

[材料デバイス目次]

第1章	半導体材料（シリコン）とデバイス	1
第2章	セラミック材料とデバイス	14
第3章	有機材料とデバイス	29

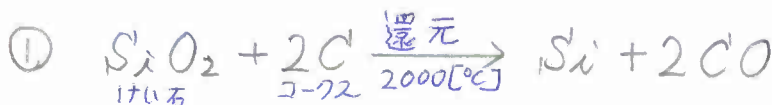
科目名	材料デバイス／Electronic Materials
単位数	2単位
配当期	後期
時間数	2時間
担当者	難波 典之
教科書	山香英三編「エレクトロニクス最前線—材料とデバイス」共立出版株式会社
参考書	
講義のねらい	<p>特定の利用目的にぴったり適合する材料が存在していることは殆んどない。その目的に合うように材料の特質を改善することの方が圧倒的に多い。</p> <p>偶然に新しい性質や現象を示す材料が発見され、これを利用した新しい部品やデバイスの可能性が追及されることも多々ある。</p> <p>前者をニーズ・オリエンテッド、後者をシーズ・オリエンテッドという。これらニーズとシーズの両面から、材料とデバイスの関係を理解することを本講義のねらいとする。</p>
講義内容	<p>講義は、いくつかの実例として、</p> <ol style="list-style-type: none">(1) 半導体材料（シリコン）とデバイス(2) セラミック材料とデバイス(3) 有機材料とデバイス、 <p>を挙げながら進める予定である。</p>
成績評価方法	試験（1回）、演習レポート（1～2回）、および出席を加味して評価する。
関連科目	電子工学、電子物性、電気・電子材料
質問受付時間・場所	
電子メールアドレス	

第1章 半導体材料(シリコン)とデバイス

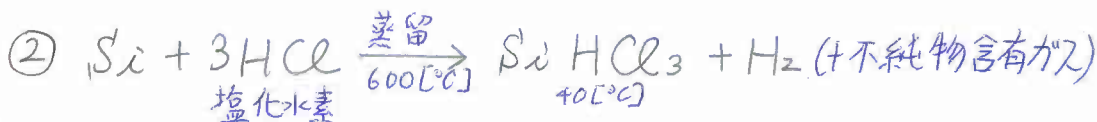
1-1 シリコン

(a) 精製

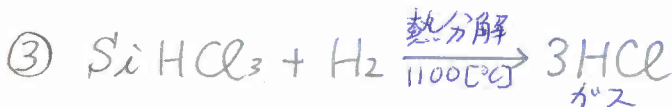
けい石 SiO_2



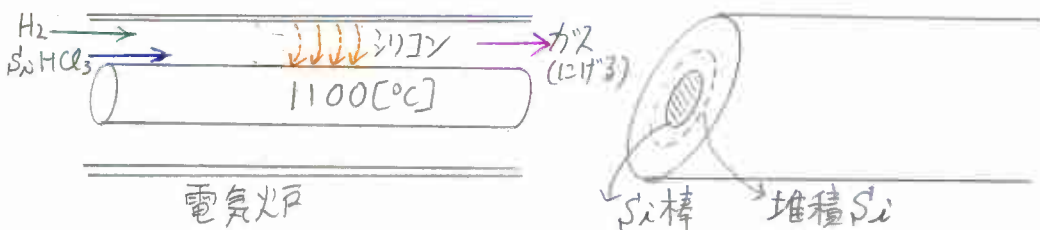
工業用シリコン \rightarrow (97~98%) \leftarrow 純度は13ane



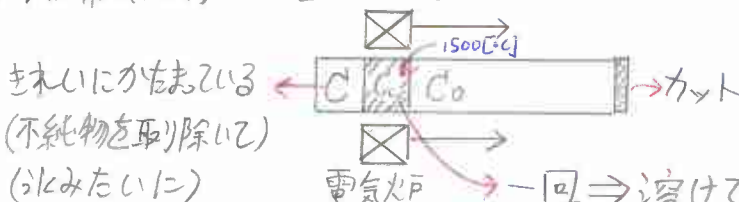
三塩化モリシリコン $SiHCl_3$ (不純物元素除去)



高純度シリコン 多結晶シリコン 純度13ane (半導体用)



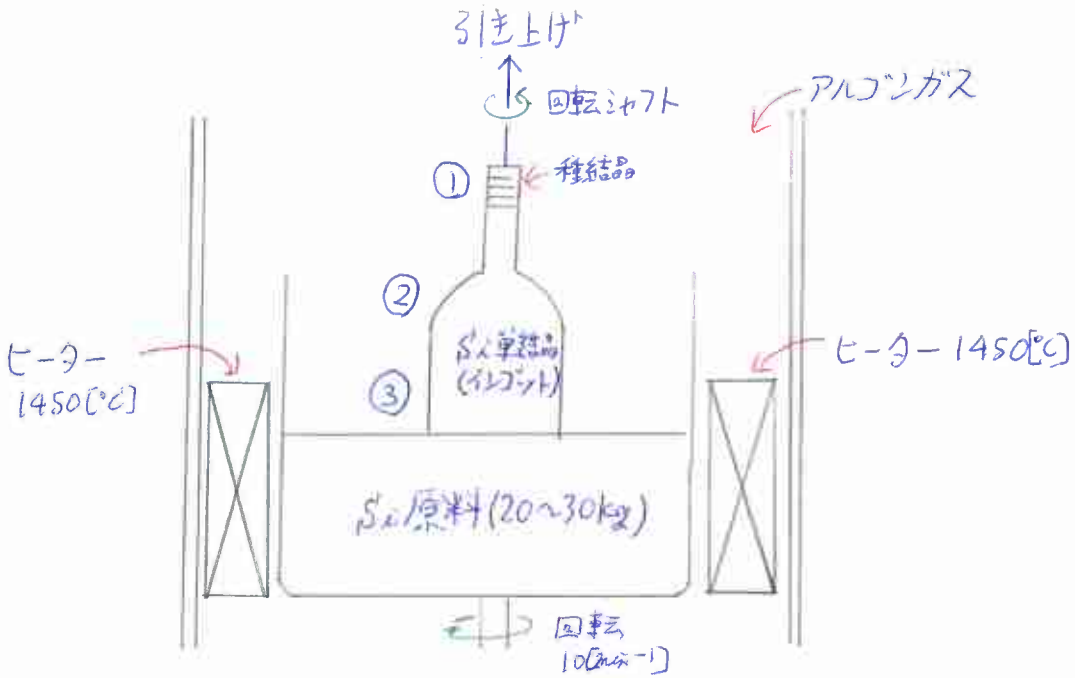
(帯溶融法) \leftarrow 昔のやり方



$C < C_0 < C_1$ [不純物濃度] (13ane以下の時)
 \rightarrow とけて固まり, とけて固まりするとききれいになる

(c) 単結晶化

引き上げ法 (pulling method) (チョクラルスキー (CZ) 法)



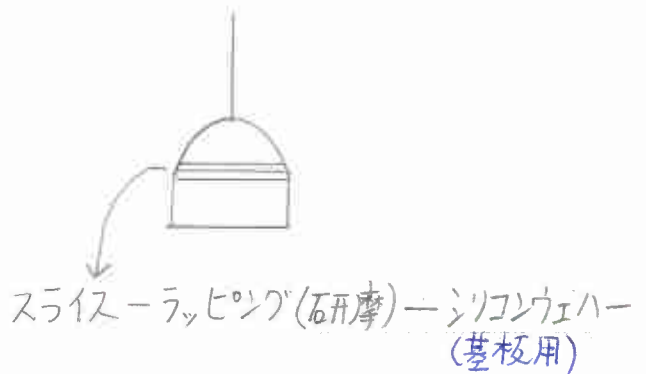
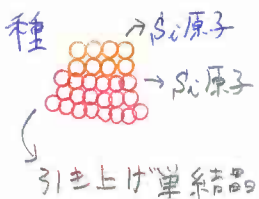
引き上げ速度

融点: 1420[°C]

①首: 4 [mm/min]

②肩: 1.5 [mm/min]

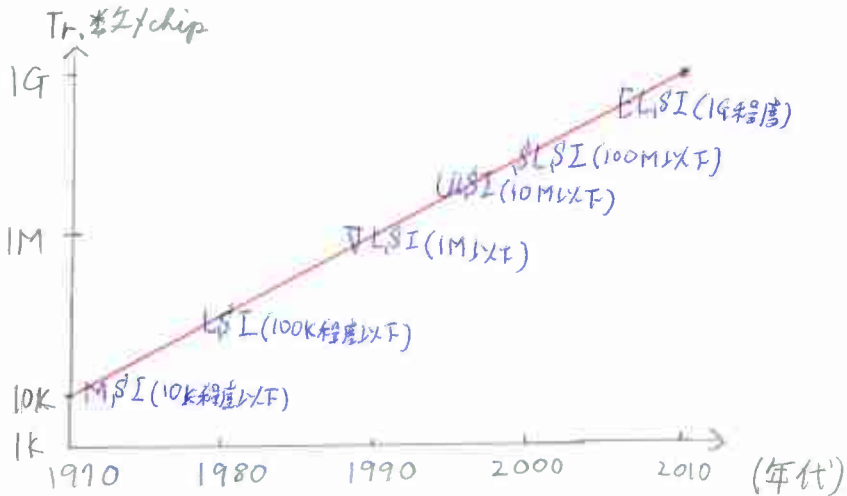
③胴: 1.0 [mm/min]



1-2 集積回路 (IC: Integrated Circuit)

(a) 概要

「2つまたはそれ以上の回路素子のすべてを基板上または基板内に集積されている回路であり、設計から製造、試験、運用にいたるまで各段階で1つの単位として取り扱われるもの」



ムーアの法則 (Moore's law)

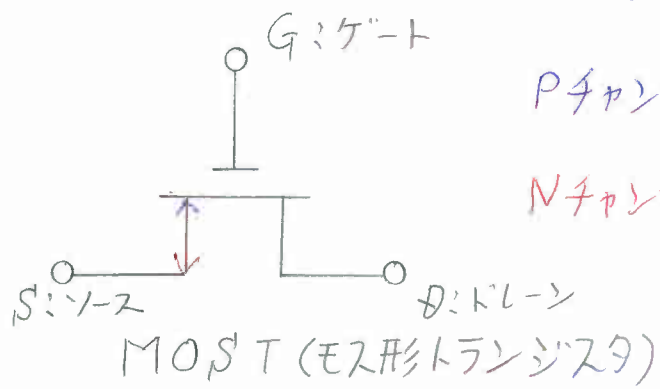
LSI (Large Scale Integrated circuits)

(大規模集積回路)

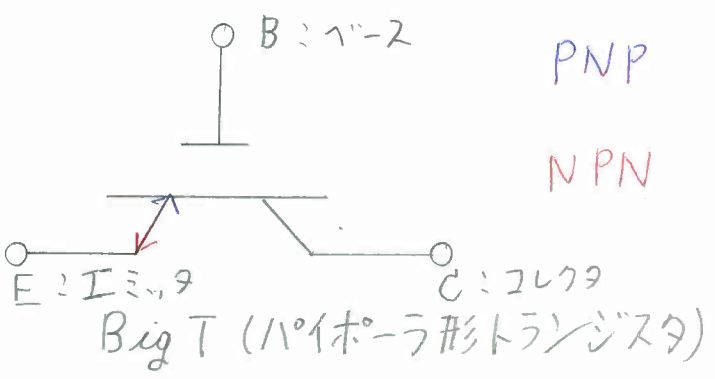
$$1 [\text{mm}] \times 1 [\text{mm}] = 100 \text{個}$$

$$10 [\text{mm}] \times 10 [\text{mm}] = 1000 \text{個} \quad (1 [\text{cm}^2] \text{中に})$$

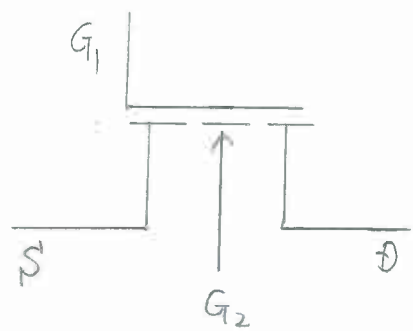
半導体集積回路(IC) — MOS (Metal Oxide Semiconductor) 形: 高集積度
 — ハイボラー形: 高速度



Pチャンネル (hole)
 Nチャンネル (electron)

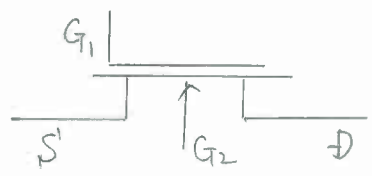


PNP
 NPN
 図記号のEミッタ(E)の矢印の流束が電流の流束を示す。



ゲートに信号が入ると導通

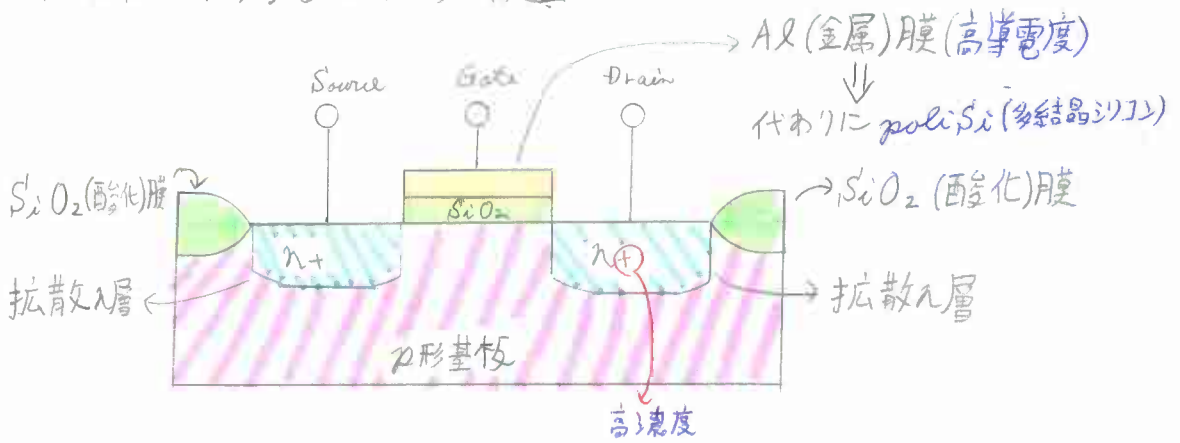
インハンスメント (E) 形 (nチャンネル)



G₂ に入ると S-D off

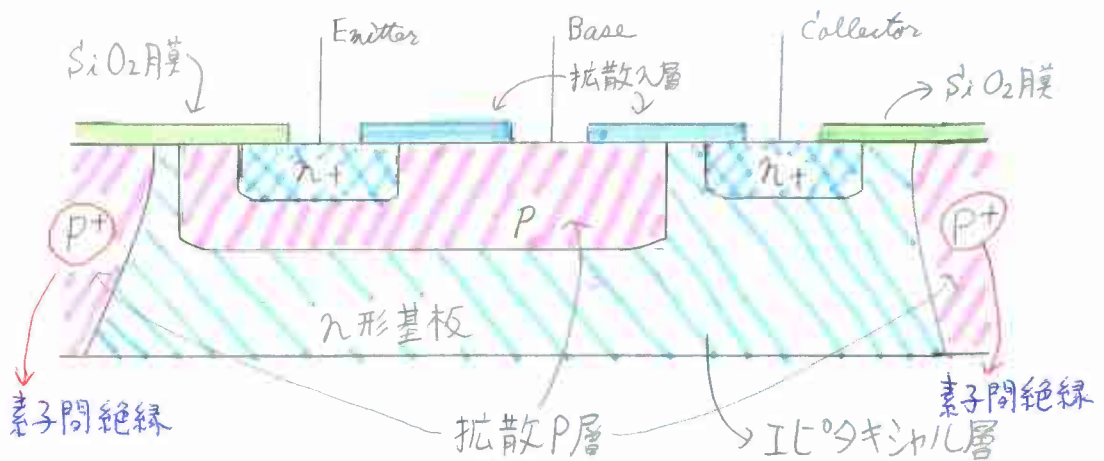
デプロジョン (D) 形 (nチャンネル)

◦ MOSトランジスタの構造



NチャンネルMOSトランジスタ (NMOS)

◦ ハイポータ形トランジスタの構造



NPNハイポータ形トランジスタ

(2) MOS デバイス化プロセス (≒ MOS 形トランジスタ)

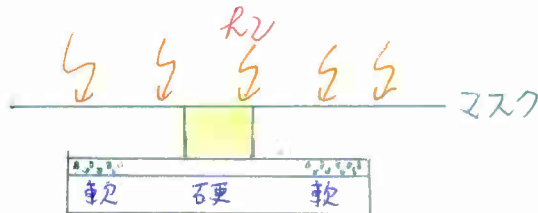
(1) 基板 ⇒ PMOS 形トランジスタを N 形基板

P 形 Si ウェハ

(2) レジスト膜 ⇒ ポジ型 (感光部が 易溶化), ネガ型を逆



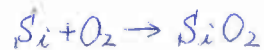
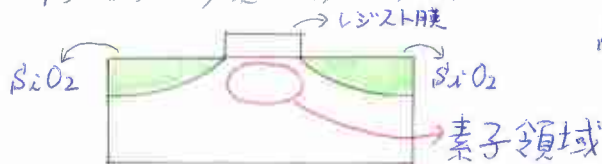
(3) 転写 (感光) ⇒ 光照写: $h\nu$ より高分子反応



(4) パターニング ⇒ 感光部を除去, ドライエッチング (活性フッ素により感光部腐蝕)



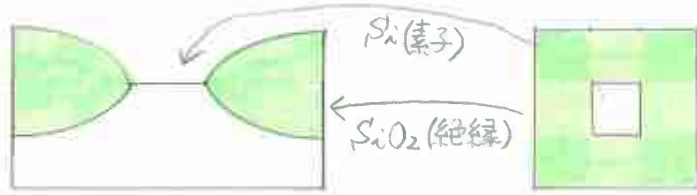
(5) LOCOS (Local Oxidation of Silicon)
シリコンの部分酸化, 素子領域分離



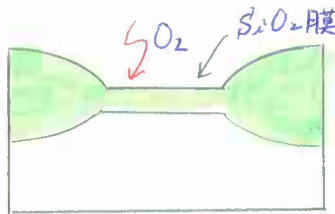
(1)~(4): ホットリークグライプロセス

(5): LOCOS プロセス

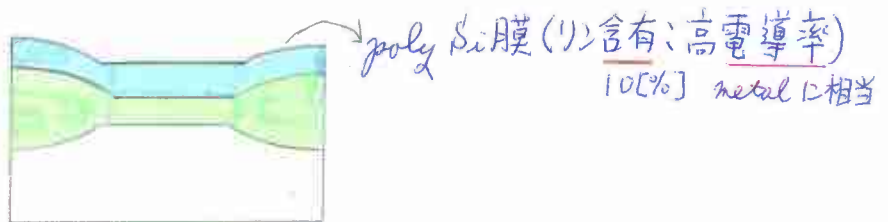
(6) レジスト除去：ウェットエッチング（アルカリ性溶液で腐蝕）



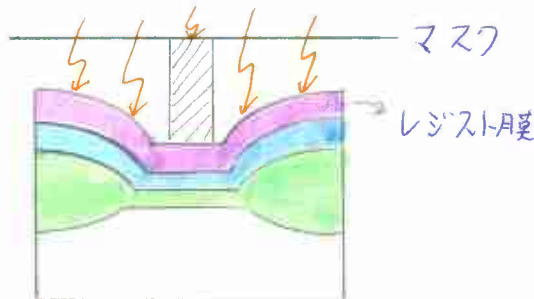
(7) 素子領域酸化：ゲート酸化膜の形成



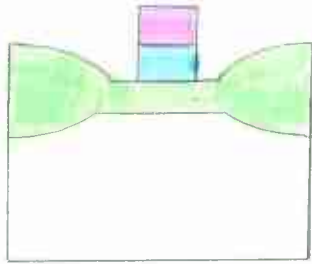
(8) LPCVD (Low pressure chemical Vapor Deposition)
低圧化学蒸着, poly \Rightarrow 多結晶シリコン膜の形成 (Si ゲートアーク入)



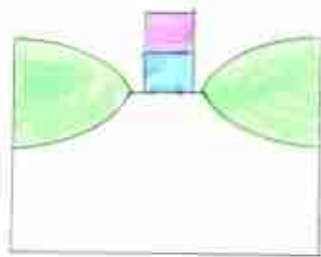
(9) レジスト塗布及び転写：ポジ型使用，ゲート部のみ残すため



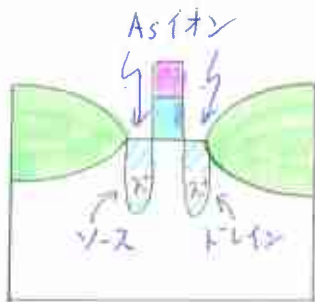
(10) ハターニング：ドライエッチングによりレジスト及びpoly Si 腐蝕除去



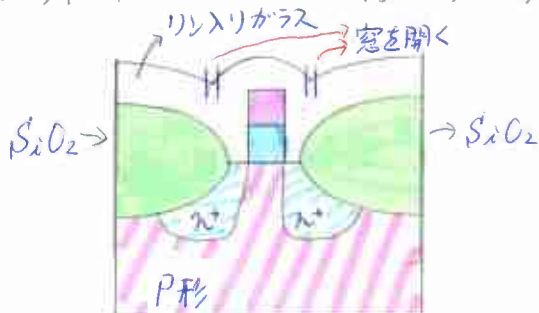
(11) ⇒ (10)の継続により素子領域の一部(ソース)のSiO₂膜を除去



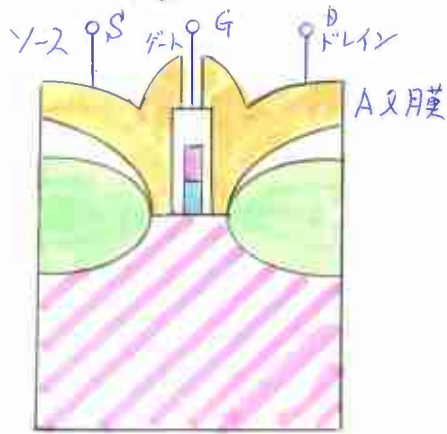
(12) イオン打込みおよび拡散 ⇒ ドナー (As) を打込み後熱処理



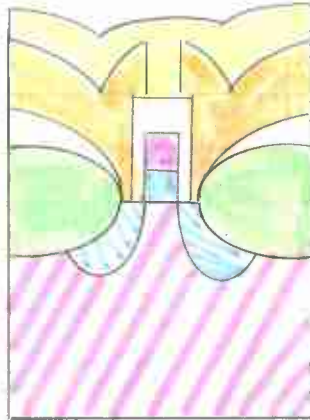
(13) 層間デポジット：CVDでリン入りガラス膜形成 (Al 電極の付着性止のため)



(14) コンタクト用孔あけA₂O₃蒸着: A₂O₃ホトソリグラフ省略 (A₂O₃膜の分離)



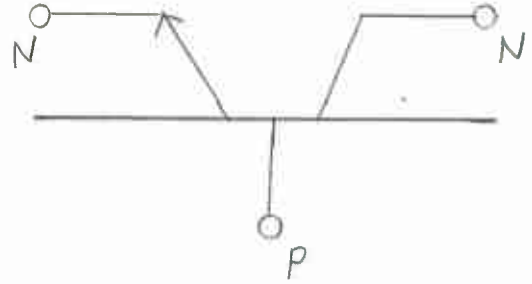
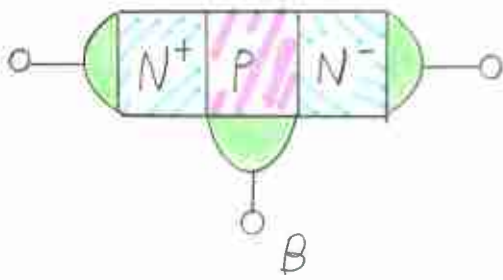
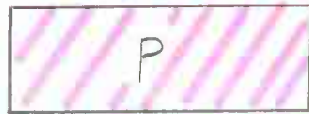
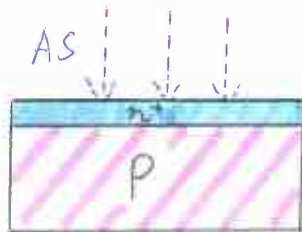
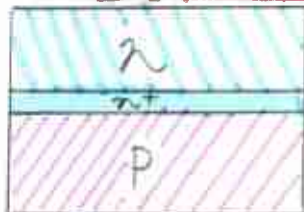
(15) パーシテーション膜 (デポジット): 不活性膜 (水分, 不純物ガス, 侵入保護)



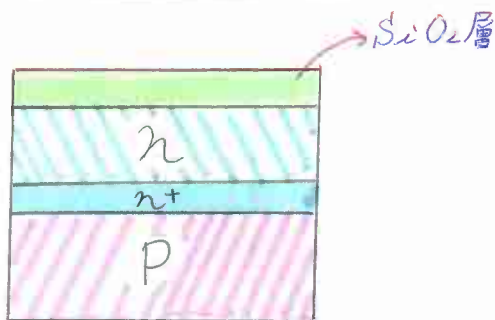
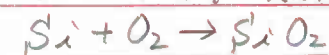
※ (8) ~ (15) まで シリケートプロセス

(c) ハイポラ・トランジスタのデバイスプロセス (BJT)

NPN: Bipolar junction transistor

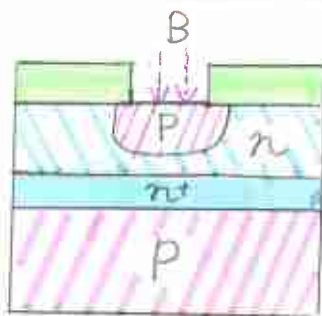
(1) 基板: P形基板使用(素子との絶縁) PNPならN形ウェル(2) As拡散(高濃度): 埋め込み層(コレクタ抵抗低下のため)(3) エピタキシャル膜: 気相反応による単結晶膜の作成。
埋込み層(n+層より)低濃度

(4) エピタキシャル膜 : ウェット酸素(水蒸気入り)当てから1000[°C]で加熱

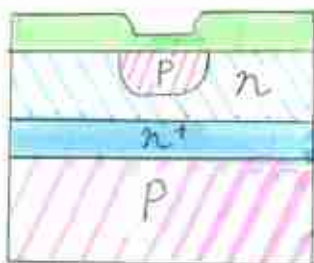


(5) 酸化膜エッチング : ホウ素拡散 : ホトリグラフィ省略。1000[°C], 30[分]ホウ素が

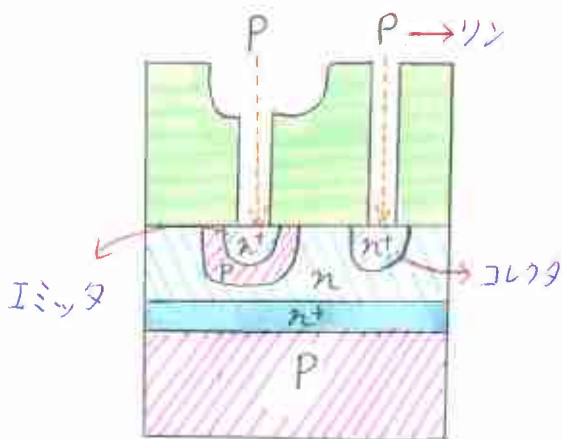
ゲート層形成



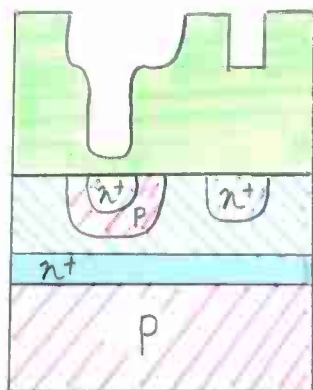
(6) ゲート部酸化 : (4)と同じ



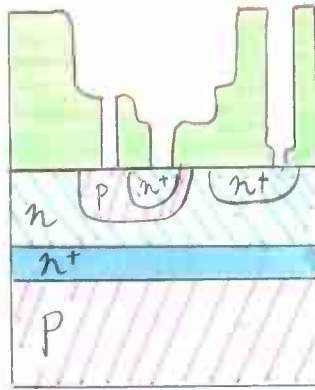
(7) 酸化膜エッチング (P) 拡散: トソングラフイ省略, 1040[°C], 30[分]
リンガス, エミッタ, コレクタ層形成



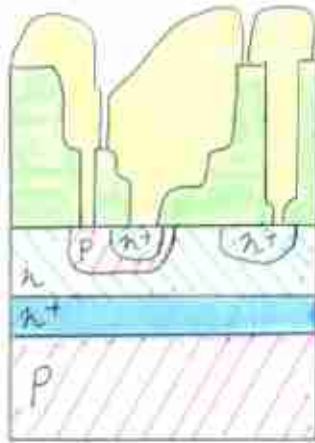
(8) エミッタ層, コレクタ層酸化: (4), (5) 工程と同じ



(9) コンタクト孔空け: 電極用Al蒸着, オトソゾグラフィ省略



(10) Al層エッチオフ: リン酸, 50[°C], 2~3[分] (ウエットエッチ)



第2章 セラミック材料とデバイス

2-1. サーミスタ (thermistor)

(a) 種類と特性

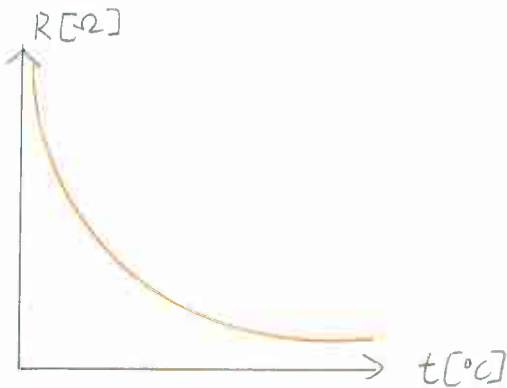
半導体の温度-抵抗特性を利用した半導体温度センサ

Rの温度変化により3つに分類される

(1) NTC (Negative Temperature Coefficient) サーミスタ

負の温度特性 (温度が上昇すると抵抗値が減少する) 熱

サーミスタと呼ば"れるもののほとんど"は、NTCサーミスタ



サーミスタの特性カーブ"

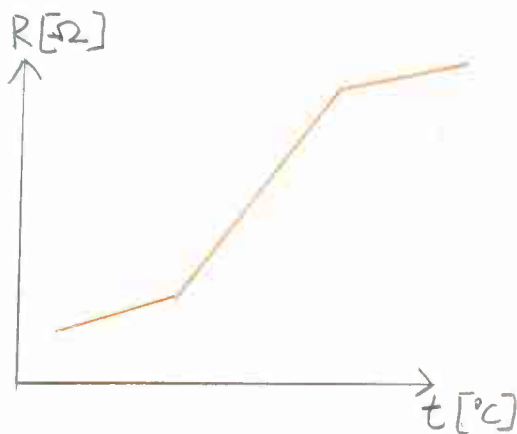
温度検出用素子として用い"れる。

使用温度範囲は

-50 ~ 400 [$^{\circ}\text{C}$] 程度

(2) PTC (Positive Temperature Coefficient) サーミスタ

正の温度特性(温度が上昇すると抵抗値が増加する)素子
ある温度範囲で非常に感度が良く、温度測定に利用される



サーミスタの特性カーブ

電力を直接制御する目的で使用

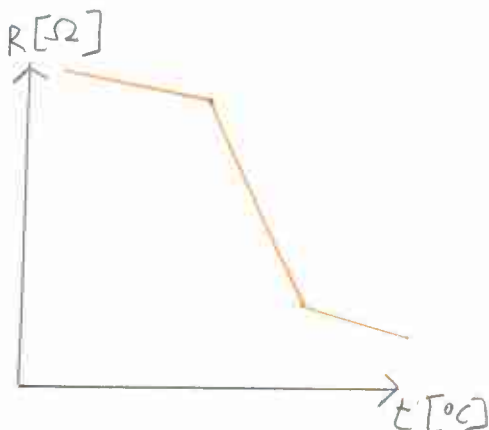
可能。ヒューズの代替品で使用。

使用温度範囲は

$-50 \sim 150$ [$^{\circ}\text{C}$]程度

(3) CTR (Critical Temperature Resistor) サーミスタ

負の温度特性をもち、ある温度範囲で感度が良くなっている。



サーミスタの特性カーブ

常温域において手軽に使えるため、

家電機器における温度計測に

多く用いられる。

使用温度範囲は

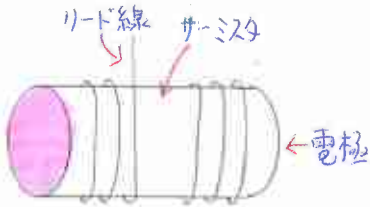
$-50 \sim 150$ [$^{\circ}\text{C}$]程度

(b) NTCサーミスタ(サーミスタ)

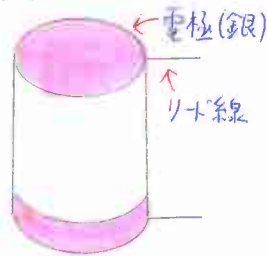
(i) 素子の形状

• バック

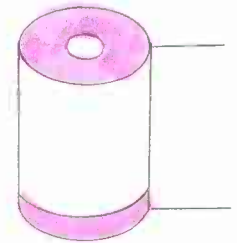
① ロット形



② ディスク形

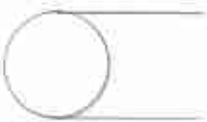


③ ワッシャ形

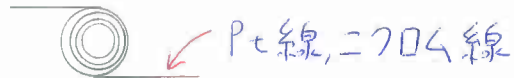


(①, ②, ③, 低-中温)

④ フレーク形



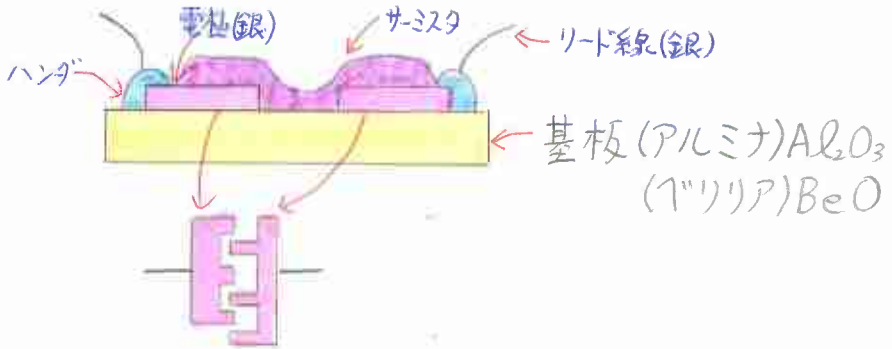
⑤ ビード形



(④, ⑤, 高温)

• 厚膜

① くし形電極構造



(うすいから電気抵抗を低くする)



面抵抗

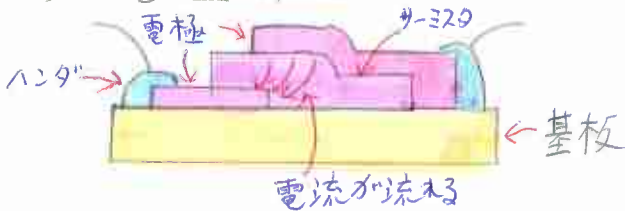
$$R_0 \propto \frac{l}{w}$$

電極間隔 [m]

電極間 [m]

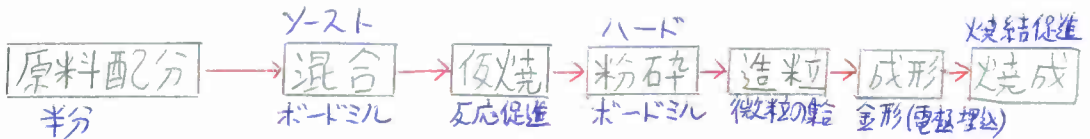
R_0 を低くするため: くし形

② サンドウィッチ電極構造 (抵抗 R を低くするため)

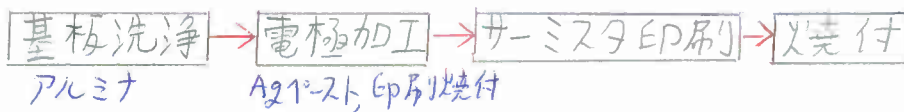


(ii) 製造工程

• バルク



• 厚膜



(iii) 特性と材料

電気抵抗

$$R = R_{\infty} \exp(B/T) [\Omega]$$

温度係数

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{\Delta R}{\Delta T} = -\frac{R}{T^2} [\%K]$$

T: 絶対温度 [K], B: 材料定数 [K]

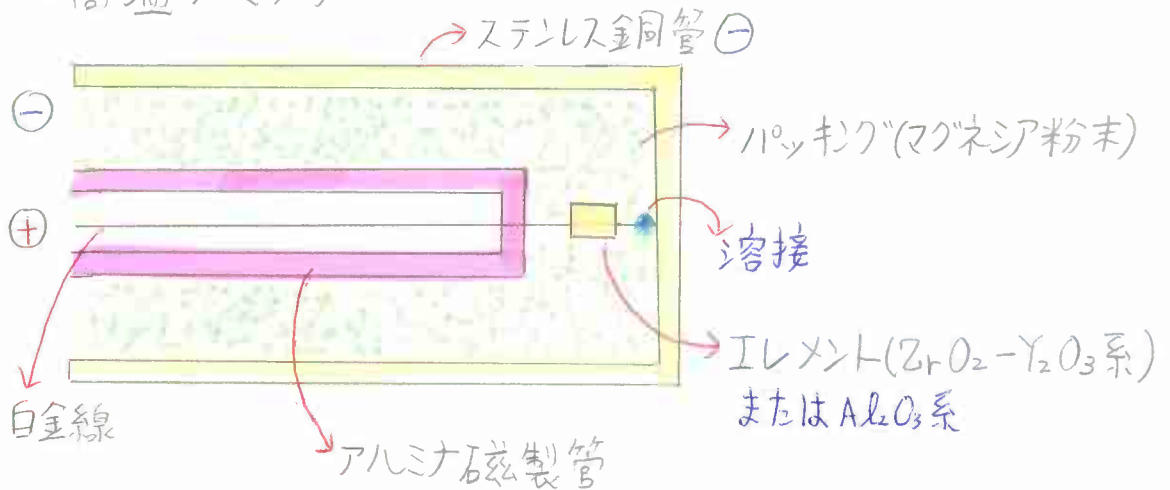
(高温では B が大きいことが必要)

主成分	使用温度	素子形式
M _m -Cr-Ni スピネル 配化物	200 [°C] 以下	バルク厚膜 (ディスク, ロット)
Co-D-Al ₂ O ₃ 系 コランダム 配化物	300 ~ 1000 [°C] 以下	バルク (ビード, フラーク)
ZnO ₂ -Y ₂ O ₃ 系 シルコニア 配化物	700 ~ 2000 [°C] 以下	バルク (厚膜)
SiC	-100 ~ 450 [°C]	単結晶

MgAl₂O₄: スピネル石, Cr₂O₃: コランダム石, ZnO₂: シリコン石

(iv) 応用素子の例

• 高温サーミスタ



• 用途

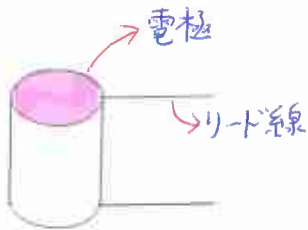
{ 自動車排気ガス温度検出及び制御
ジェットエンジンの排気ガス温度の検出 } シリニア素子

{ 家庭用電気及びガス器具の温度制御
工業用各種設備の温度制御
化学反応槽, ハンタ槽, 乾燥炉, 電気炉 } コランダム系素子

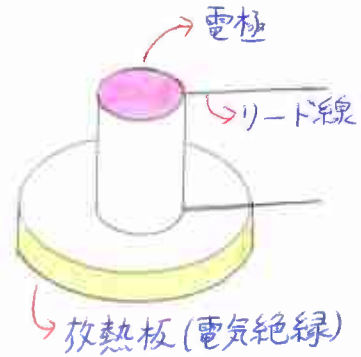
(c) PTC サーミスタ

(i) 素子形状

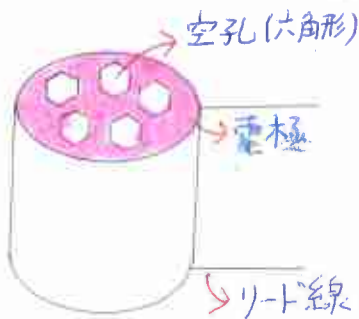
① ディスク形 (温度検出用)



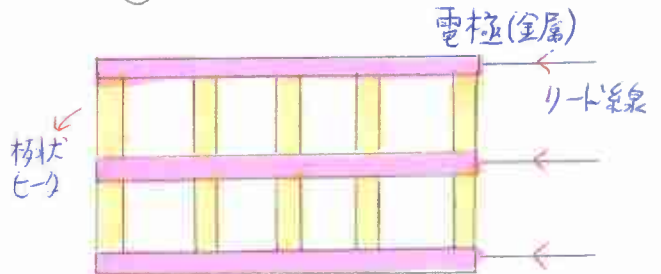
② ディスク形 (自己制御形ヒータ用)



③ ハネカム形 (ヒータ用) 送風

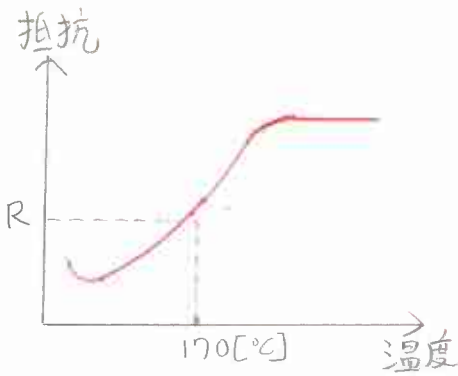
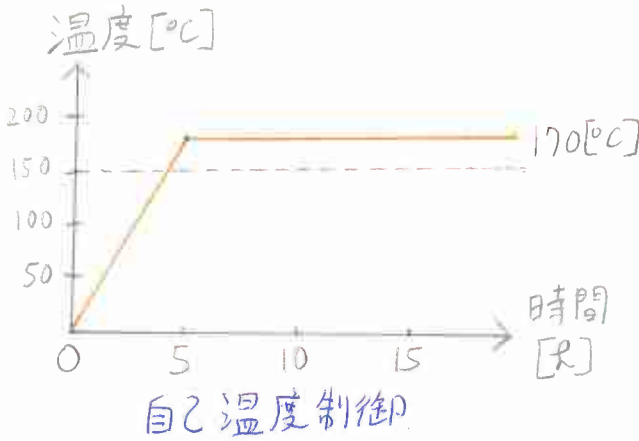
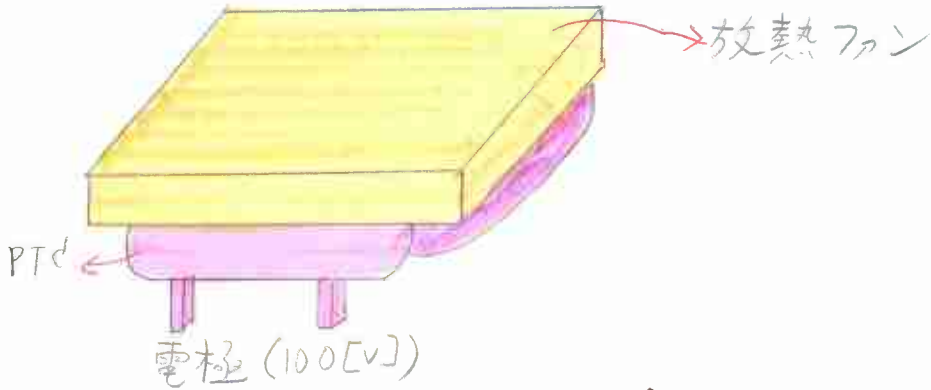


④ ハーモニカ形 (ヒータ用)



(ii) 応用例

電子虫取り器 (非送風形)



$$V = C(T - T_a)$$

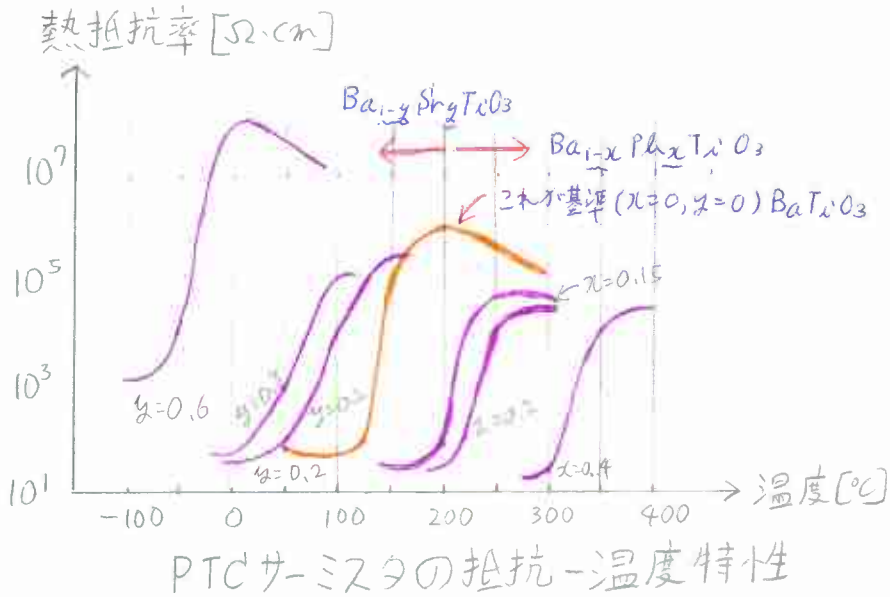
成分 → 構造

T: t-時温度, R: t-時抵抗
 T_a: 周囲温度, C: 放熱質量
 V: 電圧

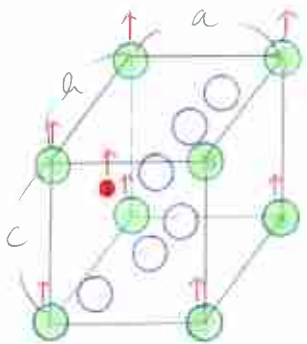
$$C = C_0(1 + kv^{1/2})$$

k: 系数, v: 送風量

(iii) 材料と特性



$BaTiO_3$ チタン酸バリウム (強誘電体! $\epsilon_s=10000$ 以上)



低温正方晶相

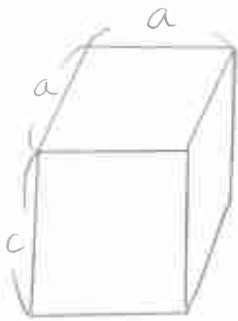


正方晶 ($T < T_c$) $a > c$

キリ-温度 $T_c = 120[^{\circ}\text{C}]$

(iv) PTC発生機構

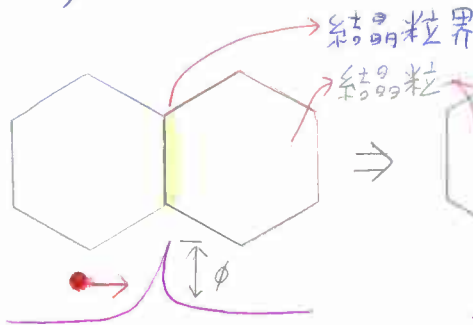
「177」の説: 強誘電相 \rightarrow 常誘電相転移説



立方晶

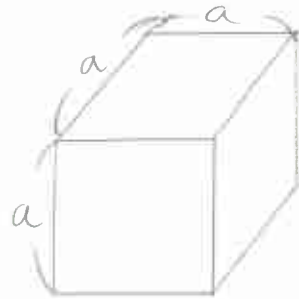
(強誘電相)

$T < 120 [^{\circ}\text{C}]$
 ϵ_s : 大, 10000以上



ϕ : 電位障壁大

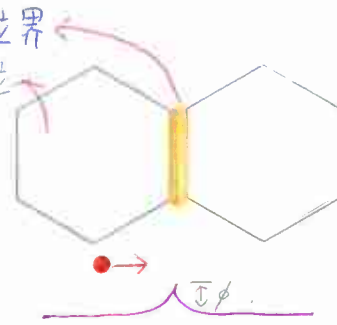
$$\phi \propto \frac{1}{\epsilon} (\epsilon: \text{小}), T > 120 [^{\circ}\text{C}]$$



正方晶

(常誘電相)

$T > 120 [^{\circ}\text{C}]$
 ϵ_s : 小, 2~10

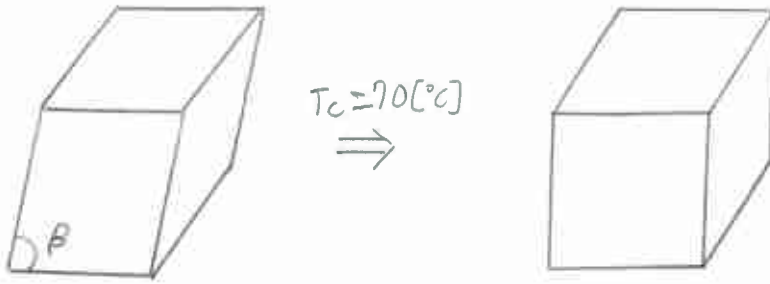


ϕ : 電位障壁小

$$\epsilon: \text{大}, T < 120 [^{\circ}\text{C}]$$

単結晶: BaTiO_3 では PTC は発生しない, 多結晶: セラミックで発生

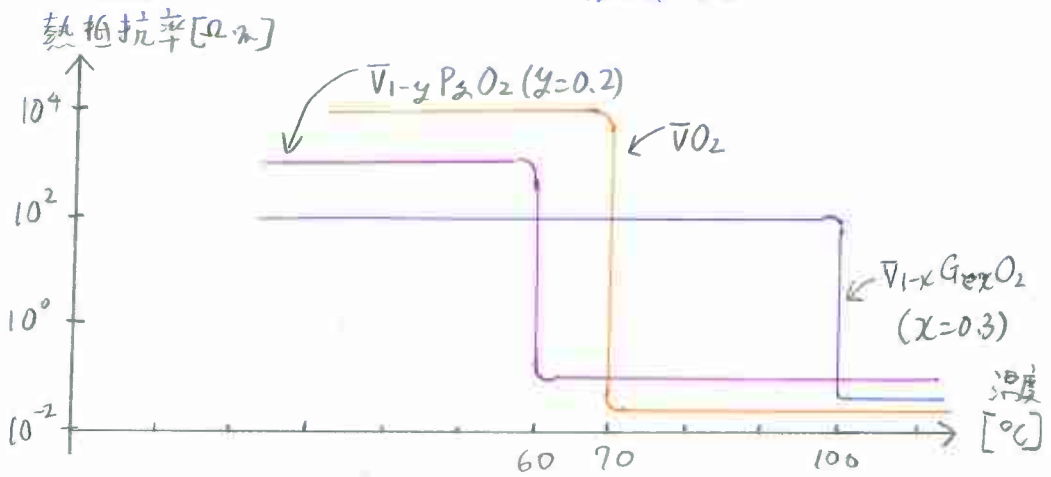
(d) CTR サーミスタ

発生機構: VO_2 (配化バナジウム) $\beta < 90^\circ$ 単斜晶

正方晶

(非金属相)

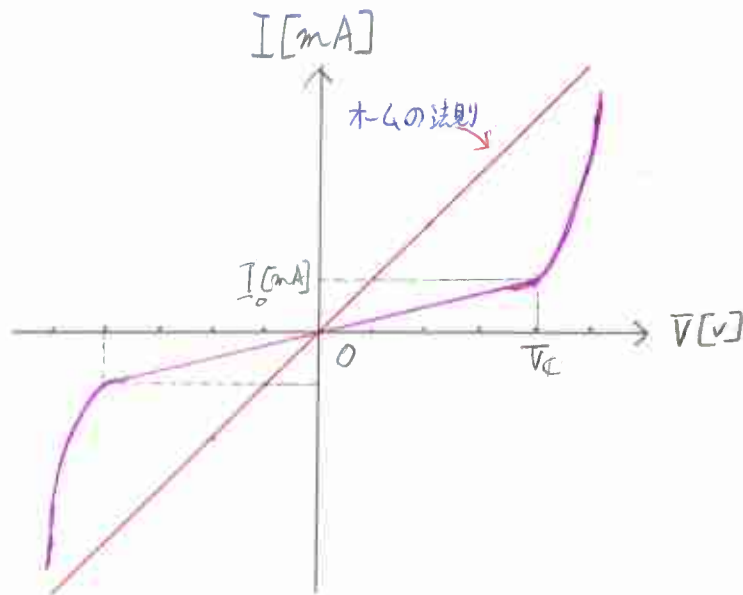
(金属相)



2-2 バリスタ (Varistor)

印加電圧により、抵抗率が敏感に変化する現象：電圧抵抗効果

電圧抵抗効果を利用した非直線抵抗素子：バリスタ (variable resistor)



電流-電圧特性

$$I = I_0 \left(\frac{V}{V_c} \right)^\alpha \quad [\text{mA}] \quad (\text{近似式})$$

α : より大きい非直線指数 (オームの法則 $\Rightarrow \alpha = 1$)

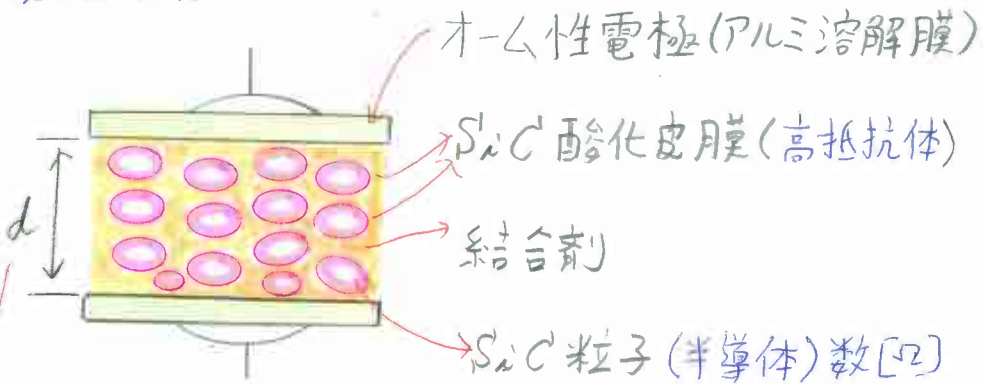
V_c : バリスタ電圧 (立ち上がり電圧), $I = I_0$ となる電圧

用途: 半導体回路の保護 (SCRのサージ吸収), 火花消去, 過電圧保護, V.i.t

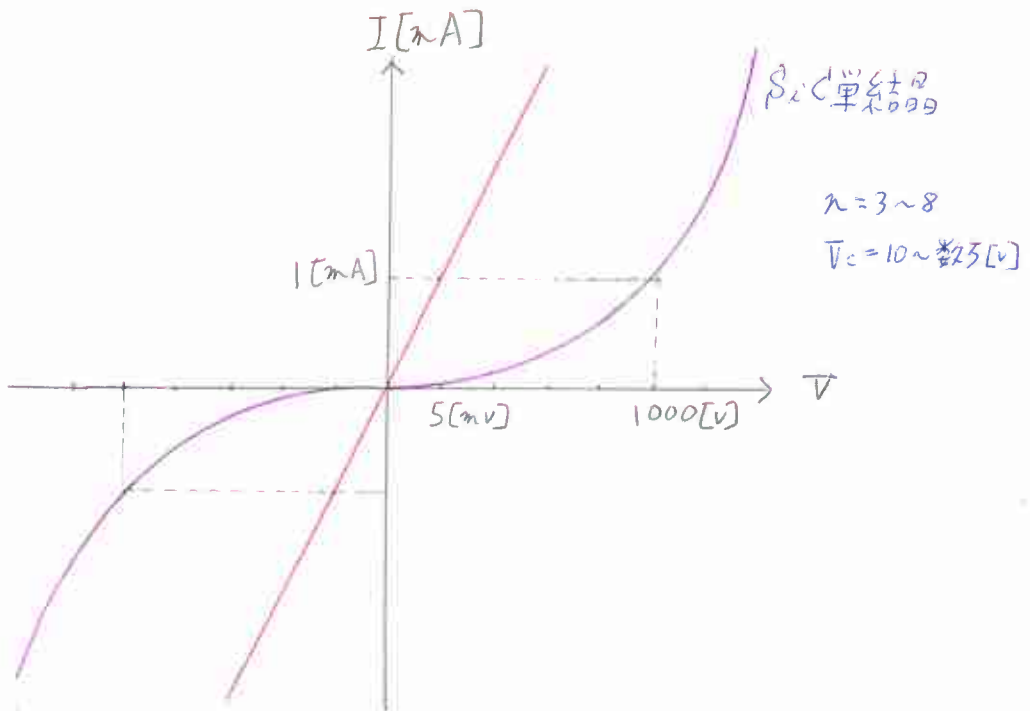
避雷器
V.i.t

(a) SiC ハリスタ

碳化硅素

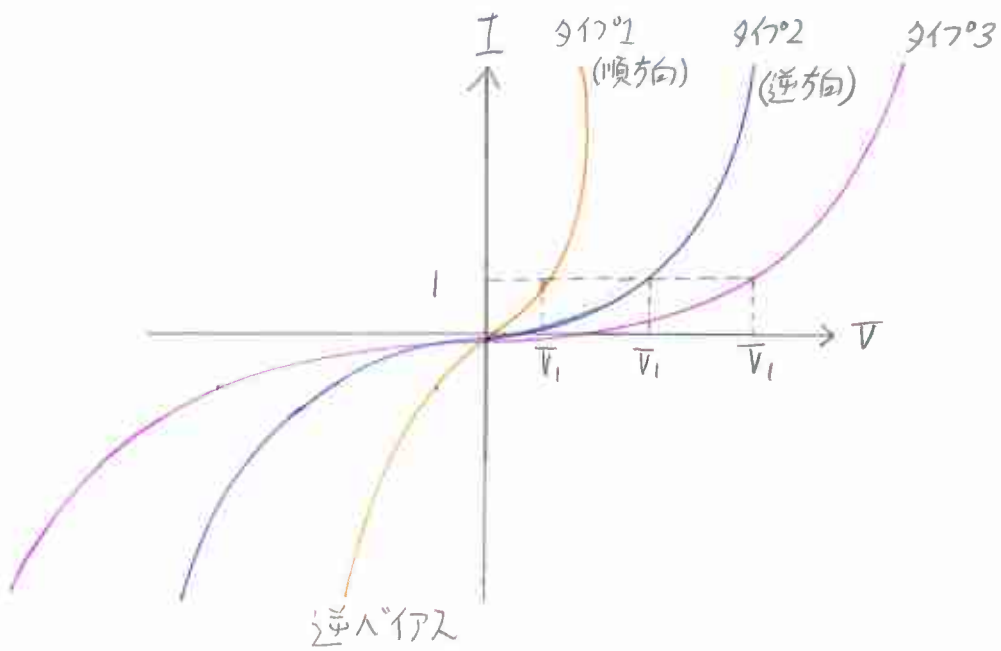
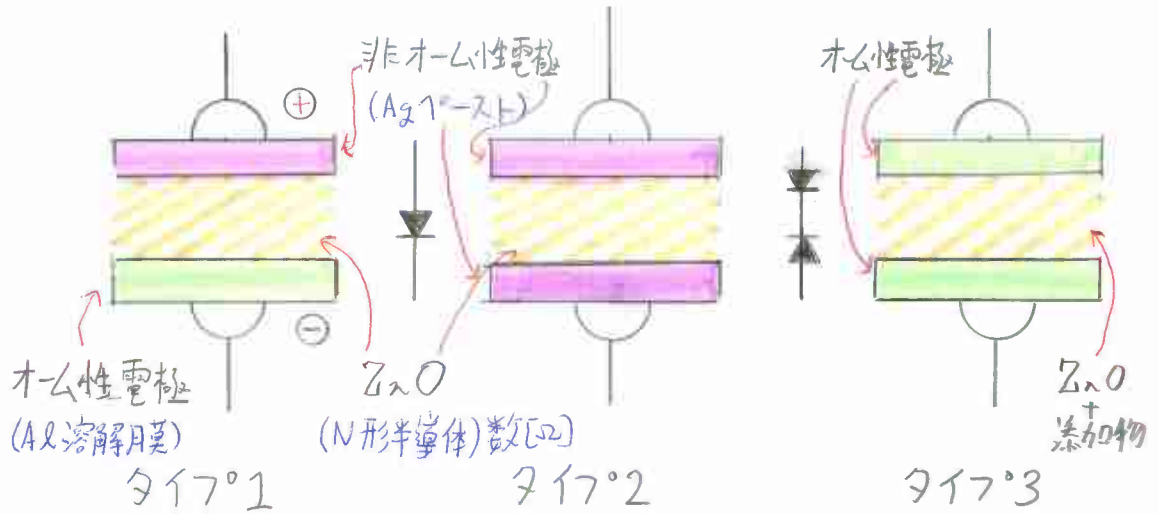


厚さ d , 酸化皮膜の厚さ(熱処理)および結合剤(種類量)で調整



(b) ZnOバリスタ

酸化亜鉛

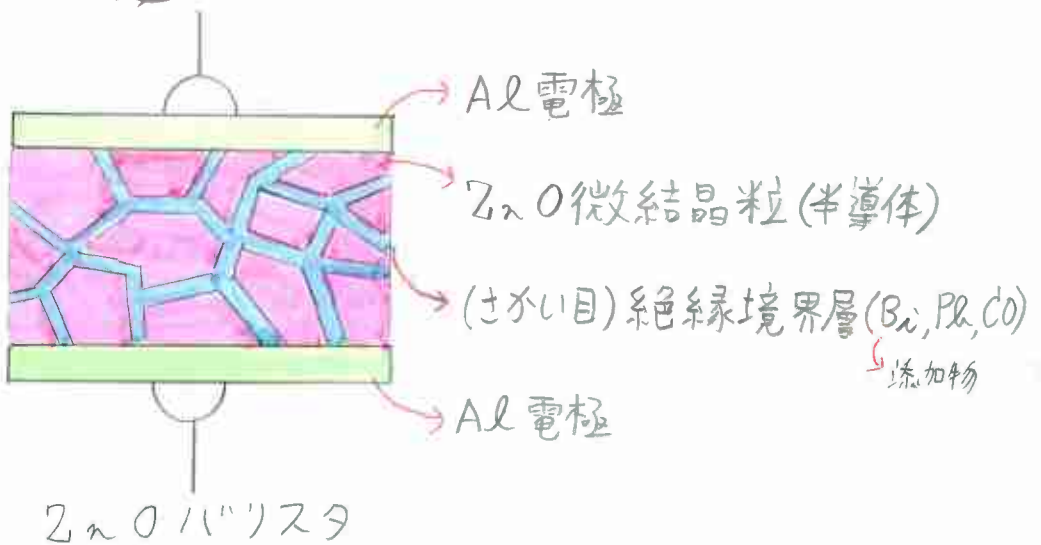


	タイ7°	V_f [V]	n
×	1	0.3~0.5	15~20
×	2	2~5	6~25
⊙ ↑	3	5~35	10~60

(Panasonic)

SiのPN接合, タイ7°以下
ツェナダイオード $\alpha = 50$

• タイ7°3の構造



第3章 有機材料とデバイス

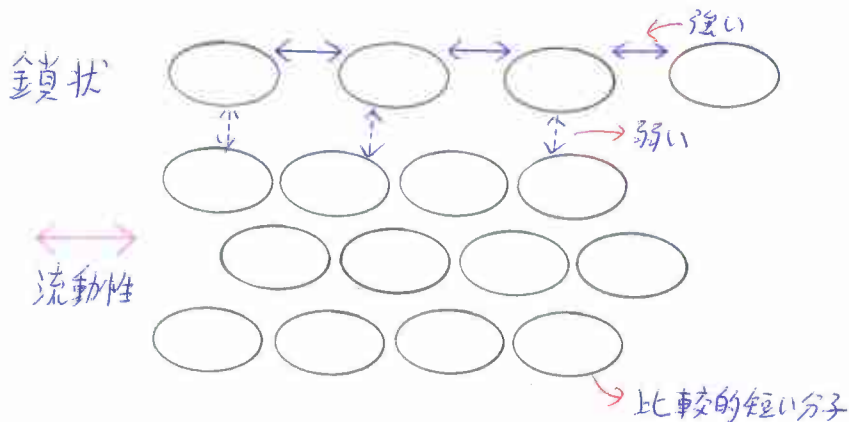
3-1. 液晶 (liquid crystal) 分子の種類

液晶：液体のような流動性と結晶のような異性を併せ

持つ棒状(板状)分子の集合。固体と液体の中間の性

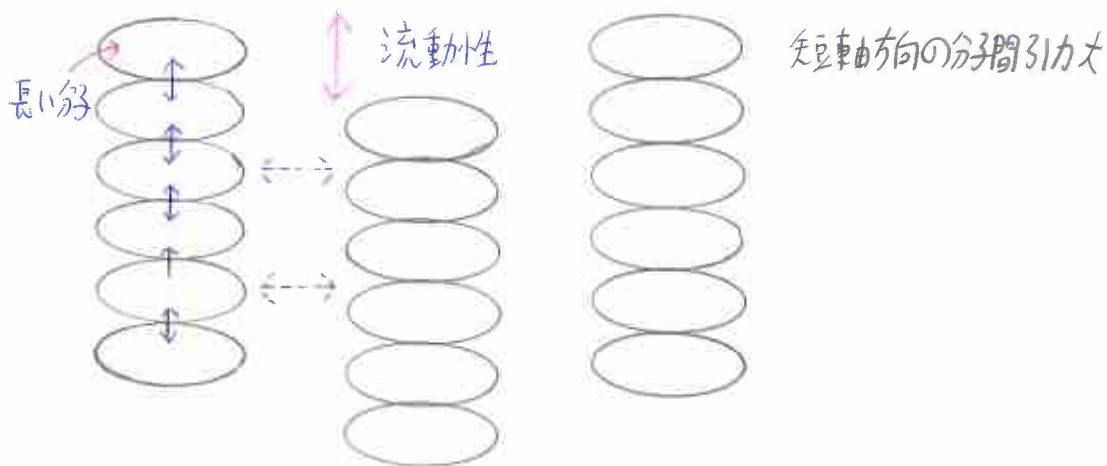
質を持つ有機物。

(a) ネマティック (nematic) 分子 — 一番良く使われる

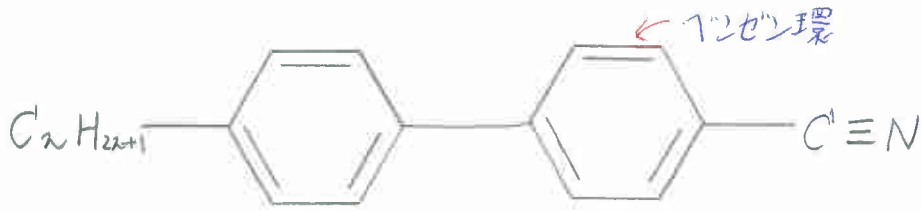


長軸方向の分子間引力が大

(b) スクワチック分子 (S分子)



(c) 分子構造例



アルキール基

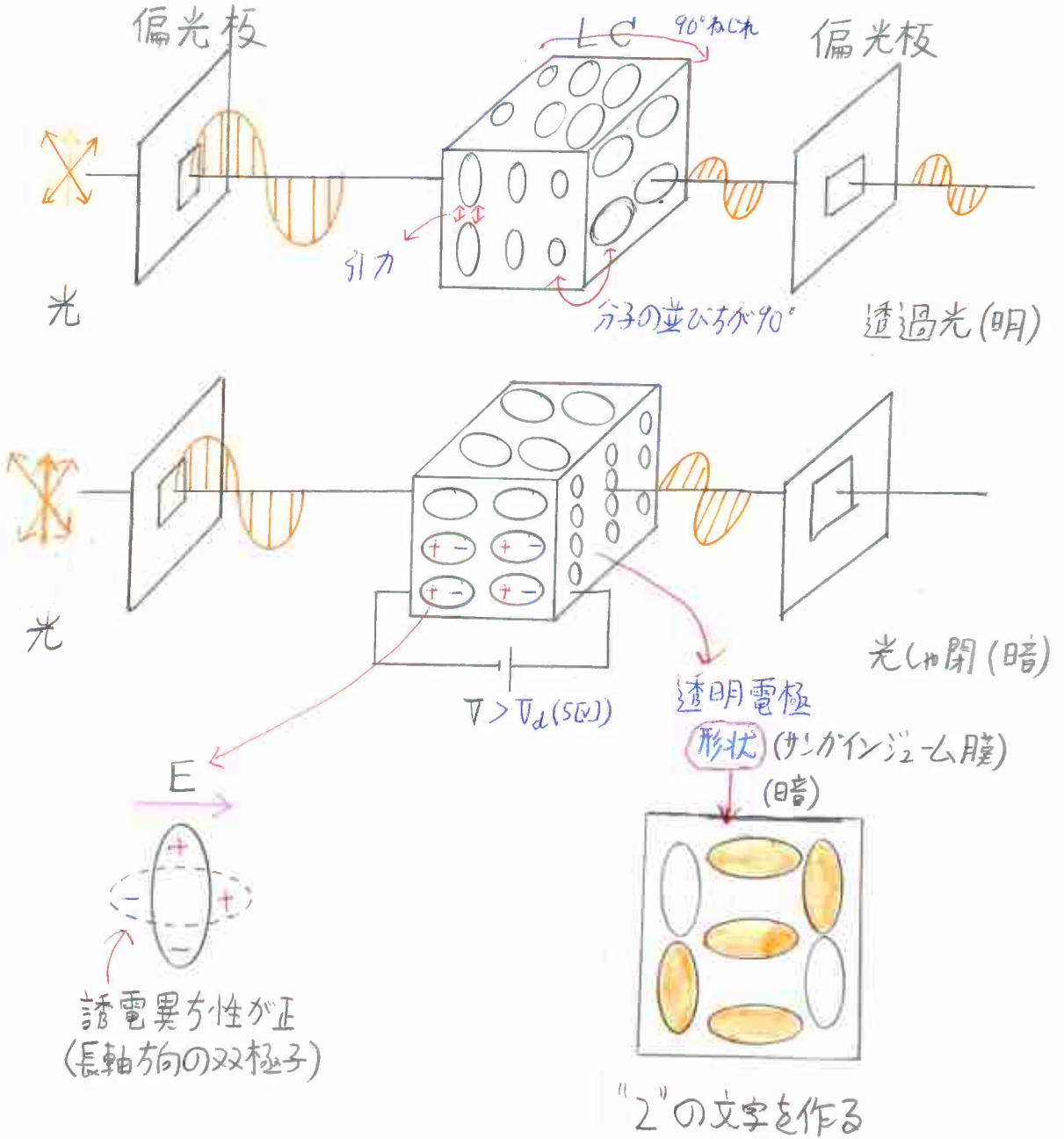
シアノ基

アルキール・シアノ・ビフェニル

 $n < 8 \Rightarrow$ ネマティック分子 $n \geq 8 \Rightarrow$ スクワチック分子 $\lambda = 4, 14 \sim 29 [^{\circ}C]$ ($n = 5 : C_5 H_{11}$ が実用, $24 \sim 25 [^{\circ}C]$ で LC 状態)

3-2. 液晶効果

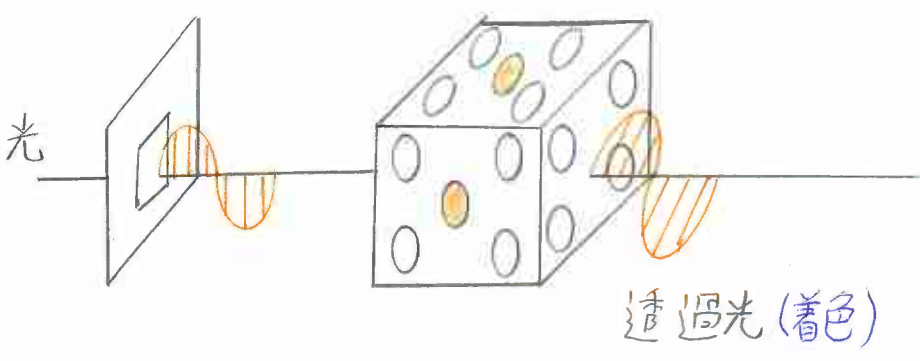
(a) ねじりネマチック効果 (TN効果)
Twisted nematic



(2) ゲスト・ホスト効果

ホスト分子：ネマチック分子, 誘電異方性正

ゲスト分子：染料分子 (長軸方向に吸収帯を持つ)



● : ゲスト分子
○ : ホスト分子

