

電界銃測定法の展開

Analysis System of Low-Dimensional
Materials by Using Surface Acoustic Wave
Technique

九州工業大学・大学院工学研究院

先端機能システム工学研究系

准教授 孫 勇

内 容

1. 電界銃とは
2. 測定原理
3. 測定法の特徴
4. 測定例
5. 問題点と展望

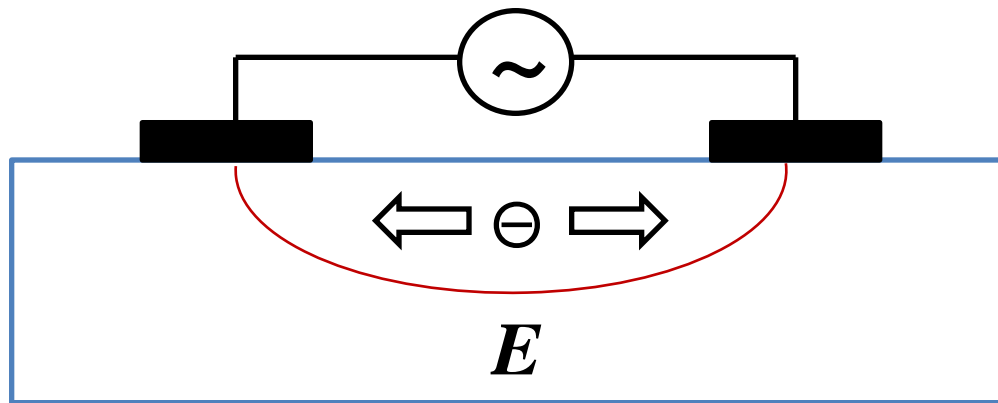
1. 電界銃とは

- すべての物質には、伝導或は誘電特性を持っているため、電気電子物性は材料評価の重要な部分である
- 電気電子物性の評価には、物質に電界を導入する必要がある

1. 電界銃とは

- 二つの電界導入方法

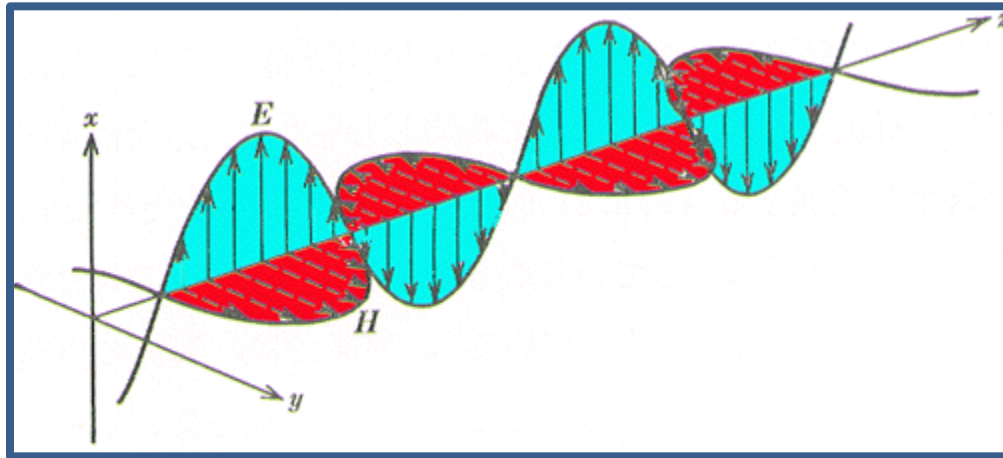
☆ 接触的な方法: 電極を付ける方法



試料の伝導率により、接触バリアーが生じる
電極に付随する各種寄生効果が避けられない

1. 電界銃とは

☆ 非接触的方法: 高周波・マイクロ波・光などの電磁波



真空中でも伝搬できる電磁波が用いられている
測定場の単一性(電界或は磁界)に問題がある

1. 電界銃とは

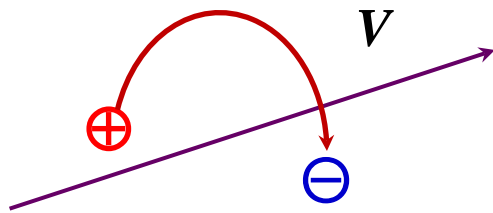
- 非接触的に単一場導入の問題点

- ☆ 静電界・磁界は局所場で、空間的に急速に減衰する

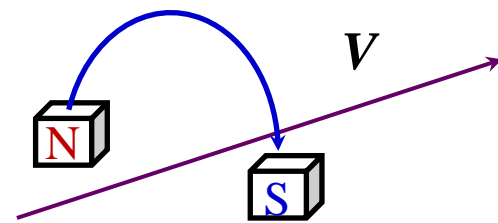
- ☆ 高エネルギー密度場の獲得は難しい

- ☆ 静電界・磁界がキャリアを動かすために、場自身を移動させる必要がある

- ☆ 静電界・磁界の移動は簡単ではない



電荷間に巨大な静電引力

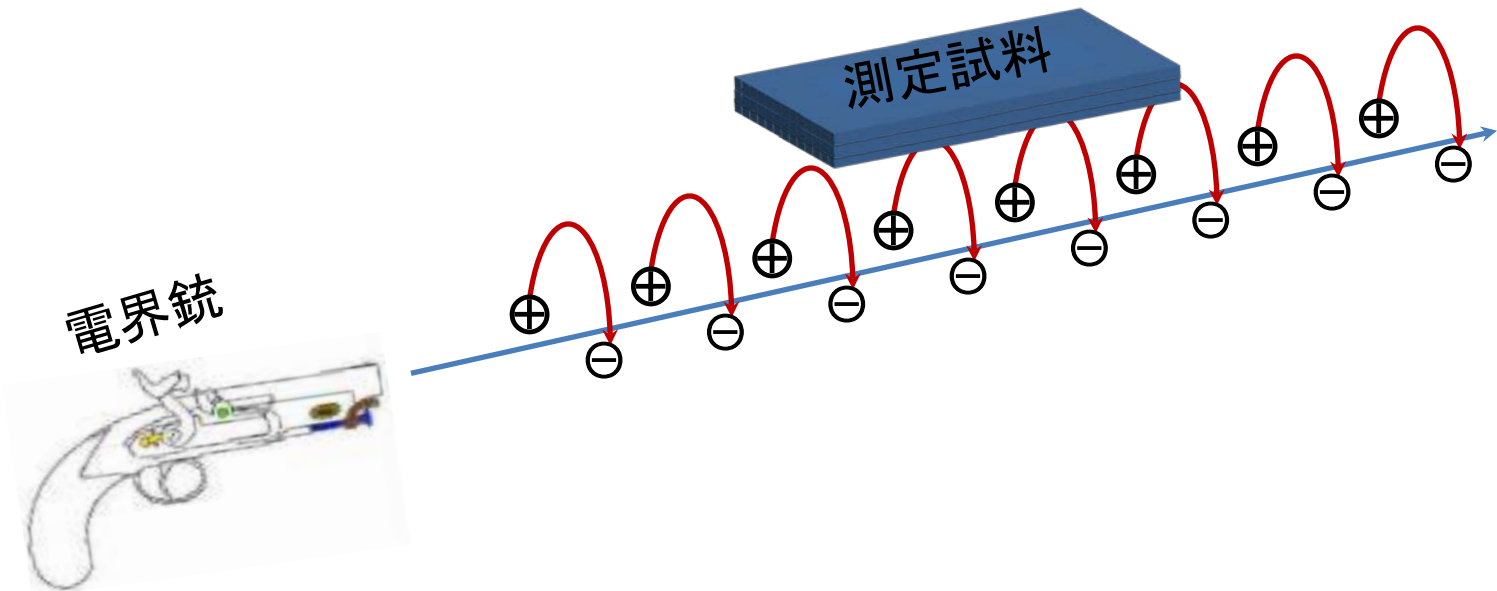


磁石の巨大な慣性モーメント

1. 電界銃とは

- 電界銃測定法の概念図

☆物質中の正負電荷を分極・伝搬させる方法を採用



2. 測定原理

- 電界銃の実現

☆ 静電界を走らせるために正負電荷の平行移動が必要

☆ 圧電効果で電荷を分極させ弾性表面波で伝搬させる

☆ 静電界を電気信号に変え情報を取り出す

2. 測定原理

- 電界銃における静電界の発生と回収



☆弾性表面波を用いて静電界を伝搬させる

2. 測定原理

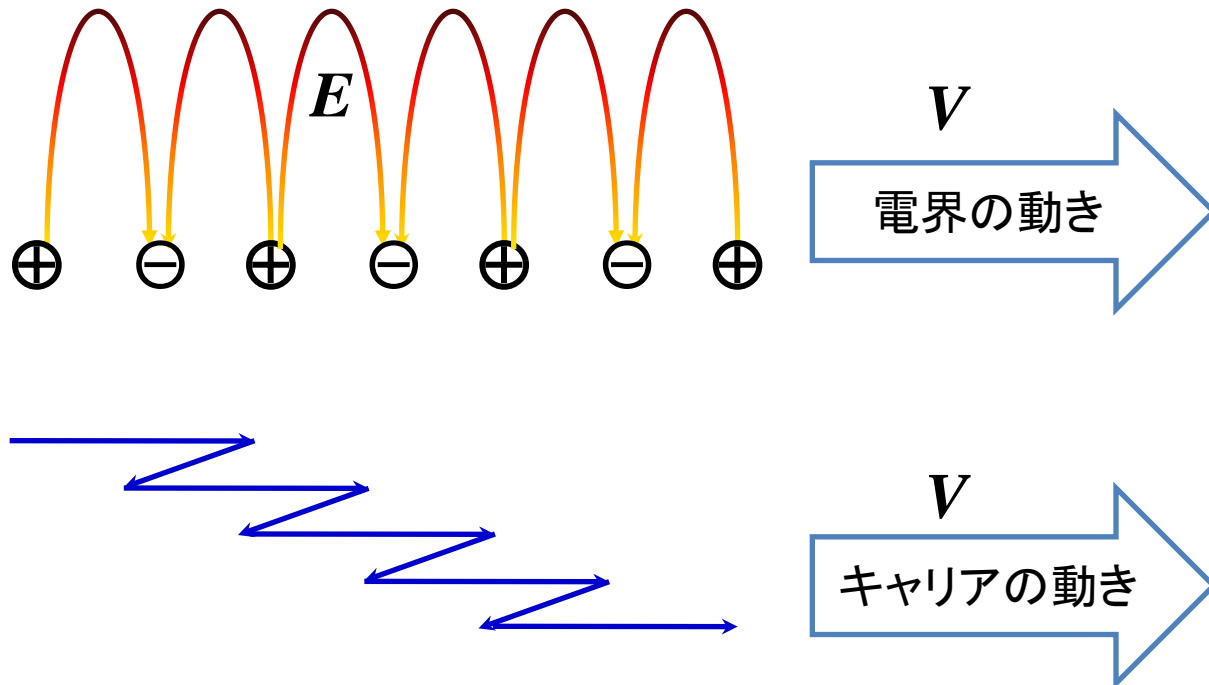
- 静電界と試料との配置



☆ 静電界の高さは、弾性表面波の1波長程度である

2. 測定原理

- 試料中電界とキャリアの動き



3. 測定法の特徴

- 静電誘導効果

☆実物粒子が伴わないため、試料への侵入バリアーはない

☆侵入深さは、試料のキャリア濃度によって決まる

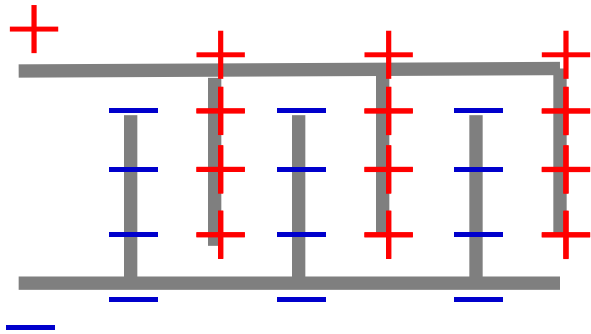
☆通常圧電体の場合、表面波(静電界)の移動速度は
4km/s程度のため、導体に対して静電誘導ほかならない

3. 測定法の特徴

- 静電界のエネルギー密度

☆ $U_e = N \epsilon_0 E^2 / 2$

☆ 微細加工電極間の距離で電界強度が決められる



圧電体表面での電荷分布と静電界移動

3. 測定法の特徴

- 試料への侵入深さ

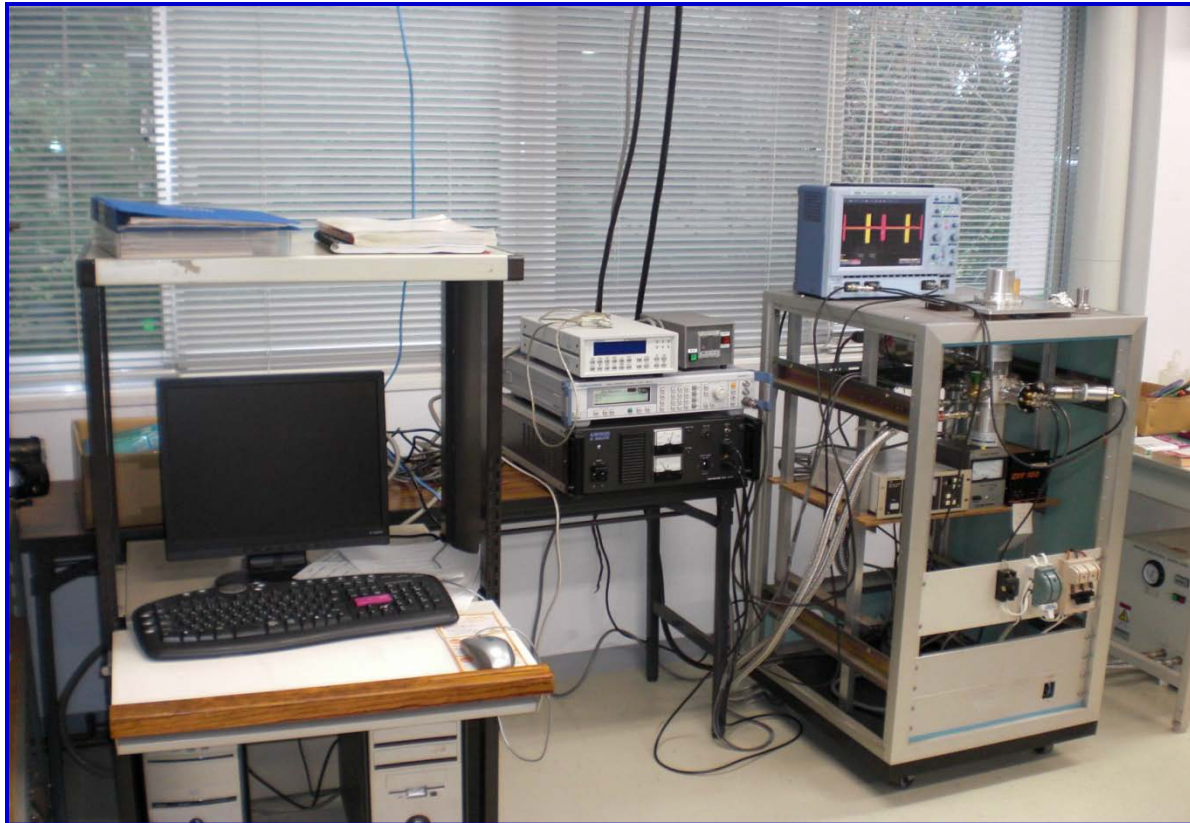
☆ 圧電体表面電荷の静電誘導効果によって、試料中同量の鏡像電荷を形成するための厚さ

☆ 試料中キャリア濃度に依存する

☆ $20\Omega\text{cm}$ 程度のSiウェハ－は $300\mu\text{m}$ 、YBCO超伝導体は室温では 1nm 程度である

3. 測定法の特徴

- 測定装置1 (高周波電源)



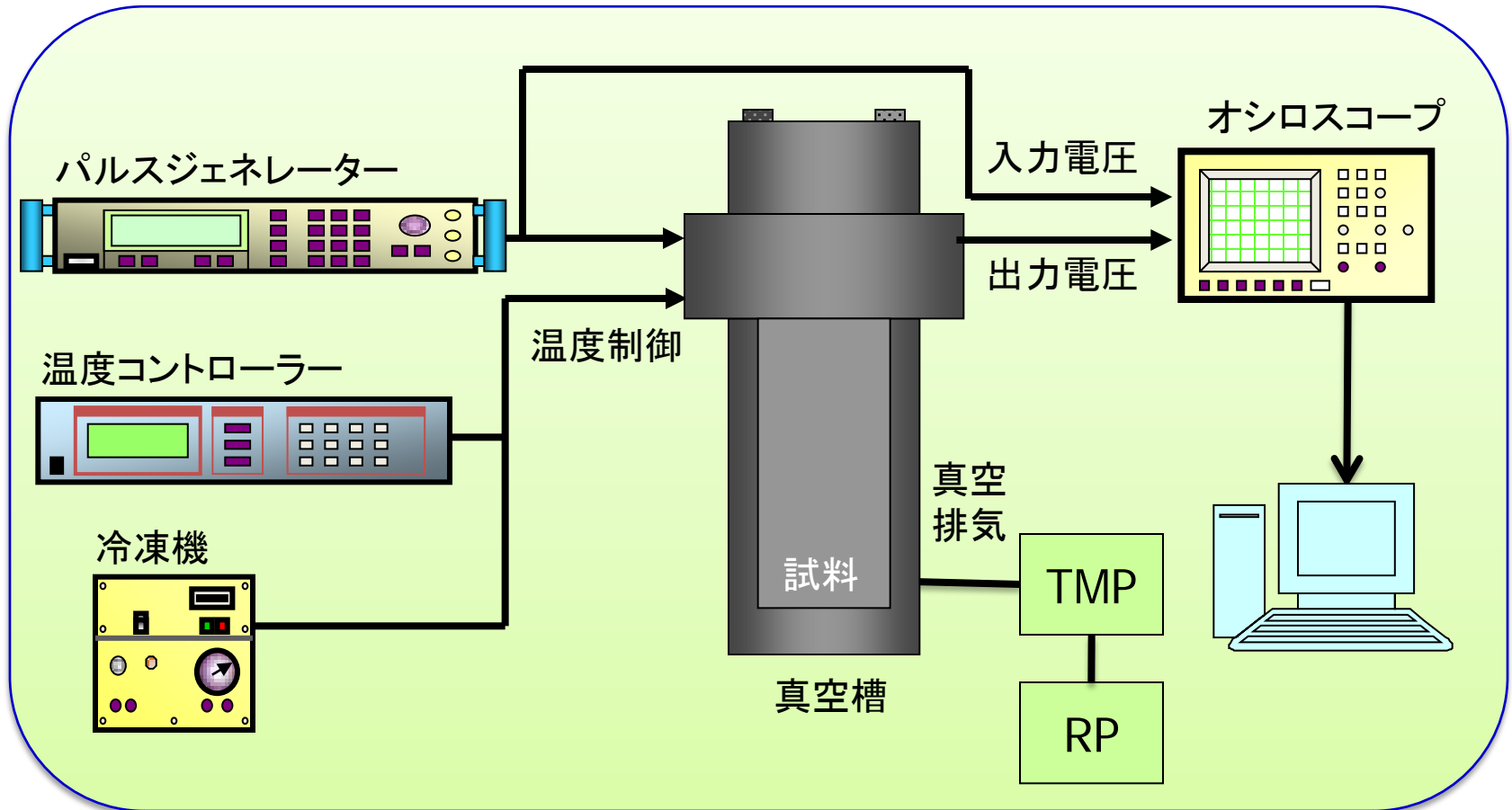
3. 測定法の特徴

- 測定装置2(直流パルス電源)



3. 測定法の特徴

- 測定システム



4. 測定例

- 超伝導材料

☆ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$, Be

- 半導体材料

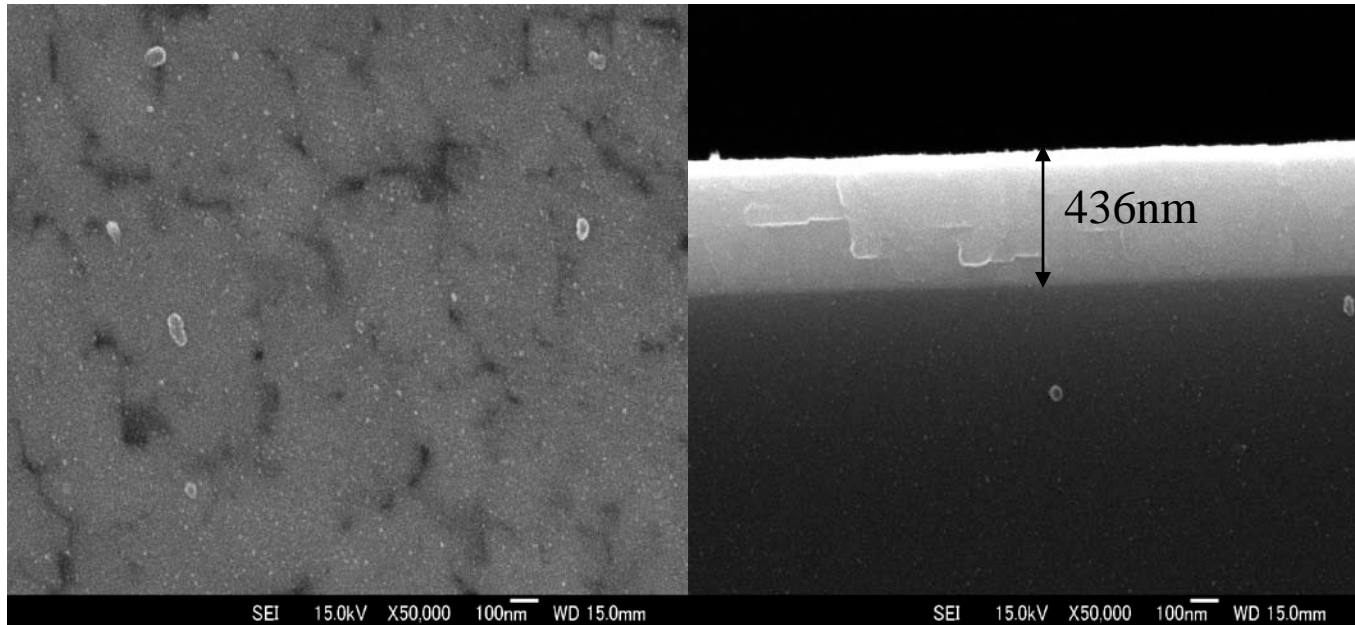
☆ $\text{Si}(\text{Sb})$, $\text{Si}(\text{P})$, $\text{Si}(\text{B})$, $\text{Ge}(\text{Sb})$, $\text{Ge}(\text{In})$

- フラーレン材料

☆ carbon nanotube, C_{60} , C_{70} , $\text{C}_{60}\text{H}_{36}$

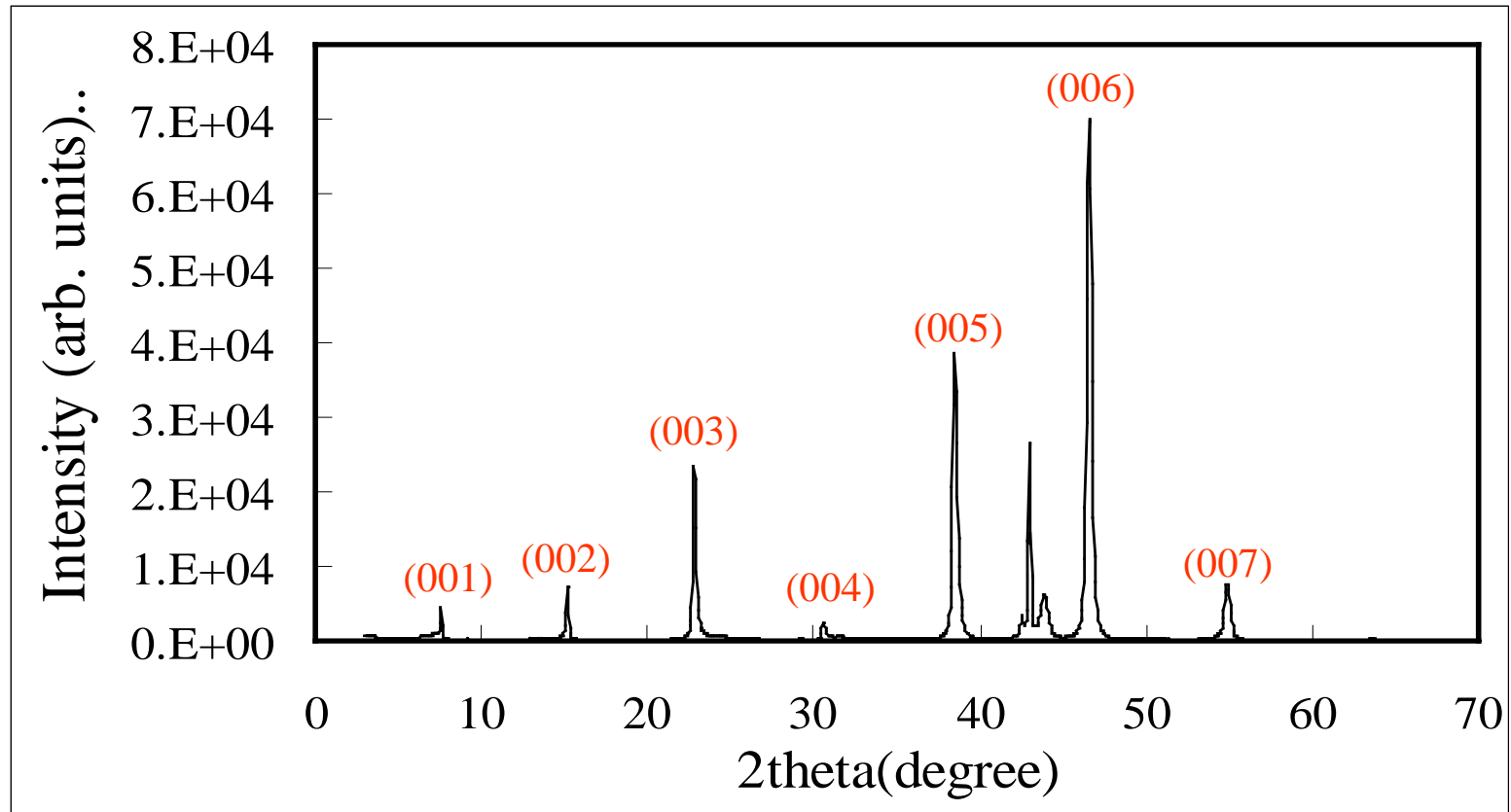
4. 測定例

- 超伝導材料 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

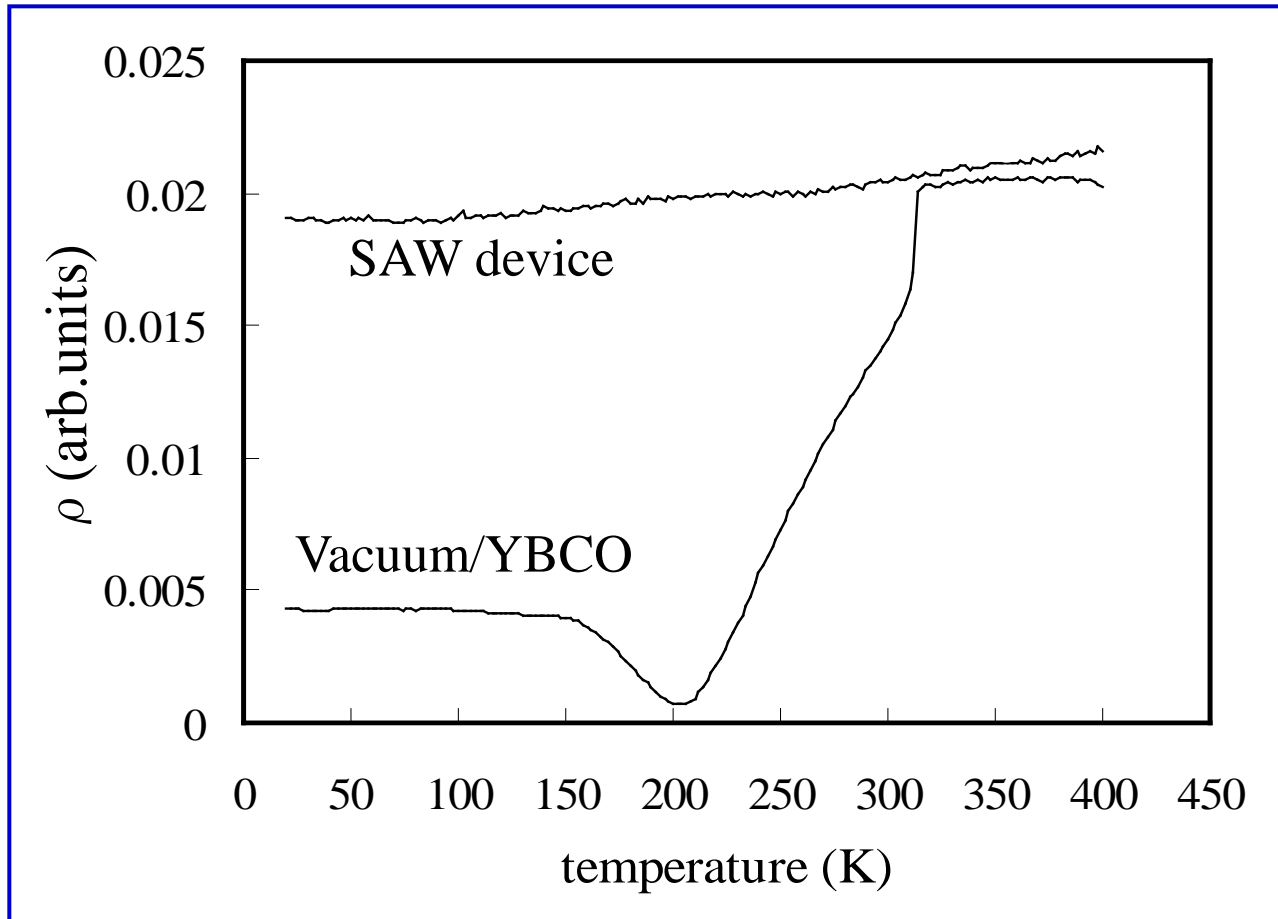


4. 測定例

- 超伝導材料 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

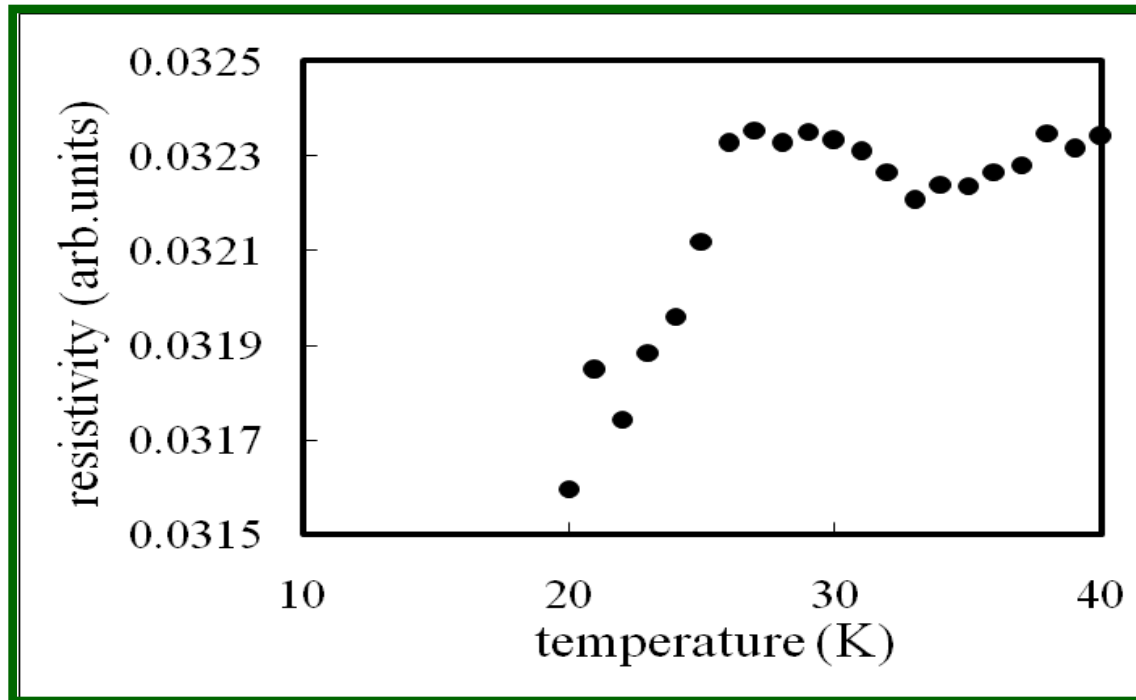


4. 測定例



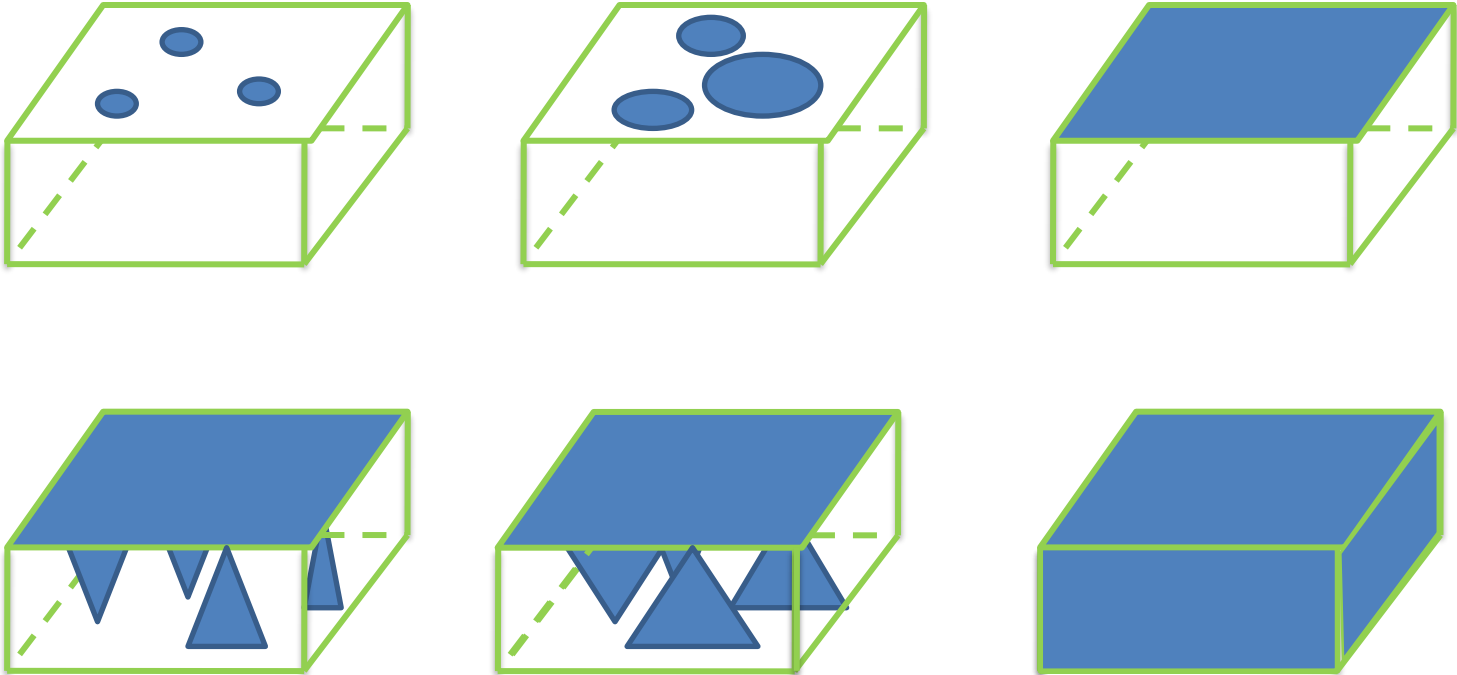
4. 測定例

- 超伝導材料 Be



☆理論計算では、Be表面超伝導の転移温度は70K

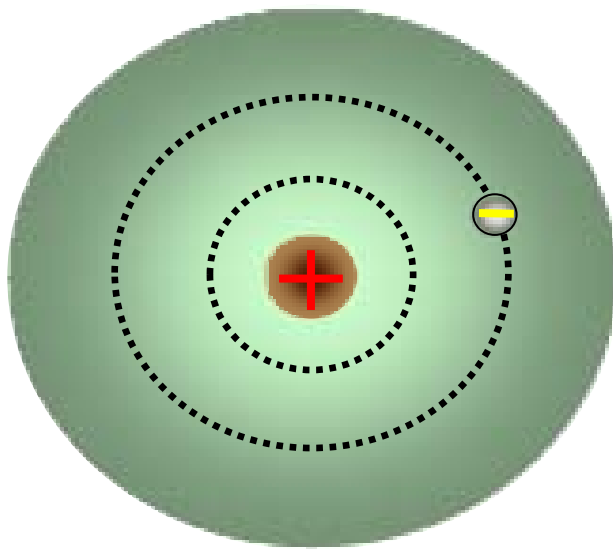
4. 測定例



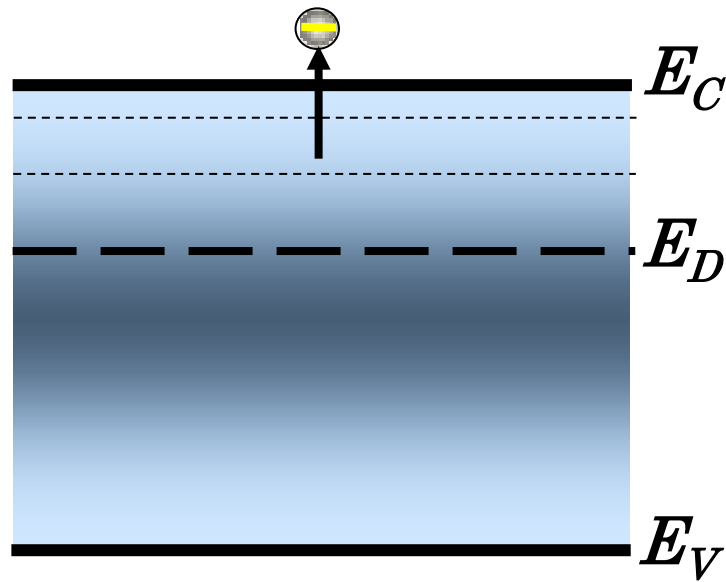
☆表面超伝導発生のプロセス

4. 測定例

- 半導体量子伝導及び不純物準位の測定



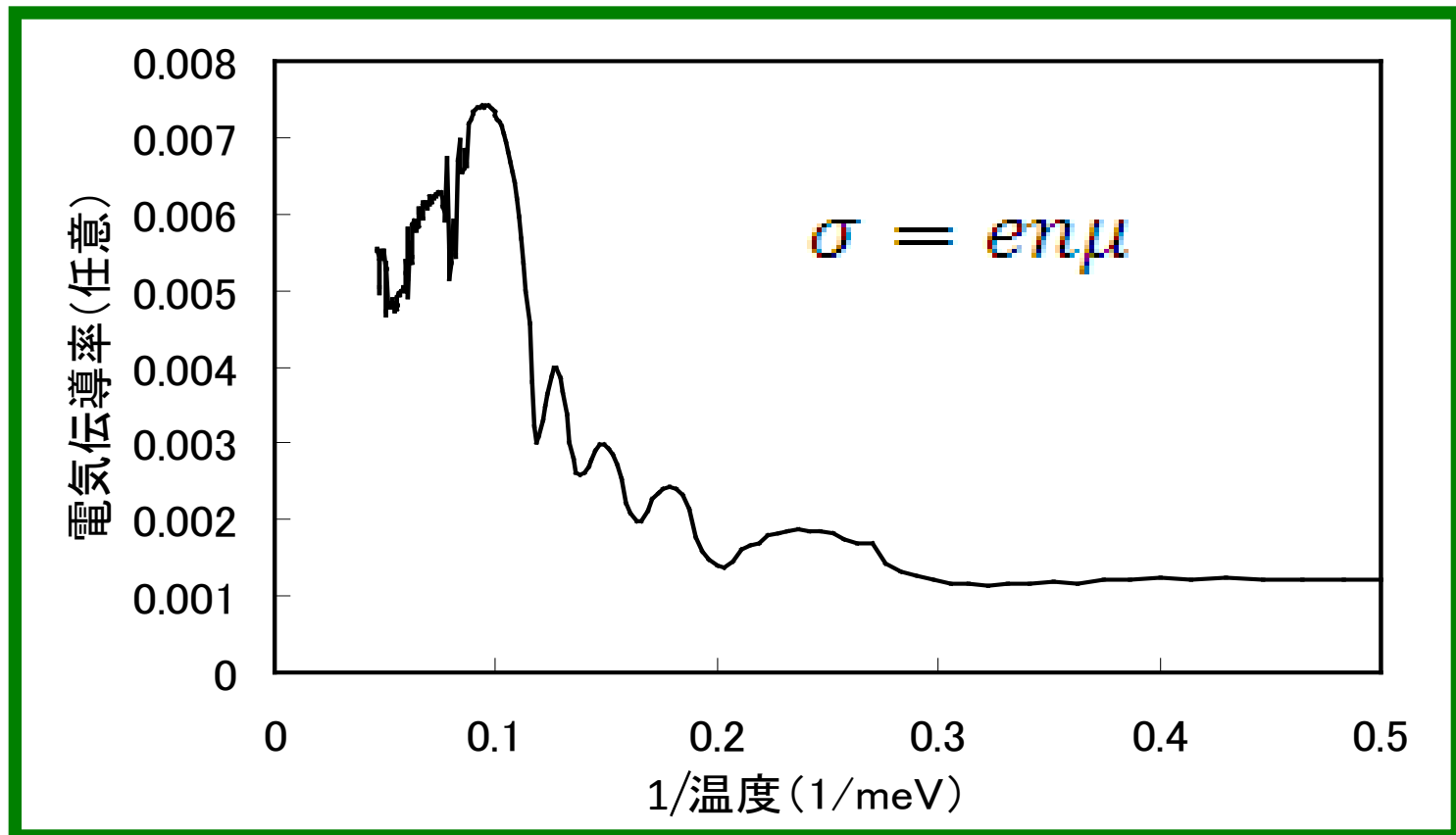
Sbドナー原子



イオン化エネルギー準位図

4. 測定例

- 半導体材料 Si(Sb)



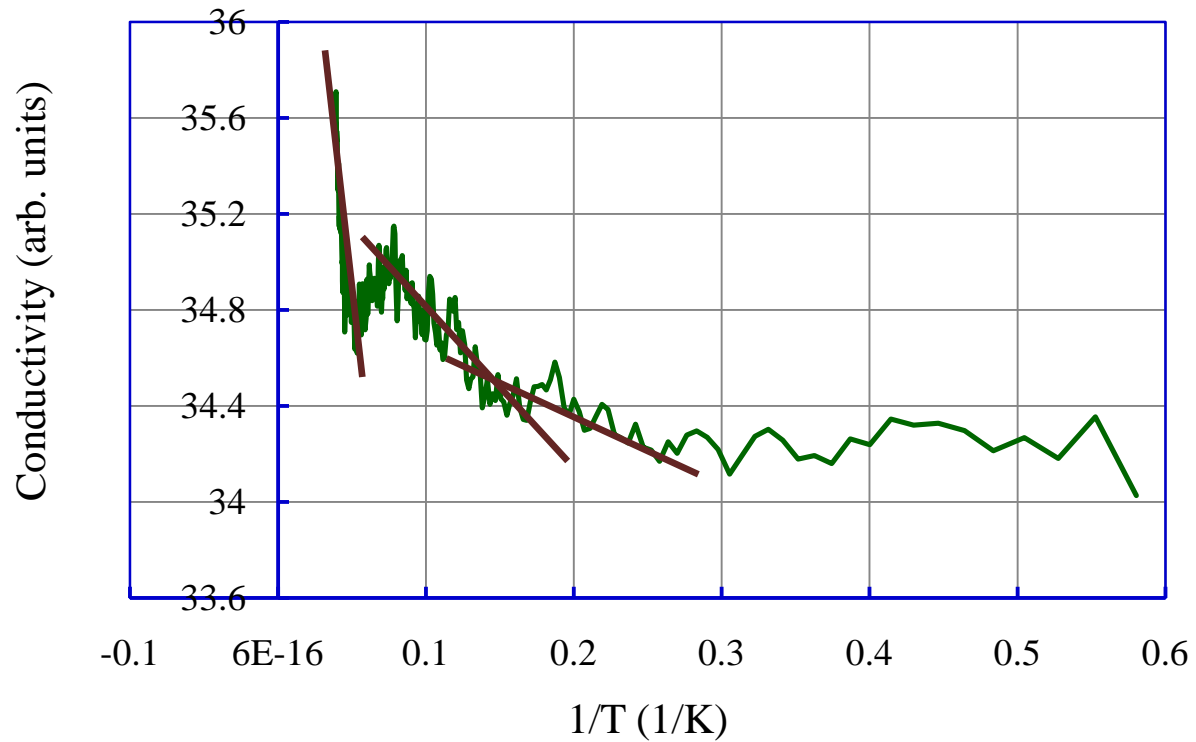
4. 測定例

- 半導体材料 Si(Sb)

準位(meV)	実験値	文献値
A_1	44.5	42.7
T_2	32.6	32.9
E	30.2	30.5
$2p^0$	16.6	11.5

4. 測定例

- 半導体材料 Ge(Sb)



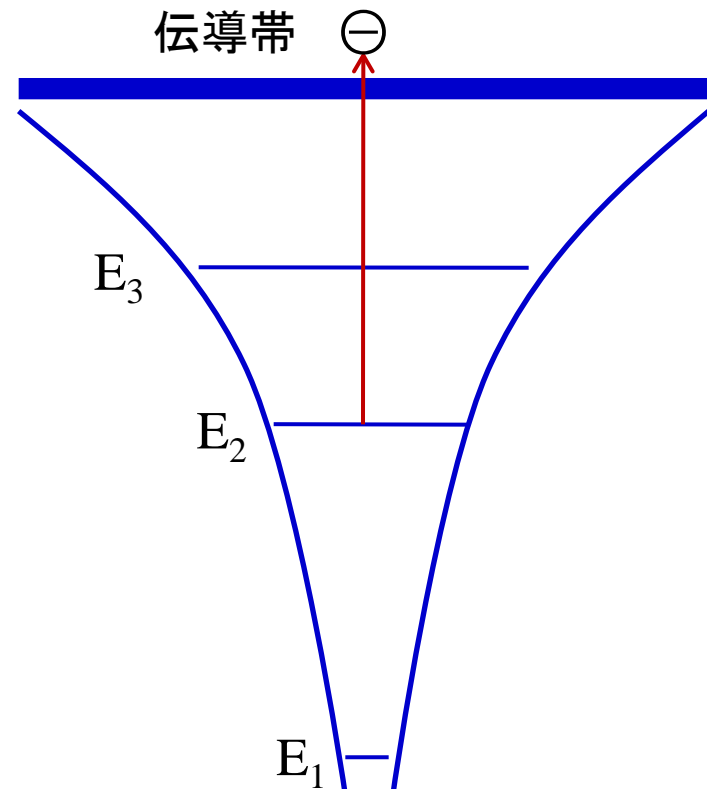
4. 測定例

準位 (meV)	理論値	文献値	昇温	降温
A ₁	9.66	10.35	9.60	9.64
T ₂	4.50	4.50	5.02	4.42

☆ Ge結晶中Sbドナー準位の測定結果

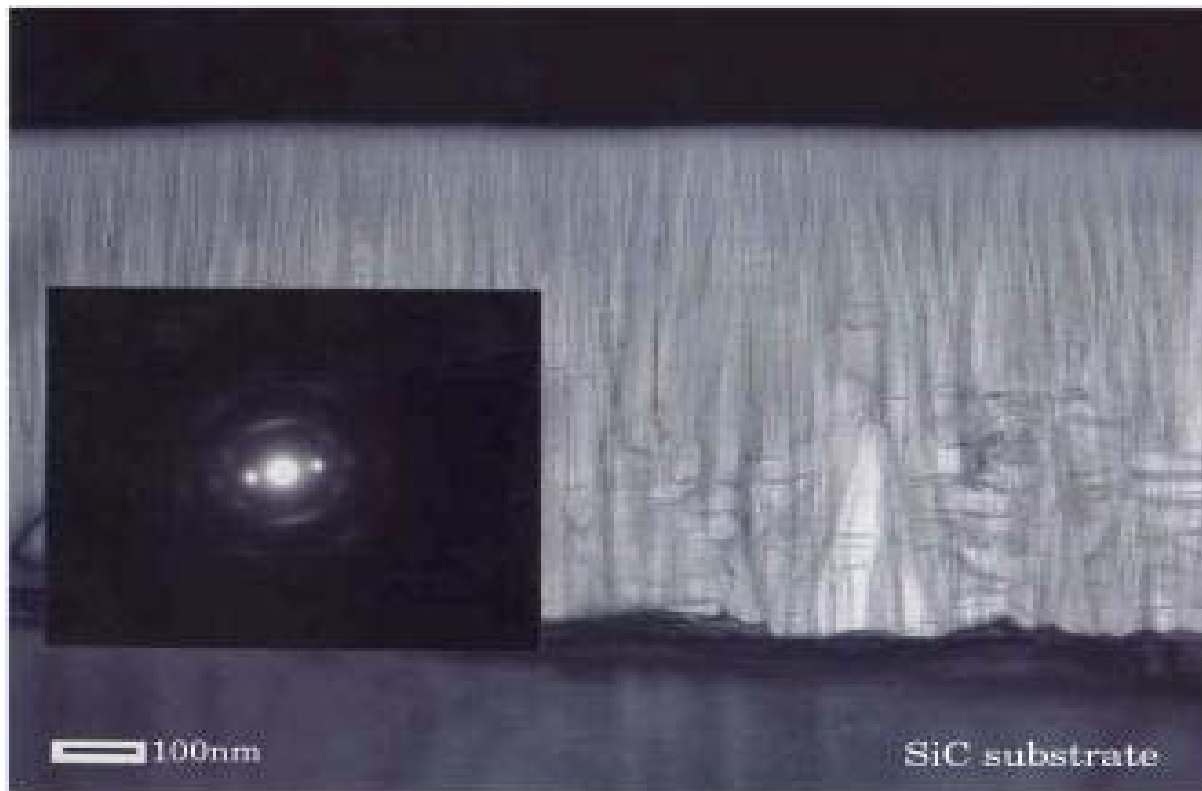
4. 測定例

- ☆ Ramsauer効果により、準位が常時電子に占有される
- ☆ 静電界の強度に従い、最低の準位から順次高い準位に占めていく
- ☆ 占有された準位から熱によって伝導帯に励起される
- ☆ 静電界の強度が十分低い場合、基底状態 E_1 しか観測されない

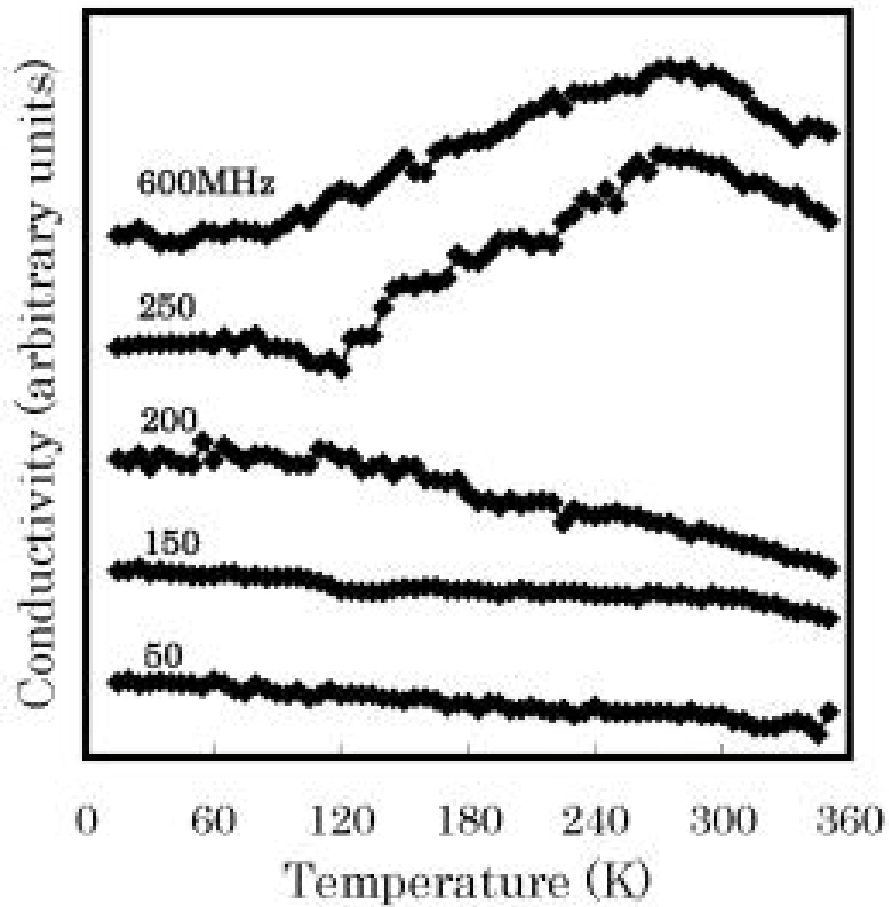


4. 測定例

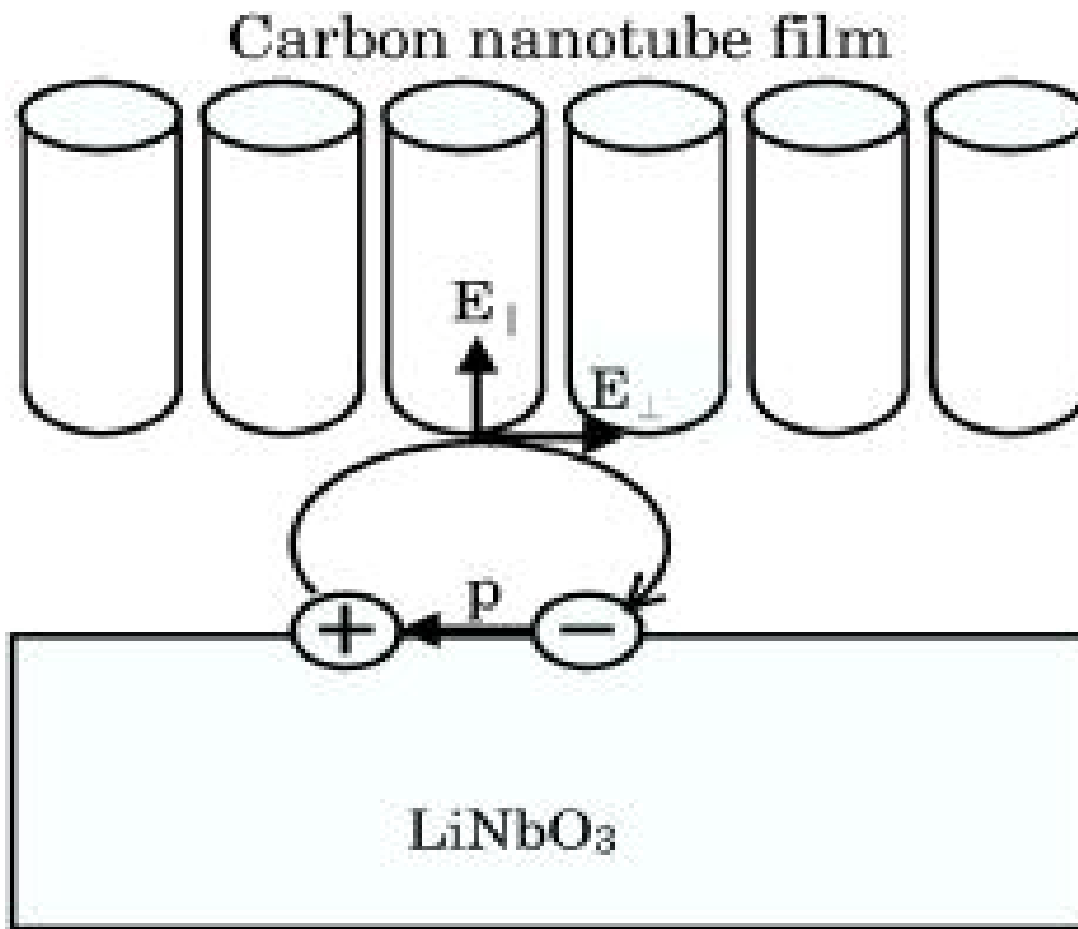
- フラーレン材料 carbon nanotube



4. 測定例



4. 測定例

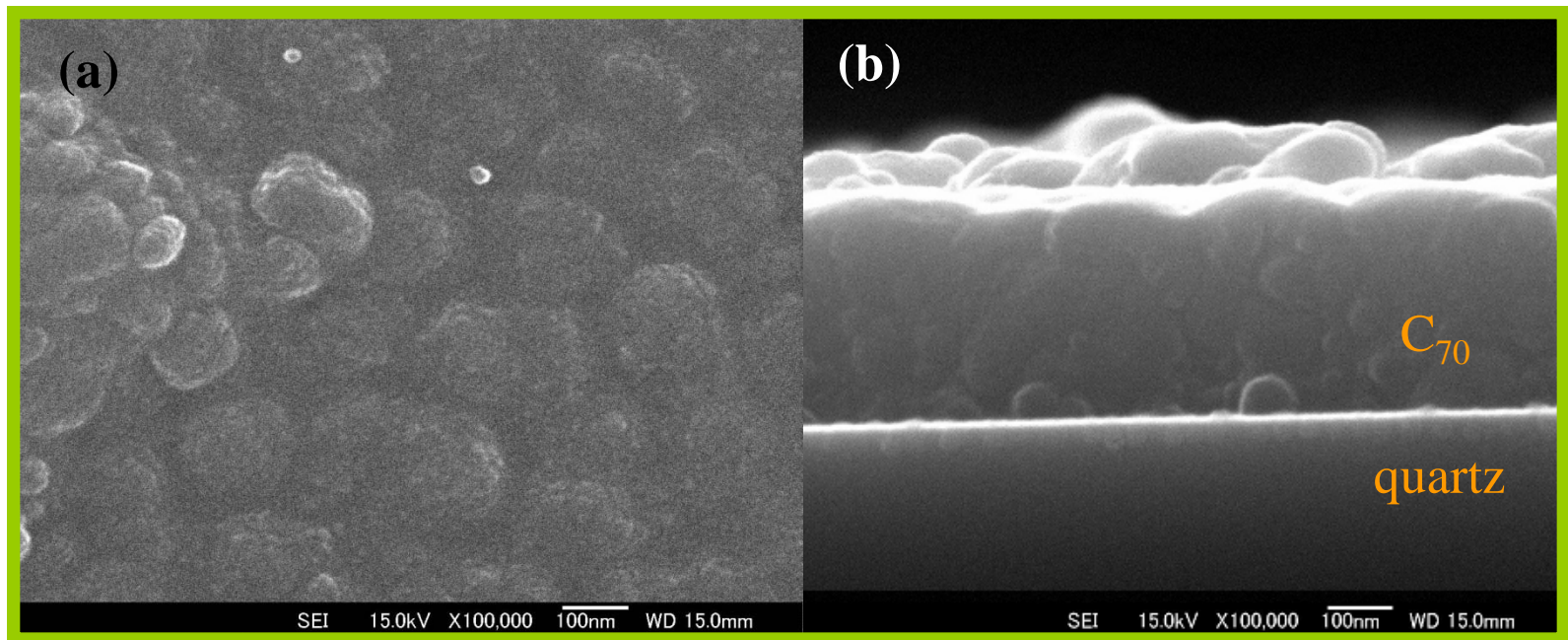


4. 測定例

- フラーレン材料 carbon nanotube
 - ☆ 多層カーボンナノチューブ膜の伝導率には、軸方向と軸垂直方向に異なった温度特性を示す
 - ☆ 軸方向では、金属-非金属転移が現れる
 - ☆ 軸垂直方向では、金属的特性を示す

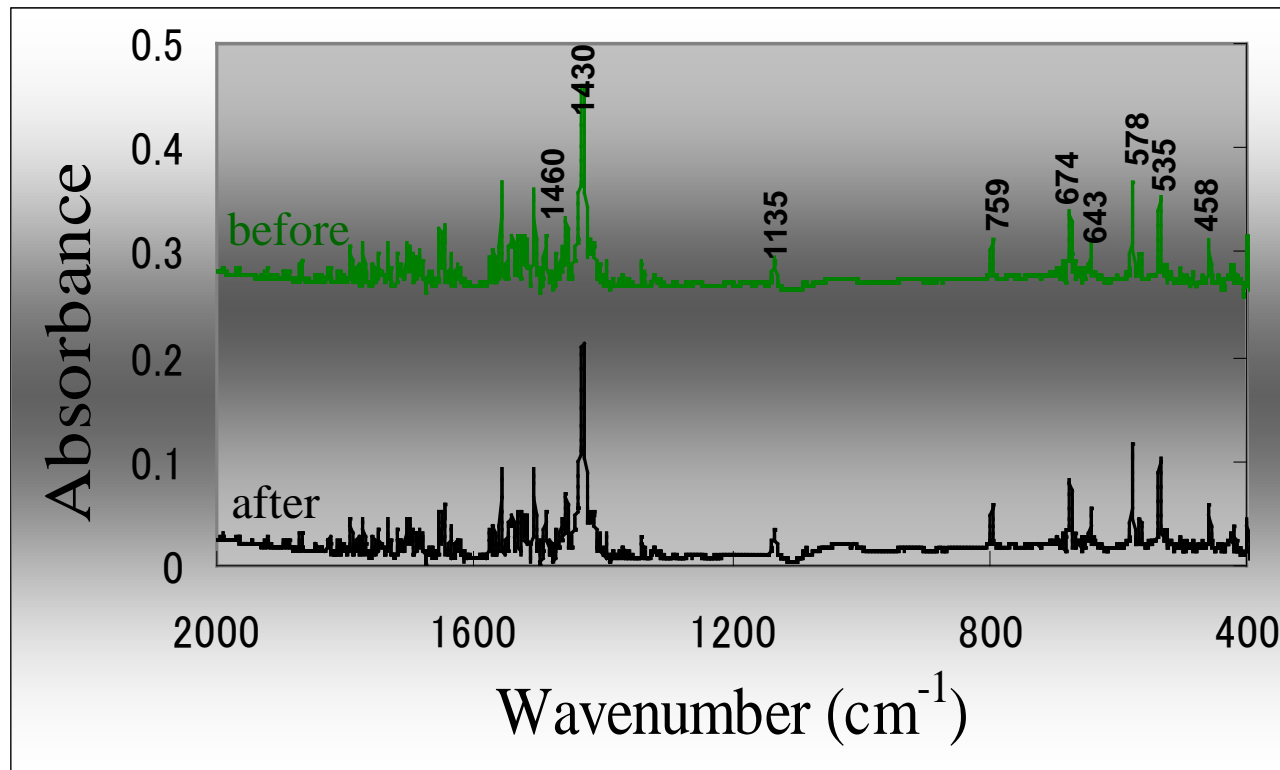
4. 測定例

- フラーレン材料 C_{70}



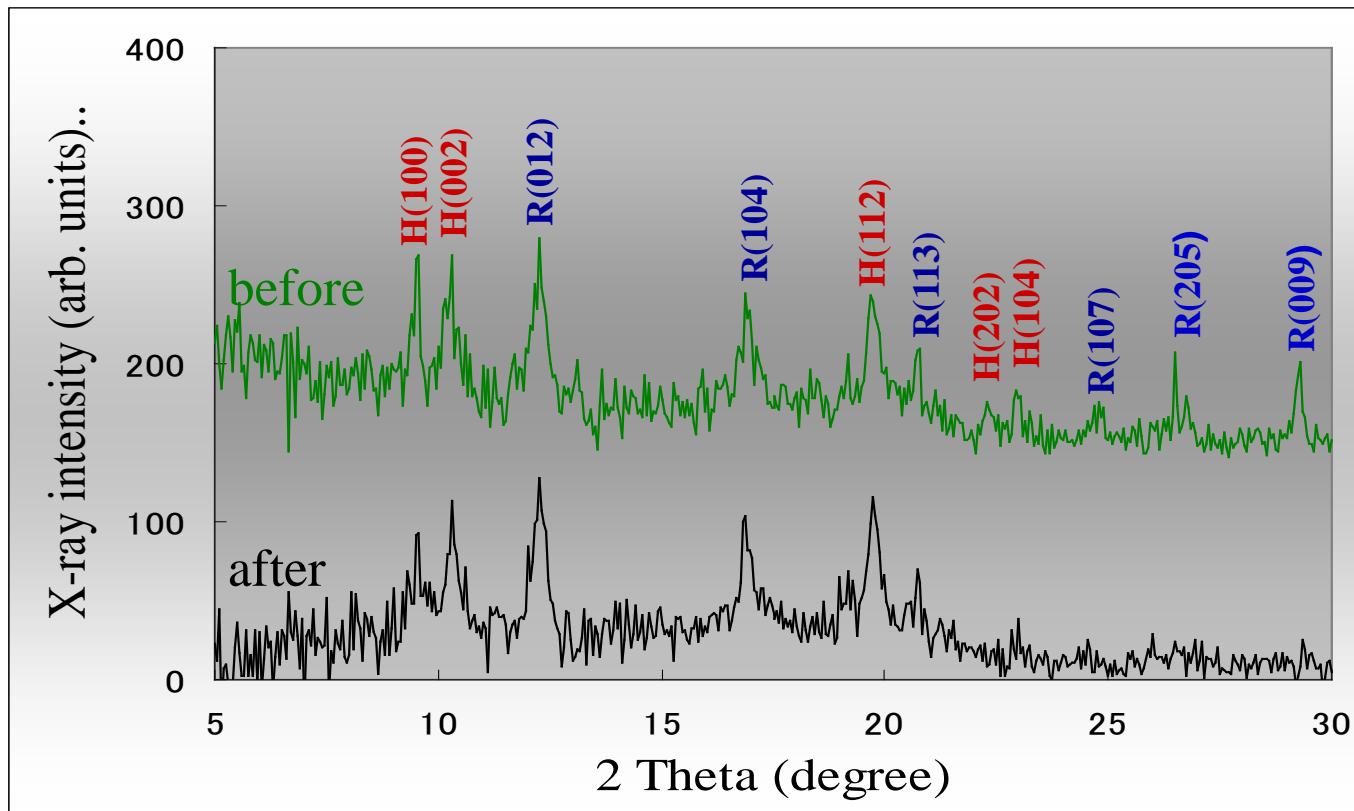
4. 測定例

- フラーレン材料 C_{70}



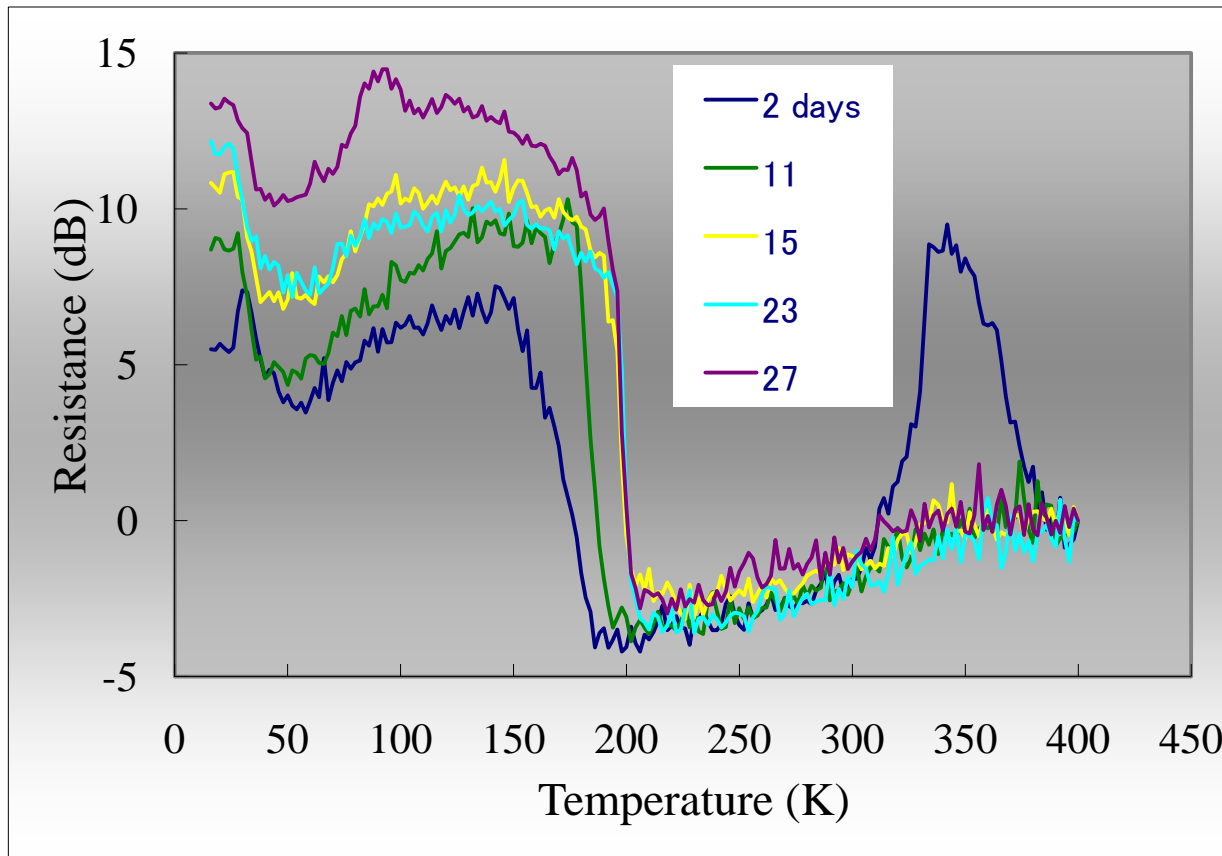
4. 測定例

- フラーレン材料 C_{70}



4. 測定例

- フラーレン材料 C_{70}



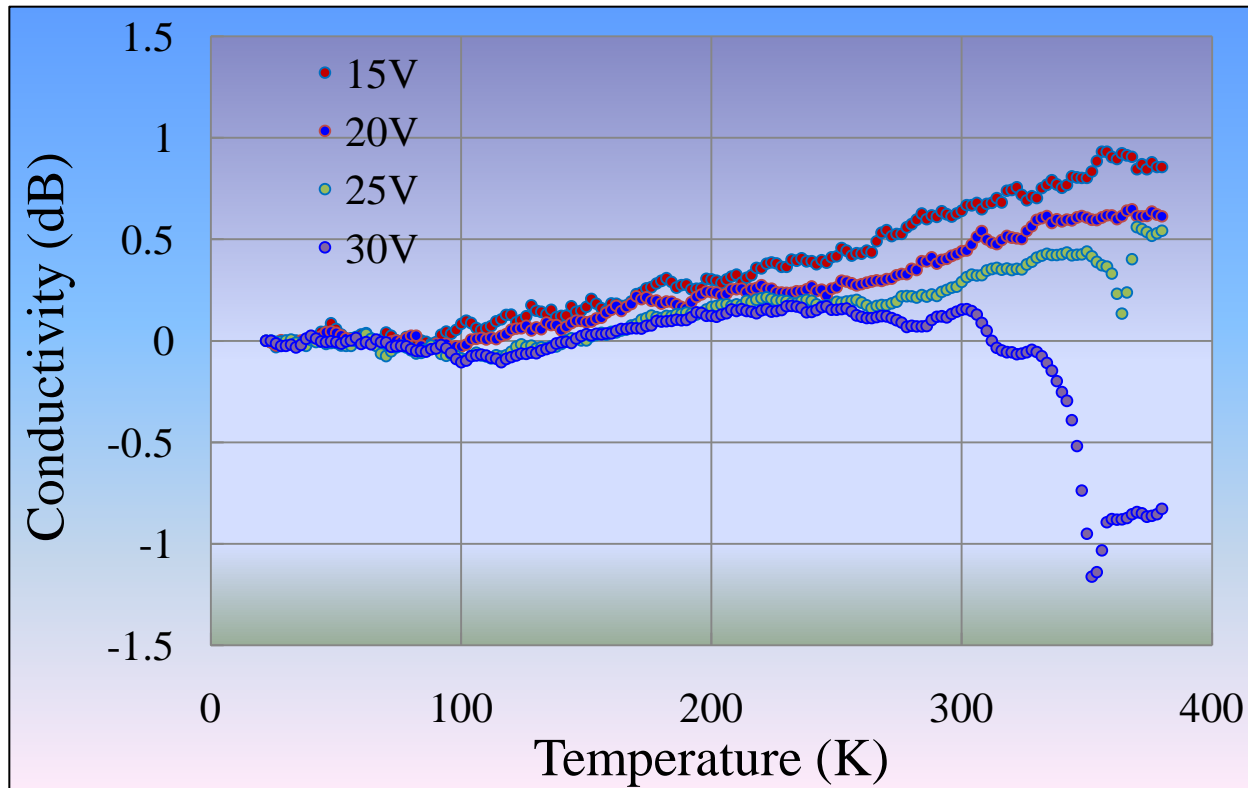
4. 測定例

- フラーレン材料 C_{70}

- ☆ C_{70} 表面吸着ガスの脱離は二日以上掛かる
- ☆ 熱活性型の伝導率温度依存が二か所みられる
- ☆ ガス吸着は、伝導率増加の活性化エネルギーに影響を与える

4. 測定例

- フラーレン材料 $C_{60}H_{36}$



4. 測定例

- フラーレン材料 $C_{60}H_{36}$

- ☆ 入力信号 V_{pp} の増加に従い試料内部の情報が検出される

- ☆ V_{pp} 依存性から試料表面付近に酸素の吸着及び $C_{60}H_{36}-O-H_{36}C_{60}$ の結合が形成され、伝導率は増加する

- ☆ 試料内部は絶縁体に近い

5. 問題点と展望

- 電気伝導（抵抗）率の相対値

- ☆ 電気伝導率の絶対値を得るには、標準試料が必要
- ☆ AE起電力を測定すれば伝導率からキャリア濃度と移動度が分離できる

- 試料への侵入深さの制御

- ☆ 現在、試料と圧電体間の距離はスペーサで調整している
この距離を自動調整できれば、電界の侵入深さが制御できるようになる

5. 問題点と展望

- 試料表面汚れ

- ☆ 現段階では高真空条件 (10^{-7} Torr) で測定しているため
表面汚れ効果を除去するために超高真空が望ましい
- ☆ 真空中での試料表面クリーニング機構の検討

- 磁場特性

- ☆ 磁場の印加を実現したい

5. 問題点と展望

- 高温測定

- ☆ 現段階の最高測定温度は230°C
- ☆ 現デバイスの最高利用温度は600°C
- ☆ 試料にガス吸着、脱離、拡散メカニズムの議論では十分とは言えない

- 磁場銃

- ☆ 磁歪材料を用いた磁場銃の開発も行っている

5. 問題点と展望

- 電界銃測定法の特徴

物質	金属	絶縁体
電子ビーム	導電	導電しない
電界ビーム	透過しない	透過

5. 問題点と展望

- 電界銃測定法のメリット
 - ☆ 非接触的な測定法
 - ☆ 広い温度測定範囲(3K~900K可能)
 - ☆ 高いS/N比、高精度
 - ☆ 大気雰囲気での評価も可能
 - ☆ 磁場の印加も可能
 - ☆ 試料のサイズは1cm角

5. 問題点と展望

- 予想される応用分野

- ☆ 新型(表面)超伝導材料の開発
- ☆ ステルス電波吸収材料の研究開発
- ☆ 量子コンピューターの研究
- ☆ ガス(水素)貯蔵材料の評価
- ☆ 有機・無機太陽電池材料の評価
- ☆ 量子ナノ(レーザー、光デバイス)材料の評価
- ☆ 半導体材料の量子伝導測定
- ☆ 原子炉材料ひび割れの検出
- ☆ 蒸気タービン腐食特性の評価など

本技術に関する知的財産権

- ★ 発明の名称: フラーレン類の分子回転速度測定方法
出願番号: 特願2002-203595
出願人: 科学技術振興事業団
発明者: 孫 勇
- ★ 発明の名称: 超伝導体表面抵抗率の非接触測定方法及びその測定装置
出願番号: PCT/特願2007-308901
出願人: 国立大学法人 九州工業大学
発明者: 孫 勇
- ★ 発明の名称: 半導体の電気伝導特性の非接触測定方法及びその装置
出願番号: 特願2009-134286
出願人: 国立大学法人 九州工業大学
発明者: 孫 勇

お問い合わせ先

九州工業大学 産学連携推進センター

コーディネーター: 尾仲武基、大矢伸宏

尾仲武基

TEL: 093-884-3499

FAX: 093-884-3531

e-mail onaka@ccr.kyutech.ac.jp

大矢伸宏(東京サテライトオフィス)

TEL: 03-5440-9070

e-mail ohya.nobuhiro@gmail.com