、特に水酸化カリウム(KOH)は著しい異方性を示し、(111)面にはエッチングがほとんど進みません。そのため、(100)面のシリコン基板なら約 54° の傾斜を持つ楔型を作成することが出来ます。

35

エッチング工程

ドライエッチング

1. 物理的作用のもの:イオンビームスパッタ

2. 物理的+化学的作用併用

RIE(Reactive Ion Etching)反応性イオンエッチング

エッチングガスを電磁波等でプラズマ化



プラズマ中のイオンを加速させて対象物に照射

イオンによるスパッタリングとエッチングガスの化学反応を同時に利用しエッチング

シリコン系をエッチングする際にはフッ素系のガス

窒化膜エッチングには CF_4

※RIEでは他の部分へのダメージ、腐食など注意が必要

36

その他

その他の工程としては

- ・チッ化シリコン膜を成膜する工程：
保護膜やマスク層として形成
LP-CVD装置を使用
- ・電極や配線などに様々な金属膜を蒸着する工程：
Al, Cr, Ni, Ti, Au, Ptなど
EB蒸着装置などを使用

37

ご清聴
ありがとうございました。

38

「偏光板と液晶ディスプレイ」

(株)サンリツ 光機事業部

佐藤 智紀 氏



リフレッシュ理科教室

「真空と光が拓く未来の世界」

偏光板と液晶ディスプレイ

2008年8月22日

株式会社サンリッツ

技術グループ

佐藤 智紀

August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

1/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



プレビュー

0. Introduction

株式会社サンリッツ
会社紹介

1. 偏光板とは

偏光板の歴史
基礎原理
構造・製造工程
用途

2. 液晶ディスプレイ(LCD)とは

LCDの構造・基礎原理
LCDの特徴
液晶駆動方式
LCDに対する偏光板の役割(デモ)

3. 偏光板に求められる特性

位相差板による光学補償

August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

2/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



プレビュー

0. Introduction

株式会社サンリツ
会社紹介

1. 偏光板とは

偏光板の歴史
基礎原理
構造・製造工程
用途

2. 液晶ディスプレイ(LCD)とは

LCDの構造・基礎原理
LCDの特徴
液晶駆動方式
LCDに対する偏光板の役割(デモ)

3. 偏光板に求められる特性

位相差板による光学補償

■ August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

3/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



会社概要

- 設 立 : 1939年12月
- 資 本 金 : 14億4,244万円
(2008年3月31日現在)
- 従業員数 : 779名 (2008年3月31日現在)
- 事業項目 : ① 光機事業
② 通信事業

■ August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

4/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



弊社の事業項目

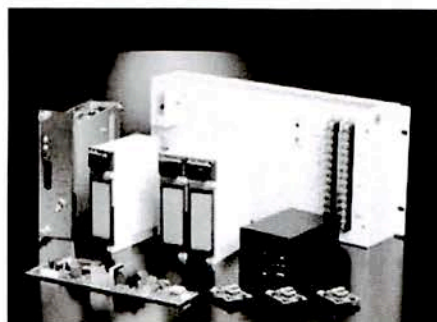
• 光機事業部 【液晶業界】

- …偏光板
(光学機能フィルム)



• 通信事業部 【通信業界】

- …アンテナ・電源装置



August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

5/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



沿革

- | | | | |
|------|----------------------------------|------|---|
| 1939 | 日本変圧器工業株式会社を設立 | 1986 | ハイコントラスト系偏光板を開発、量産開始 |
| 1945 | 商号を三立電機株式会社と改称 | 1989 | 商号を株式会社サンリッツと改称 |
| 1947 | 逓信省の中継線輪指定メーカーとなる | 1990 | NTT向遠隔切分け機能付保安ユニットの量産を開始 |
| 1955 | トランスタラジオの開発・製造に着手 | 1995 | 視野角拡大、高コントラスト用位相差フィルム付偏光板を共同開発、量産開始 |
| 1956 | クロスバー交換機用各種線輪の製造開始 | 2001 | 反射・半透過カラー液晶用位相差フィルム付プラスチック偏光板を共同開発、量産開始 |
| 1959 | プラスチック偏光板の開発に着手 | 2002 | 韓国に関係会社設立 |
| 1963 | プラスチック偏光板の開発に成功し、成増工場にて世界初の生産を開始 | 2003 | 富山工場に第4工場増設
トランス事業からの受注・製造・販売撤退 |
| 1964 | トランスタラジオ、1モデルで100万台の輸出達成 | 2006 | 入善工場建設、増産体制の強化を図る |
| 1979 | 耐久性偏光板、多色偏光板などの新製品を開発 | | |

August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236


5/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.




各拠点

TV、モニタ用偏光板 生産工場




富山工場

技術グループ



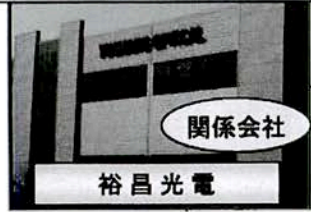
入善工場

モバイル、車載、サングラス用偏光板 生産工場




藤岡工場

韓国大手LCDメーカー向け加工工場




関係会社
裕昌光電

川越工場



通信事業部

本社

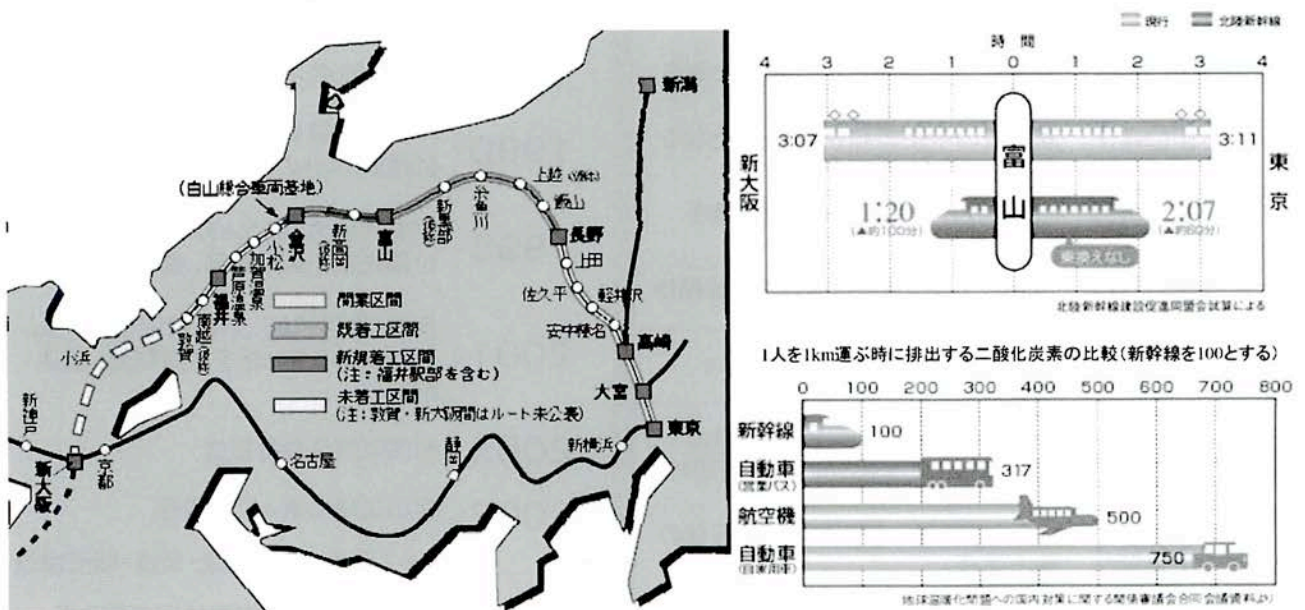


August 8, 2008
SANRITZ
EP96-236
7/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



北陸新幹線(長野⇄金沢間平成26年度末開業)



August 8, 2008



EP96-236

8/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



プレビュー

0. Introduction

株式会社サンリツ
会社紹介

1. 偏光板とは

偏光板の歴史
基礎原理
構造・製造工程
用途

2. 液晶ディスプレイ(LCD)とは

LCDの構造・基礎原理
LCDの特徴
液晶駆動方式
LCDに対する偏光板の役割(デモ)

3. 偏光板に求められる特性

位相差板による光学補償

August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

9/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



偏光板の歴史

• 偏光の発見

1690年、オランダの科学者Christian Huyghens氏により、偏光の現象が発見される。

• 偏光子の作製

1928年、Polaroid社の創設者であるEdwin H.Land氏が初めて作製し、1937年に偏光サングラスの販売を開始した。

• 液晶ディスプレイへの応用

1960年台から液晶の応用研究が始まり、ディスプレイ用の偏光板の開発も活発になっていった。現在の偏光板はEdwin H.Land氏が提案・発明したヨウ素型偏光板が起源となる。

August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

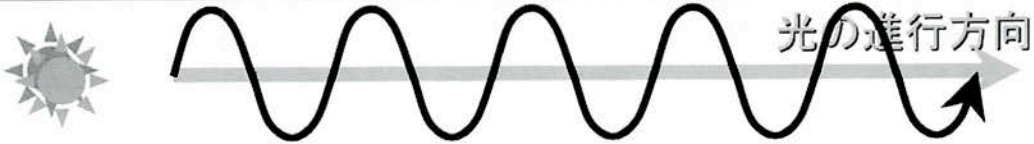
10/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.

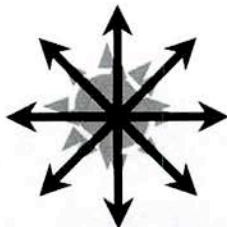


光

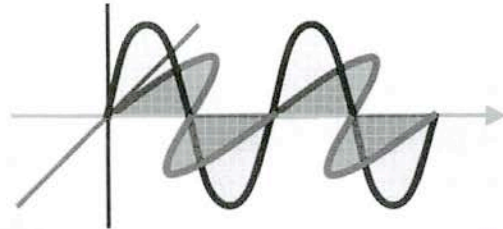
偏光を考える上で必要な光の概念



進行方向に垂直に振動する波です



a. 自然光(ランダム偏光)



b. 偏光(青:縦の振動、赤:横の振動)

August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

11/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.

偏光の発現

※図はイメージです

偏光板の作用

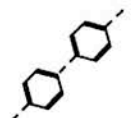
あらゆる方向に振動している光(自然光)から、透過軸と同一方向に振動している光(偏光)を取り出す

偏光素子の代表種

ヨウ素錯体

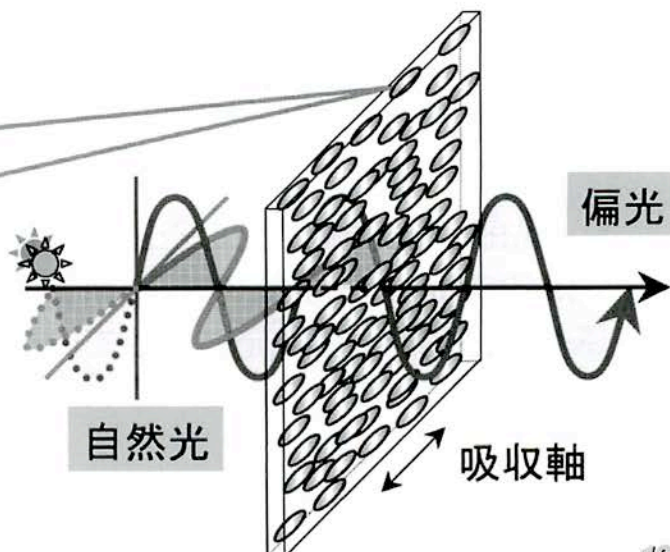


二色性染料



or

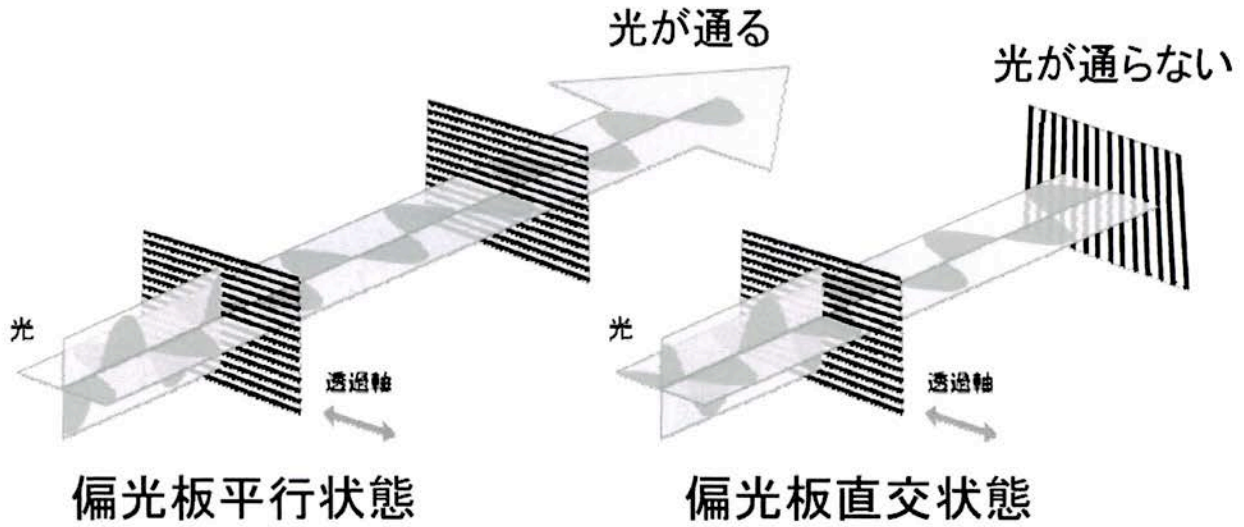
電子密度の異方性がある素子を一様に配向させることで、配向方向に振動する光を吸収させる



12/27



光学シャッター



お配りした偏光板を回してみてください

August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

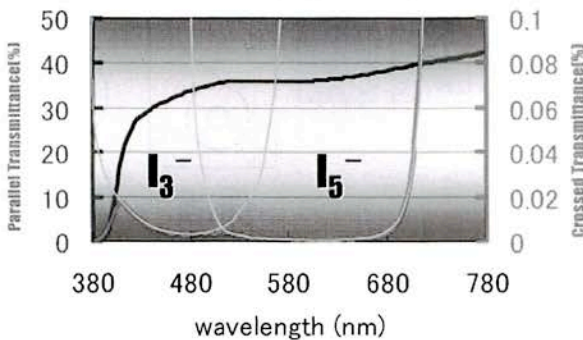
13/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



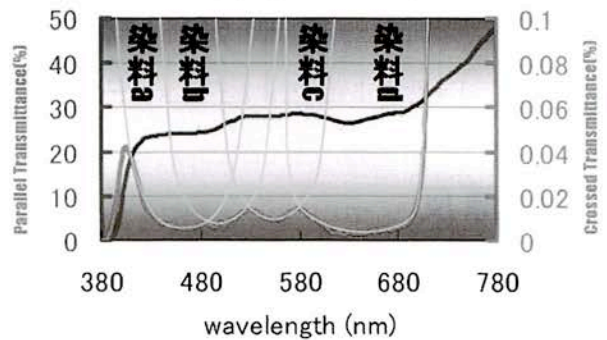
偏光板の光学(吸光)特性

ヨウ素系偏光板



- ヨウ素が錯体を構成して吸光素子となり、錯体の長さに応じた波長の光を吸収する

染料系偏光板



- 二色性染料が吸光素子となり、各々の波長の光を吸収する

※図はイメージです

August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

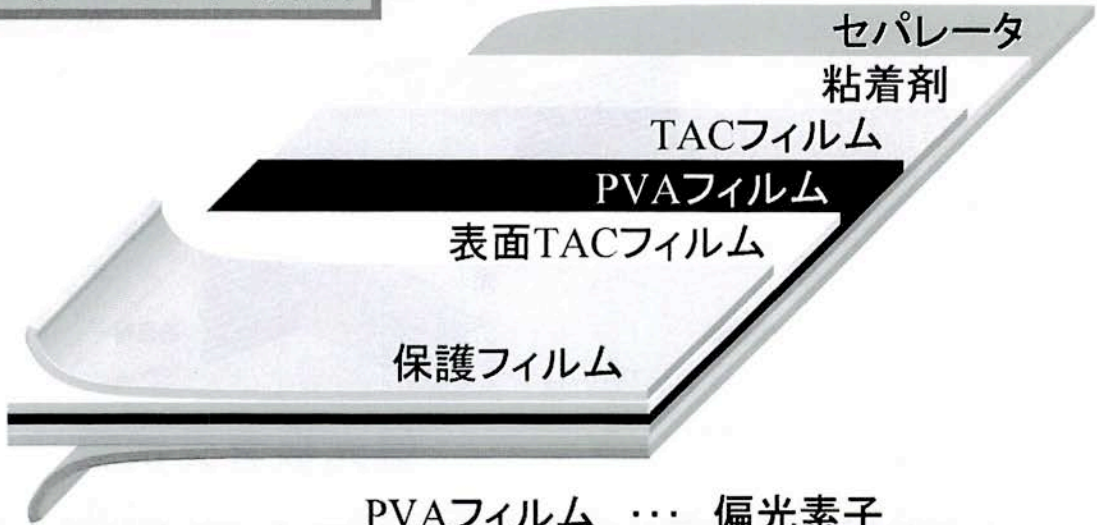
14/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



構造

偏光板の基本構成



PVAフィルム … 偏光素子
TACフィルム … 偏光素子の支持体

August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

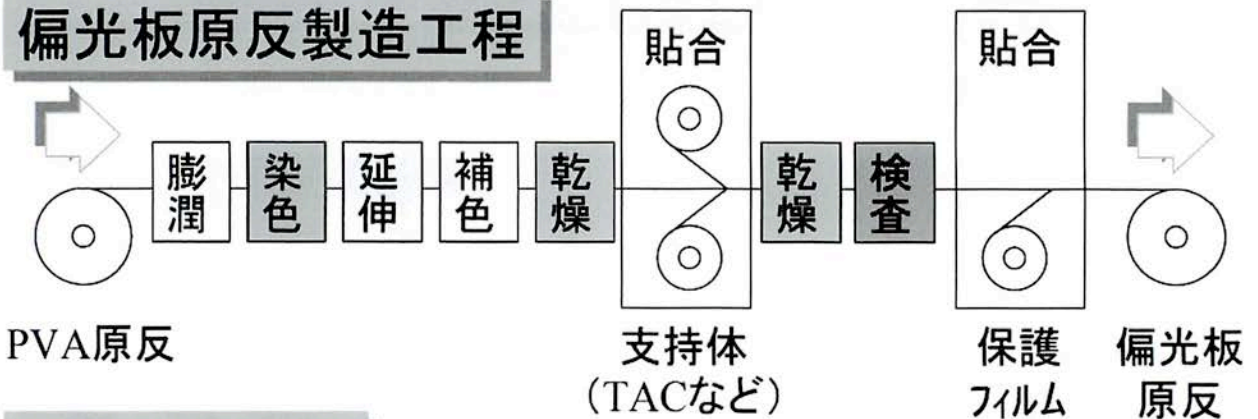
15/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.

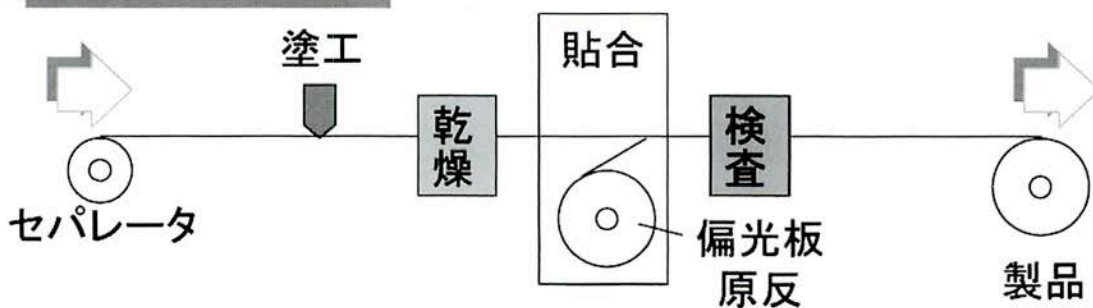
製造工程

※図はイメージです

偏光板原反製造工程



粘着塗工工程

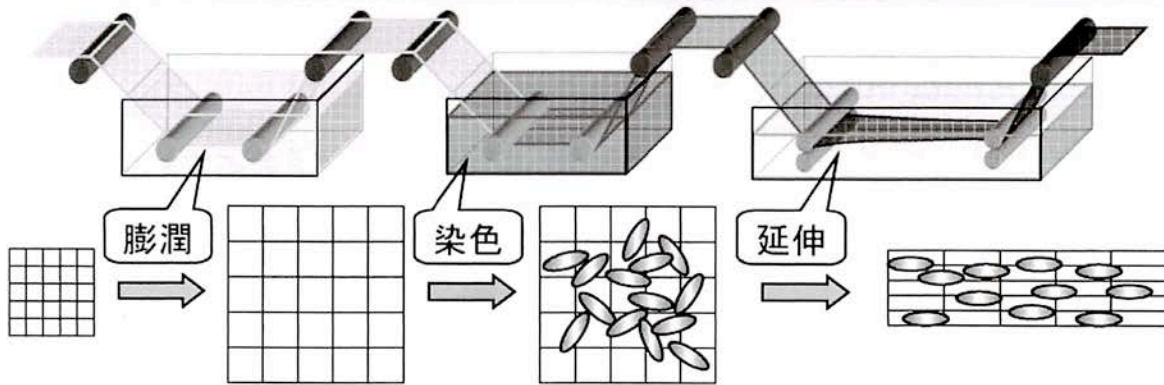


15/27



偏光性能の付与工程

※図はイメージです



膨潤工程により、染色性、延伸性を付与

二色性物質をPVAに吸着させる

二色性物質を高度に配向させる

二色性物質を吸着、延伸配向させることで偏光性能を付与する

August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

11/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



サン



携帯電話

August

18/31

orp. All Rights Reserved.



プレビュー

0. Introduction

株式会社サンリッツ
会社紹介

1. 偏光板とは

偏光板の歴史
基礎原理
構造・製造工程
用途

2. 液晶ディスプレイ(LCD)とは

LCDの構造・基礎原理
LCDの特徴
液晶駆動方式
LCDに対する偏光板の役割(デモ)

3. 偏光板に求められる特性

位相差板による光学補償

August 8, 2008

SANRITZ

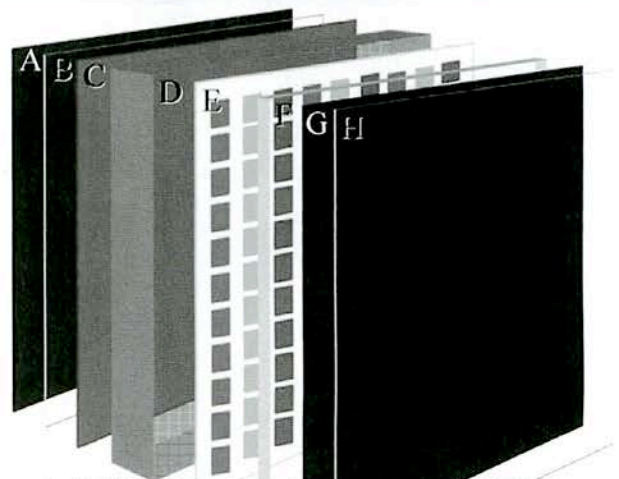
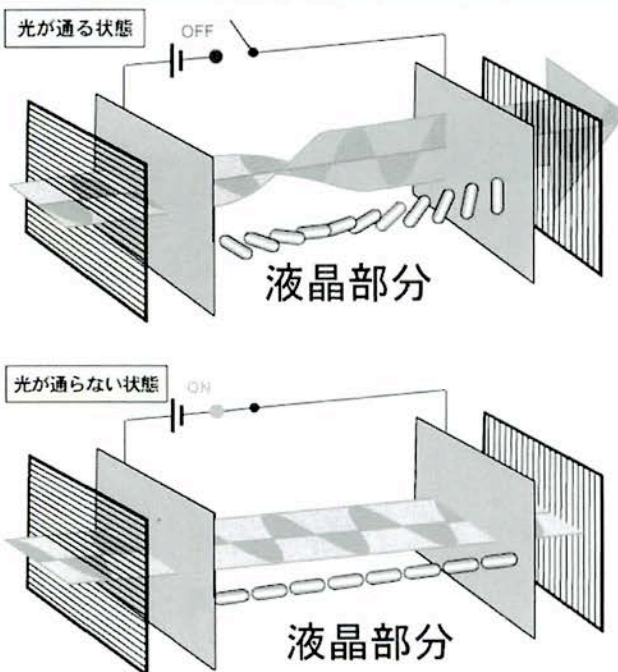
EP96-236

19/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



LCDの構造と基礎原理



A:偏光板、B:ガラス、C:TFT
D:液晶分子層、E:カラーフィルタ
F:ガラス、G:偏光板
H:ディスプレイ表面

August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

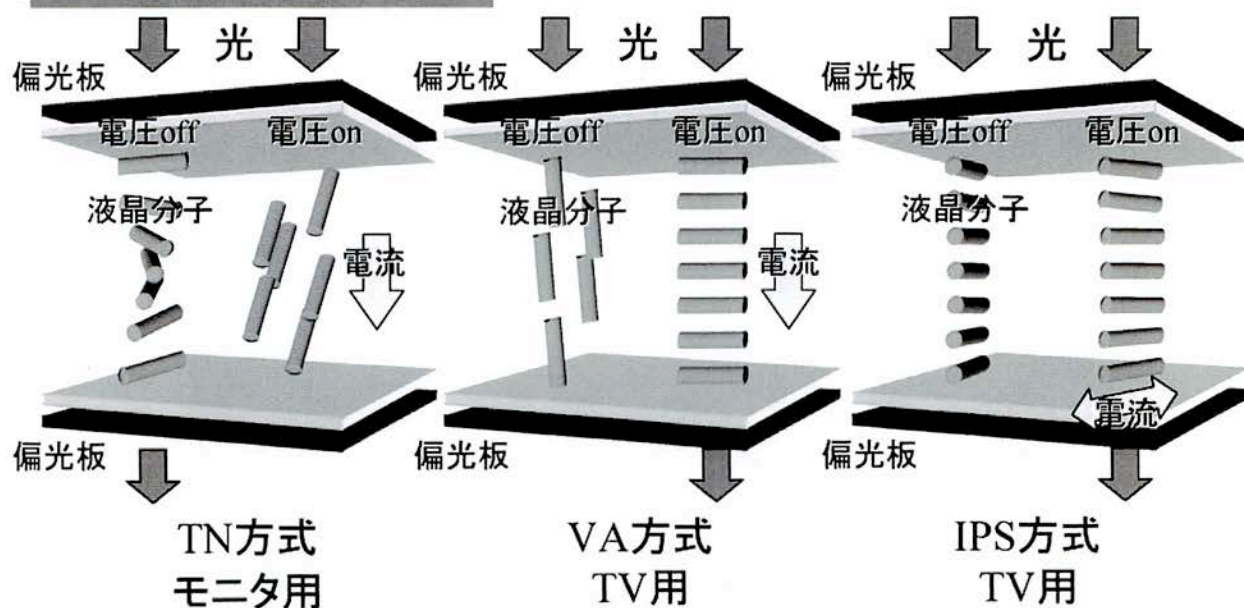
20/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



液晶駆動方式

液晶駆動方式と用途



August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

21/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



フラットパネルディスプレイ(FPD)比較

	LCD	PDP	CRT	OLED
消費電力	○	△	△	◎
応答時間	○	◎	◎	◎
大画面化	○	○	×	×
視野角	○	◎	◎	◎
寿命	◎	×	○	△
コスト	△	△	◎	×
薄さ	◎	○	×	◎

LCDの市場価値は非常に高い

August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

22/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.

LCDに対する偏光板の役割(デモ)



お手持ちの偏光板をかざして見てください。

August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

23/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



プレビュー

0. Introduction

株式会社サンリッツ
会社紹介

1. 偏光板とは

偏光板の歴史
基礎原理
構造・製造工程
用途

2. 液晶ディスプレイ(LCD)とは

LCDの構造・基礎原理
LCDの特徴
液晶駆動方式
LCDに対する偏光板の役割(デモ)

3. 偏光板に求められる特性

位相差板による光学補償

August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

24/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



偏光板に求められる特性

- 偏光素子
 - 光学特性(二色性、吸光波長の平坦化など)
 - 耐久性(カーナビの使用環境の耐性など)
- 粘着
 - 接着特性(過酷環境下で剥がれない)
 - リワーク性(エラーセルから偏光板を剥がす)
 - 偏光板寸法変化応力の緩和
- 位相差板
 - 位相差の最適化によるLCD視野角特性向上
- 表面
 - 光学特性(映りこみ、ギラツキ、黒さ)

August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

25/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



偏光板に求められる特性

- 偏光素子
 - 光学特性(二色性、吸光波長の平坦化など)
 - 耐久性(カーナビの使用環境の耐性など)
- 粘着
 - 接着特性(過酷環境下で剥がれない)
 - リワーク性(エラーセルから偏光板を剥がす)
 - 偏光板寸法変化応力の緩和
- 位相差板
 - 位相差の最適化によるLCD視野角特性向上
- 表面
 - 光学特性(映りこみ、ギラツキ、黒さ)

August 8, 2008

SANRITZ

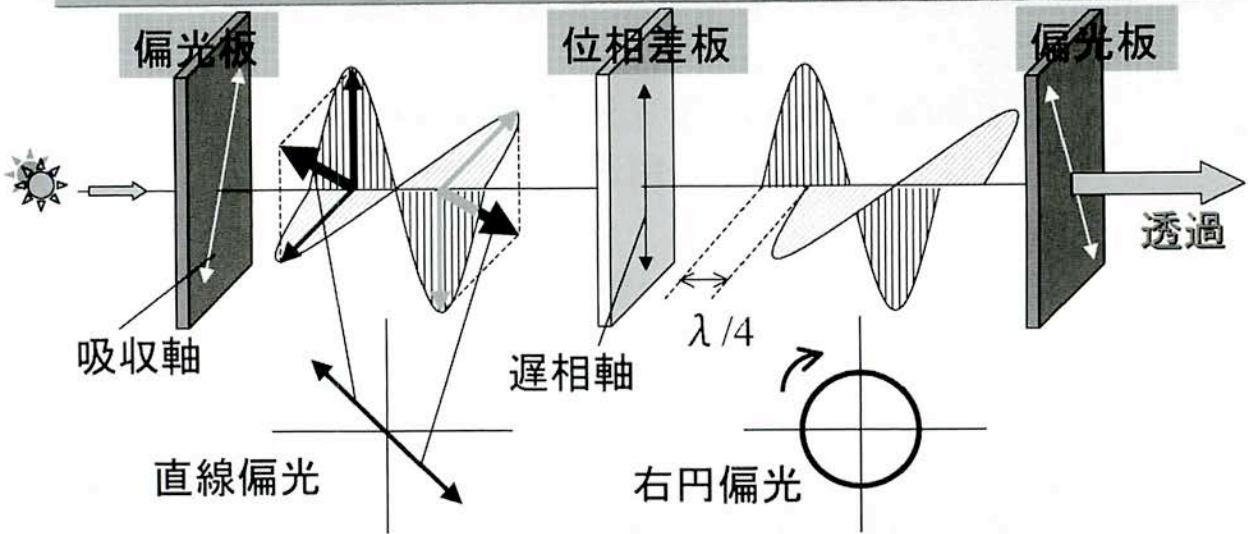
EP96-236

25/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



偏光状態の変化



吸収軸が直交する二枚の偏光板の間に位相差板を吸収軸角度とずらして入れると、光が透過する

August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

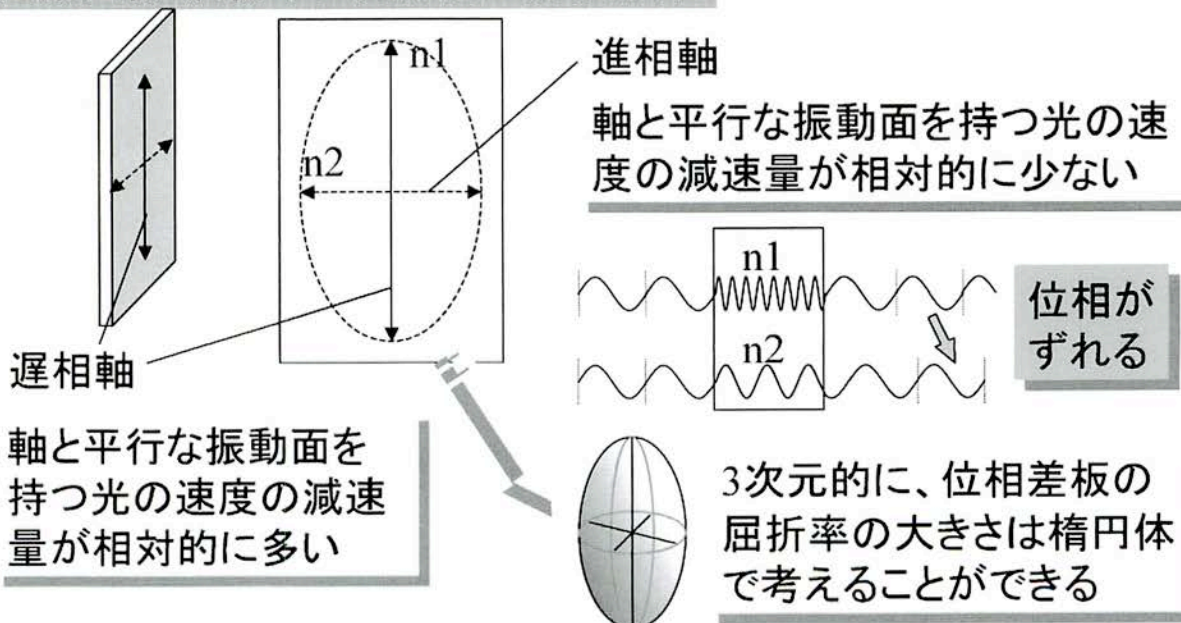
27/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.



位相に差が生じる原理

位相差板: 屈折率に異方性がある材料



August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

28/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.

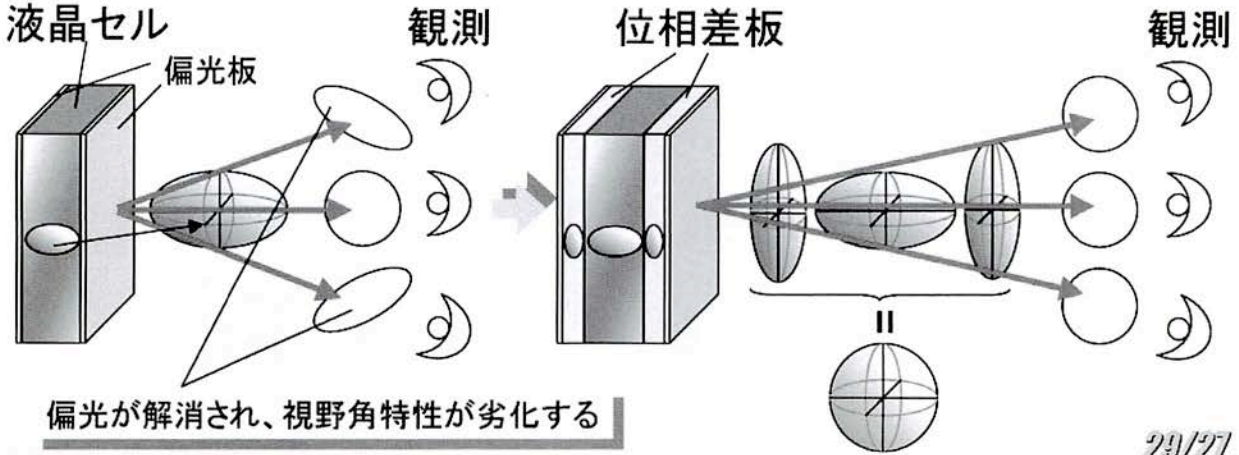
光学補償

LCDの視野角コントラスト低下

● 主要因
液晶の位相差

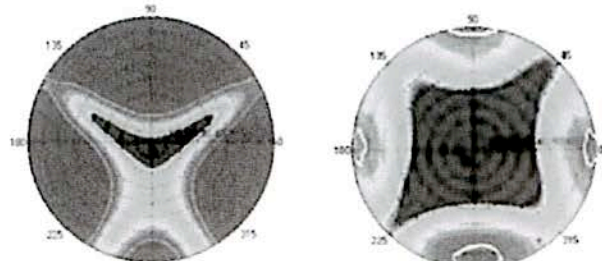
● 改善手法
位相差板で液晶の
位相差を打ち消す

液晶の位相差補償(VA)



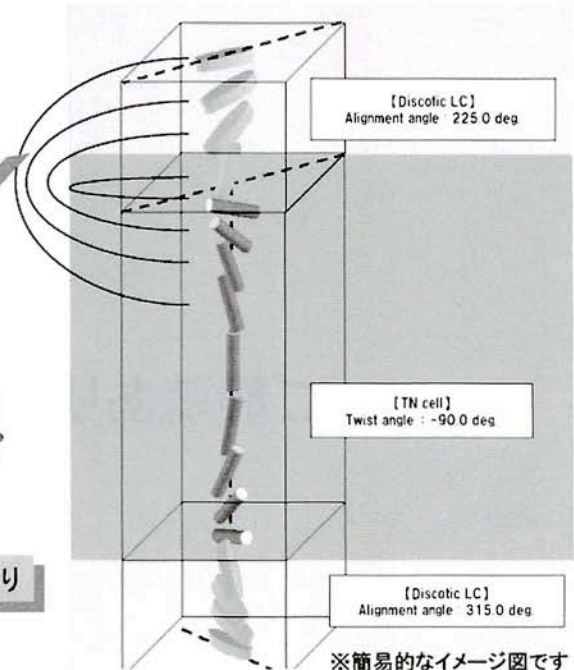
TN液晶の視野角補償

液晶のHybrid配向に対し、
ディスク状の液晶をフィルム
上でHybrid配向させ、視野
角を補償する



視野角向上フィルム無し 視野角向上フィルム有り

視野角改善効果



位相差板による視野角改善効果(デモ)



視野角を振ると...

□ August 8, 2008

SANRITZ

EP96-236

31/31

Copyright (C) 2005 SANRITZ corp. All Rights Reserved.

END

ご静聴ありがとうございました

リフレッシュ理科実験 「光の世界」

- ① 光の不思議 レーザ光が曲がる回折実験
- ② 光の不思議Ⅱ 虹が見える、縞が見える
- ③ 偏光の不思議 見えたり見えなかったり
- ④ 音波の世界 音の波を筒に閉じ込める
- ⑤ 光でコピーする 光による写真製版の技術

光って？

光とは、電磁波の一種であり、主に可視光線のことを指すが、広義には赤外線、紫外線、さらにX線、γ線までも含むことがある。光は波動性と粒子性の二重性を持ち、波動であることを強調する場合は光波、粒子であることを強調する場合は光子と呼ばれる。

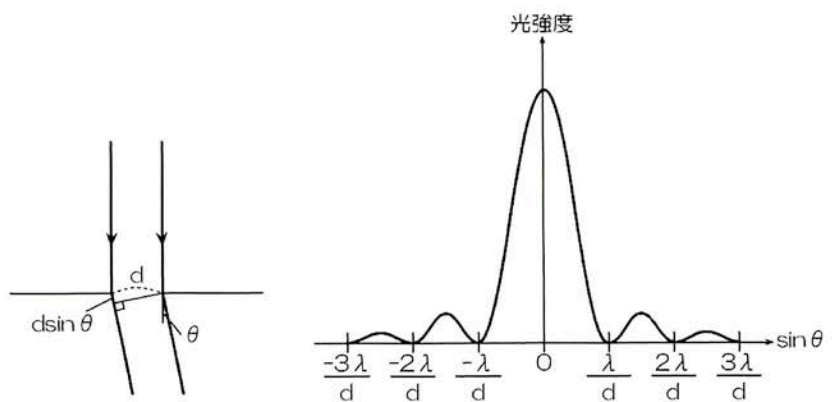
光の不思議① 一回折

波の進路に障害物があるときには、波は直進せず、幾何学的な陰の場所にも波が回り込みます。この現象を回折といいます。回折現象は、波長が障害物や障害物にあいた孔の大きさと同じかそれより長いときに著しく起こります。

—実験—

レーザー光をスリットを通して観察してみる。

入射光線が幅dのスリットに垂直に入射すると、光が直進するのならば $\theta=0$ 以外の方向には光は進まないはずであるが、図に示すように、 $\theta \neq 0$ の方向でも光の強さ $I(\theta)$ は0ではありません。つまり、光の回折が起こります。入射光がレーザーのような波長 λ の単色光の場合、スリットから遠く離れたスクリーン上での光の強さは次のようになります。

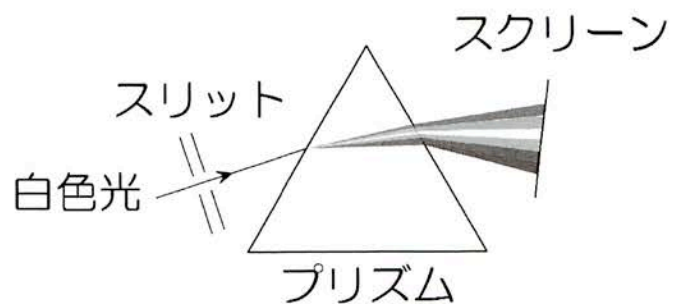


$$I(\theta) \propto \frac{\sin^2(\pi d / \lambda \cdot \sin \theta)}{(\pi / \lambda \cdot \sin \theta)^2}$$

これはスリットの幅dが小さくなるほど回折が大きくなることを示しています。また、スリット幅dと光強度の θ 依存性から、レーザー光の波長を求めることが出来ます。

光の不思議② 光の分散

ガラスや水の屈折率は、光の波長によってわずかではあるが異なっていて、波長の短い光ほど屈折が大きい。これが虹の外側が赤で内側が青となる理由です。図のように、白色



光をスリットを通してプリズムにあてて屈折させ、出てきた光をスクリーンにあてると、小さく屈折した方から順に色模様が生じます。可視光の波長は 380~780 nm です。

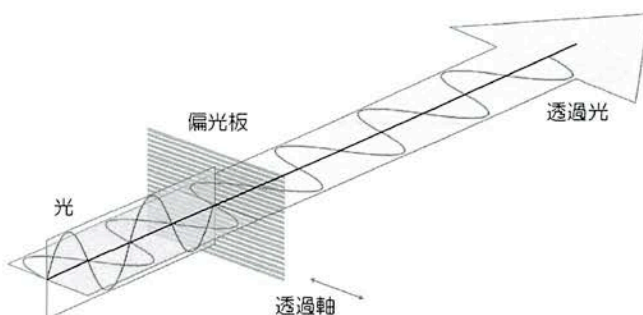
—実験—

プリズムを通した白色光を分光器でスペクトルを観察してみる。

プリズムによる光の分散はよく知られていますが、色と波長の関係を確認してみます。一般に虹の色は太陽光の分散ですが、色としては赤、橙、黄、緑、青、藍、紫の七色とされています。各色の波長をスペクトルから観察します。

偏光の不思議

偏光とはある特定の方向にだけ電場ベクトルの振動する光のことである。直線偏光、楕円偏光、円偏光がある。直線偏光板を用いた例として、サングラス、液晶ディスプレイなどがある。



—実験—

偏光板を通して、光を見してみる。

サングラスをかけて池を眺めると反射光が消え、池の中がよく見えます。これは反射光が水平方向の偏光であることから、サングラスが水平方向の偏光を遮断しているためです。また、液晶ディスプレイを偏光板を通して見ると、偏光板の回転により表示が見えたり見えなかったりします。これは液晶ディスプレイの表面に偏光板が貼ってあるためです。

偏光フィルム(以下偏光板)を2枚重ねて外の景色を見てください。1枚の偏光板を動かさずに、もう1枚の偏光板をゆっくり回すと、2枚重なった部分が角度によって真っ暗になったり元に戻ったりします。

2枚の偏光板を重ねて真っ暗にした状態で、セロハンテープを間に挟むと通らないはずの光が通ります。これは、セロハンテープを通る間に、偏光の向きが曲げられるからです。そして、ねじ曲げられる角度が、セロハンテープの厚さや貼り方によって違ってきます。このような現象を「複屈折」といいます。複屈折の代表例には、方解石があります。方解石の結晶板で字を見ると二重に見えるのは、光が方解石の中を通る間に、2つの屈折光になるからです。さて、光の色の違いは光の波長の違いなので、セロハンテープを通過する間に、偏光の向きが何度ねじ曲げられるかは、実は光の波長によって違ってきます。例えば、赤い光は第2の偏光板を通過できるが、緑色の光は通過できない場合、その部分は赤く見えることになります。

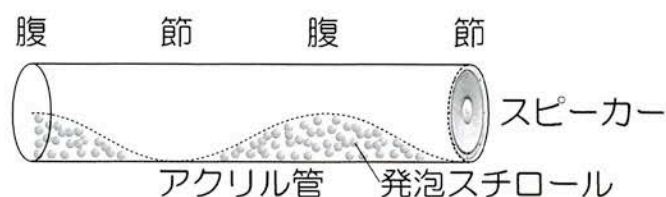
音波の世界

音波とは空気、水などの媒体中を伝わる振動波のことです。この波動が耳に達すると、音を感じます。広義には、音として聞くことのできない超音波も含めます。

—実験—

音の波を目で確認してみる。(クントの実験)

スピーカーから出る音の振動数が、管内の気柱の固有振動数に合致したときに、管内の気柱が共鳴し、腹に位置する発泡スチロール粉が舞い上がります。この場合、両端は固定端になるので、中央に腹が1つできるのが基本振動、腹2つが2倍振動……となります。



光でコピーする —フォトリソグラフィ—

フォトリソグラフィは今日の高度情報化社会をハード面から支えている集積回路(IC)のプロセス技術です。リソグラフィとは、マスクの幾何学的模様(パターン)を、半導体ウェハ等の上につけた感光性材料(レジスト)に転写する技術のことです。半導体素子の製造においては、フォトリソグラフィは次のように行われます。半導体ウェハ上にフォトレジストと呼ばれる感光性有機物質を塗布し、ステッパーと呼ばれる露光装置を用いて、レチクルと呼ばれるフォトマスクに描かれた回路のパターンを焼き付けます。以下に工程例を示します。

①フォトレジストコート

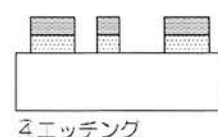
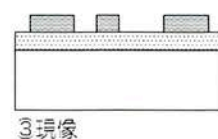
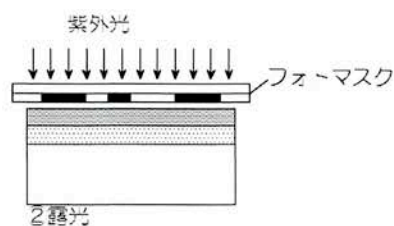
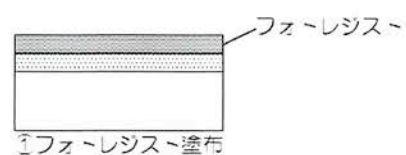
基板上に、レジストと呼ばれる溶液を、スピンコーターなどによって塗布します。レジストは光によって反応する化学物質を溶媒に溶かしたもので、感光した部分が溶解する「ポジ型」と、感光した部分が残る「ネガ型」があります。塗布したレジストを加熱し、レジストを固化します。

②露光

レジストに光を照射して反応させます。このとき、回路図の形状を描いたマスクを用い、光を照射する部分を制御することで必要な形状をレジスト上に転写します。

③現像

露光したウェハを現像液に浸し、余分な部分のレジストを除去します。この過程ではじめて回路図のパターンがウェハ上に現れます。



④エッチング

ウェハに単に凹凸を付けたい場合、あるいは元々ウェハ上にパターンが作製されていた場合などは、エッチングによって不要な部分を除去します。その後、フォトレジストを除去します。

—実験—

フォトリソグラフィ工程を体験してみる。

本来、IC 製造のリソグラフィにはクリーンルームは不可欠です。空気中のゴミがシリコンウェハやリソグラフィのマスクに付着すると、デバイスに欠陥が発生し、回路が完成されません。例えば MOS トランジスタのゲート酸化膜にゴミが取り込まれると、短絡箇所を作り、低耐圧による動作不良を引き起こします。クリーンルームの性能を示す指数として「クラス」という単位が用いられます。これは 1 立方フィート(ft^3) (1 ft は 12 inch)中に存在する、直径 $0.5 \mu\text{m}$ 以上の大きさのちり粒子の総数をいいます。クラス 100 といえは、そのようなちり粒子（正確には、ちりの大きさを $0.5 \mu\text{m}$ として換算した数）が 100 個存在することです。通常の部屋ではクラス数十万～数百万で、かなり“ちり”が多い環境といえます。

参考文献

原康夫著：第 3 版 基礎物理学、学術図書出版 (2006)。

古川静二郎、浅野種正：超微細加工入門、オーム社 (1989)。

主催 社団法人応用物理学会

後援 富山県教育委員会

富山市教育委員会

富山大学

富山市新産業支援センター

富山大学地域共同研究センター

独立行政法人 科学技術振興機構 JSTイノベーションプラザ東海

(財)中部科学技術センター

協賛 北陸電気工業(株)

(株)サンリッツ

東海ゴム工業(株)

ブラザー工業(株)

社団法人応用物理学会

「リフレッシュ理科教室」 (北陸・信越支部富山会場) テキスト

真空と光が拓く未来の世界

発行日 平成20年8月20日

発行者 社団法人応用物理学会

編集 中 茂樹、森 雅之 (応用物理学会北陸・信越支部、富山大学)

©The Japan Society of Applied Physics

ISBN978-4-903968-25-4
