

○北海道大学大学院理学研究科物理学専攻

- |  |        |
|--|--------|
| 1. 走査型トンネル顕微鏡によるブルーブロonzの電荷密度波の並進運動の観測                         | 市村 晃一  |
| 2. $C_5RbSO_4$ の X 線結晶構造解析                                     | 伊藤 康之  |
| 3. 量子強誘電体の臨界現象   | 加藤 裕治  |
| 4. Bi-Sr-Ca-Cu-O 系超伝導体単結晶のラマン散乱                                | 木村 俊則  |
| 5. $UAl_2$ 系の磁性  | 桑井 智彦  |
| 6. $Ce_xNd_{1-x}Ag$ における構造相転移                                  | 高橋 明子  |
| 7. $YBa_2(Cu_{1-x}T_x)_3O_7$ ( $T = Fe, Co$ ) の Cu-NQR         | 中道 洋友  |
| 8. Cu-NQR による酸化物超伝導体 $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ の電氣的・磁氣的性質の研究         | 中村 有希  |
| 9. GaAs/AlAs 短周期超格子の電子構造                                       | 中山 毅   |
| 10. Ce 化合物の構造相転移の非線形帯磁率による研究                                   | 波多野 将明 |
| 11. イジング・スピングラス $Fe_xTiS_2$ のスピン緩和                             | 松倉 文礼  |
| 12. $(La_{1-x}M_x)_2CuO_4$ ( $M = Ba, Sr$ ) の超伝導と構造相転移に対する圧力効果 | 山田 修史  |

1. 走査型トンネル顕微鏡によるブルーブロonzの電荷密度波の並進運動の観測

市 村 晃 一

走査型トンネル顕微鏡 (STM; scanning tunneling microscope) は試料と tip との間の電子のトンネル効果を利用して表面の電子状態を調べる測定手段である (図 1)。トンネル電流  $I$  は試料と tip との距離  $d$  に指数関数的に依存する。

$$I = I_0 \exp(-d/d_0) \quad d_0: \text{波動関数の広がり} \quad (1)$$

このトンネルは tip 先端のほとんど原子 1 個の領域で起こるため、原子オーダーで試料表面の情報を得ることができる。

ブルーブロンズ $K_{0.5}MoO_3$ は擬一次元電気伝導体であり、180Kでパイエルズ転移を生じ、それ以下では電荷密度波(CDW; charge density wave)を形成する。このCDWは、しきい電場 $E_T$ 以上で並進運動をし、それに伴い非線形伝導や狭帯域雑音が観測される。本研究の目的はSTMを用いて、ブルーブロンズの表面のCDWの並進運動を直接的に観測しその物性を探ることである。

まずCDWの並進運動に関して試料を評価するために80Kで電気伝導を測定した。二端子法での電流-電圧特性において、非線形伝導が観測され、しきい電場 $E_T$ は88mV/cmである(図2)。直流電流に対する電圧応答をスペクトラム解析すると、 $E_T$ 以上で狭帯域雑音が観測された(図3)。

狭帯域雑音は、CDWが並進運動する際、周期的なピン止めポテンシャルによって速度変調を受けるために生ずる。狭帯域雑音の基本周波数 $F$ はCDWの担う電流密度 $J_{CDW}$ に対して

$F/J_{CDW} = 1/n_c e \lambda_{CDW}$   $n_c$ ; CDWに凝縮する電子数密度,  $\lambda_{CDW}$ ; CDWの波長 (2) を満たす。 $n_c$ ,  $\lambda_{CDW}$ は一定であり、 $F$ は $J_{CDW}$ に比例する。CDWが並進運動すれば、格子変位は時間に関し周期的に変化する。STMを用いた測定ではtipと試料との距離(式(1)の $d$ )が変調されることになり、トンネル電流も式(2)にしたがって変調を受けると期待される(図1)。

このトンネル電流の変調によりCDWの並進運動をとらえる目的で、STMを用いて測定を行った。tipの位置を固定し、tipと試料の間に100mVのバイアス電圧を加え2~5nAのトンネル電流が流れるように調節した。この条件で試料にCDWを並進させるための電流を流し、トンネル電流をスペクトラム解析した。トンネル電流のスペクトルにおいて、 $E_T$ 以上つまりCDWが並進している電流領域では $E_T$ 以下では存在しなかった新たな変調のピークが観測された(図4)。この変調周波数は電場の増加と共に高周波側へずれていくこと、および狭帯域雑音の周波数と同程度であることからCDWの並進運動に起因することが結論される。表面のCDWは常にピン止めされているという主張<sup>1)</sup>もあったが、この測定により表面でのCDWの並進が直接的に証明された。

トンネル電流の変調周波数および狭帯域雑音の周波数から、それぞれ試料表面、内部でのCDWの並進速度 $V_{CDW}$ が求まる(表1)。 $E_T$ 直上では表面でのCDWの並進速度は内部に比べ速いという結果が得られた。トンネル電流の変調の、 $F/J_{CDW}$ の低電場での非常に大きな値は表面付近のごく一部でのみ並進していることを示している。電場の増加と共に試料内部でも次々とピン止めがはずれ、 $F/J_{CDW}$ は減少する。表面のCDWが並進しやすいのは内部に比べ三次元性ロッキングが弱いためと考えられる。また、過制振動モデル<sup>2)</sup>との比較から、表面でのCDWには、しきい電場まではピン止め力が働いているが、CDWが並進し始めると急激にピン止め力が減少するということが考えられる。

## References

- 1) J. Chen, H.C. Saint-Lager and P. Monceau, CDW-AUSSOIS 87 (1987)
- 2) P. Monceau, J. Richard and M. Renard, Phys. Rev. **B25**, 931(1982)

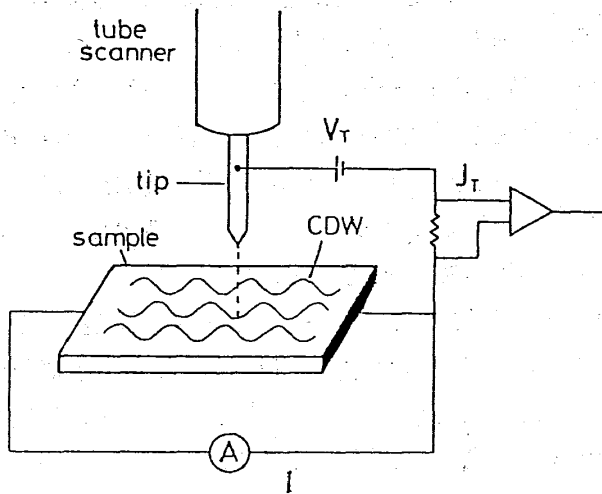


図1 トンネルユニット概念図

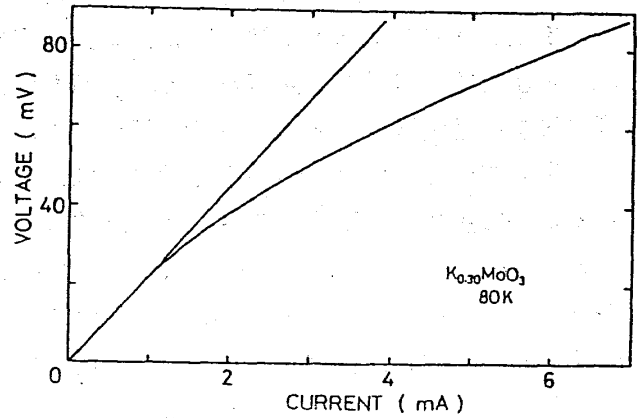


図2 電流-電圧特性

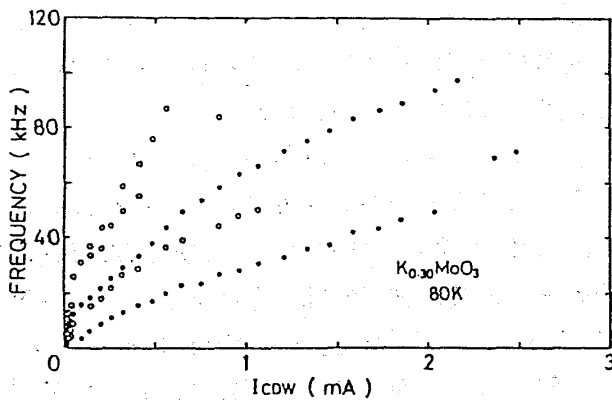


図3 狭帯域雑音周波数-CDW電流

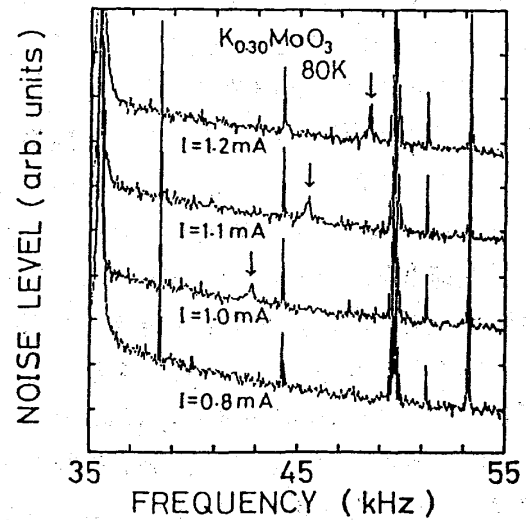


図4 トンネル電流のスペクトル

表1

| E<br>( $\mu\text{V}/\text{cm}$ ) | トンネル電流の変調 (表面) |                      |  | 狭帯域雑音 (内部) |                      |  |
|----------------------------------|----------------|----------------------|--|------------|----------------------|--|
|                                  | F<br>(kHz)     | $V_{CDW}$<br>(cm/s)  | $F/J_{CDW}$<br>(kHz $\text{cm}^2/\text{A}$ ) | F<br>(kHz) | $V_{CDW}$<br>(cm/s)  | $F/J_{CDW}$<br>(kHz $\text{cm}^2/\text{A}$ ) |
| 120                              | 56             | $5.7 \times 10^{-3}$ | 730  | 6.3        | $6.3 \times 10^{-4}$ | 81   |
| 226                              | 78             | $7.8 \times 10^{-3}$ | 51   | 51         | $5.1 \times 10^{-3}$ | 33   |