

## In(Sn)/Cu(001)表面における相転移現象の SPELEEM による観察 SPELEEM observation of phase transitions on In(Sn)/Cu(001) surfaces

八田振一郎<sup>a</sup>、有賀哲也<sup>a</sup>、郭方准<sup>b</sup>

Shin-ichiro Hatta<sup>a</sup>, Tetsuya Aruga<sup>a</sup>, Guo Fang Zhun<sup>b</sup>

<sup>a</sup> 京都大学、<sup>b</sup> 高輝度光科学研究センター

<sup>a</sup>Kyoto university, <sup>b</sup>JASRI

BL27SU/SPRING-8 に設置された分光型光電子・低エネルギー電子顕微鏡を用いて、In/Cu(001)および Sn/Cu(001)表面における電荷密度波相転移について研究を行った。In/Cu(001)表面では、300 nm 程度のサイズを持つドメイン構造が観察された。転移温度 (~350 K) 以上に加熱された試料では、異なるパターンが形成された。これは観察されたパターンが相転移におけるゆらぎを反映したものであることを示している。さらに、画像強度の標準偏差の温度依存性を解析した。

The charge-density-wave (CDW) phase transitions on In(Sn)/Cu(001) have been studied by using spectroscopic photoemission and low-energy electron microscopy at BL-27SU/SPRING-8. For In/Cu(001), we observed a spatial pattern of CDW domains with a characteristic length scale of ~300 nm. At the sample once annealed above the transition temperature (~350 K), a different pattern was formed. This shows that the observed pattern reflects the fluctuation during the transition. In addition, we analyzed the temperature dependence of the standard deviation of the image intensity.

### 背景と研究目的

近年結晶表面において形成されたナノ構造 (ナノワイヤー、ナノ薄膜など) において、低次元電子系特有の現象が多く報告されている。低次元電子系においては、電子-電子、電子-格子などの相互作用が低温で顕著になり、電荷密度波 (CDW) 状態や超伝導状態などが生じることが予想されている。このような相転移を示すナノ構造は可逆的に電磁気的な特性を大きく変化させることができることから、ナノ電子デバイス素子としての可能性が指摘されている。

Cu(001)表面に形成された In および Sn 単原子膜は、温度について可逆的な転移を示すことが報告されている<sup>1,2)</sup>。この相転移については主に電子状態に関する研究からパイエルス型の CDW 転移であることが示されている。構造転移については走査トンネル顕微鏡などにより局所的な観察がされている一方、メソスコピックなスケールでの秩序形成に関する知見は得られていない。

一方、分光型光電子・低エネルギー電子顕微鏡 (SPELEEM: spectroscopic photoemission

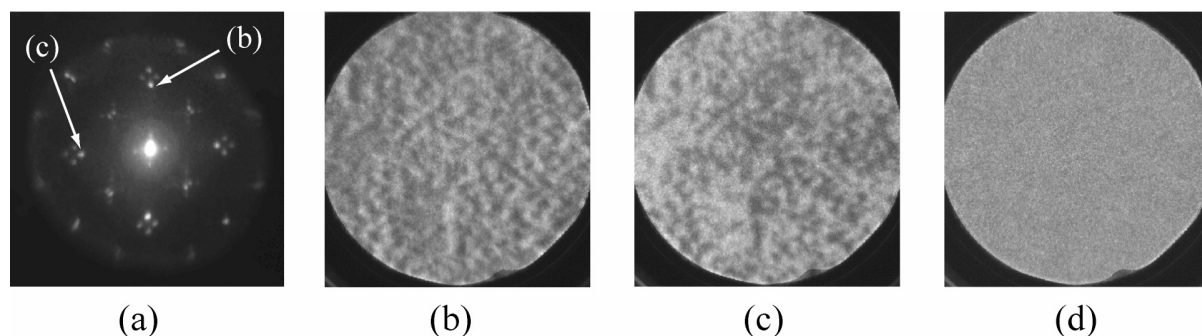


Fig.1 (a) A LEED pattern of the In/Cu(001)-(9√2×2√2)R45° surface at  $E_p=30$  eV. (b)–(c) Dark-field images formed by the LEED spots of the equiprobable domains at 300K. (d) A dark-field image at ~355 K.

and low-energy electron microscopy)は高い空間分解能 (~50 nm) を有しながら広い領域の観察が可能である。さらに微小領域を選択した回折パターンの測定や、放射光を用いた光電子分光も同時に行える。電子状態および構造が密接関係した表面現象の研究に非常に適した装置と言える。

本研究では、CDW 相のドメイン構造と、相転移によるドメインの消失過程を観察し、相転移における動的過程の理解を目的としている。

## 実験

実験は BL27SU に設置された SPELEEM 装置を用いて行った。Cu(001)基板の清浄化は既報<sup>1)</sup>の手順により行った。In と Sn の蒸着は室温の基板に対して行い、超構造スポットの強度をモニターし、その強度が最大となった表面について LEEM 暗視野像での観察を行った。

## 結果及び考察

図 1 (a)に示した LEED (low-energy electron diffraction) パターンは In/Cu(001)-(9√2×2√2)R45°表面について得られたものである。図中に矢印で示した両スポットは異なるドメインによる。それぞれから得られた LEEM 像が図 1(b)お

よび(c)である。2つの LEEM 像のコントラストは互いに反転した関係にあることが分かる。観察されたドメイン構造のサイズはおよそ 300 nm 程度であった。この構造は昇温とともにそのコントラストが失われ、350 K 付近において消失し、図 1(d)のような像が観察された。この表面を室温まで戻すと、加熱前と同程度のサイズを持つドメイン構造が形成されたが、個々の形状は加熱前とは異なっていた。これは、ドメイン構造がステップや欠陥などによるものではなく、CDW 相の秩序形成過程における揺らぎを反映したものであることを示している。

また、LEEM 像の強度分布の解析から、その標準偏差が室温付近から転移温度(~350 K)まで指数~1/4 で減衰することが分かった。現在、空間パターンの温度変化についても解析を進めている。

## 今後の課題

今回の実験では CDW 相におけるメソスコピックな空間パターンを初めて観測することができた。しかし、輝度の問題から秩序揺らぎを時間スケールで測定することはできなかった。また、価電子帯光電子による光電子顕微鏡像から CDW 相と金属相を識別できることを期待したが、コントラストが得られなかった。これについても、輝度が重要であったと考えている。

励起光のエネルギーの選択と集光、電子レンズ系のさらなる調整によってこのような問題は克服できると考えており、今後実験を計画していきたい。

## 参考文献

- 1) T. Nakagawa *et al.*, Phys. Rev. Lett. **86**, 854 (2001).
- 2) J. Martínez-Blanco *et al.*, Phys. Rev. B **72**, 041401(R) (2005).