

モアレパターンを利用した窒化鉄膜の局所ひずみ観察

○服部 卓磨^{1*}, 河村 紀一¹, 飯盛拓嗣¹, 宮町俊生¹, 小森文夫¹

¹ 東京大学物性研究所

Observation for local distortion of iron nitride layer by using moiré pattern

○Takuma Hattori^{1*}, Norikazu Kawamura¹, Takushi Iimori¹, Toshio Miyamachi¹ and Fumio Komori¹

¹Institute for solid state physics, the University of Tokyo

薄膜の局所的なひずみは、薄膜の電子状態を変化させる。このような局所的なひずみが表面の反応性やバンド構造に及ぼす影響を理解するためには、原子層のひずみの大きさや方位を実空間上で可視化する必要があるが、従来の顕微鏡では分解能の問題で技術的に困難であった。走査トンネル顕微鏡 (STM) は原子分解能で表面構造をみることができるが、その分解能は数十 pm であり、原子レベルでのひずみをみるには分解能が不十分である。

顕微鏡測定での分解能を向上させるために、モアレパターンがたびたび用いられている。モアレパターンは、2 つの周期や方位の異なる縞が重なりあうことで生じるが、2 つの縞の周期や方位の微妙な違いによって劇的に変化する。そのため、薄膜と基板との間にできたモアレパターンを利用することで、通常の STM 測定では観察できない小さなひずみの変化をとらえることを可能にしてきた¹⁾⁻³⁾。これまでに欠陥¹⁾やドメイン境界²⁾、ステップエッジ³⁾などが及ぼすひずみが、モアレパターンを利用して実空間上で可視化されている。しかし、原子レベルでの欠陥に関する小さなひずみについては言及されてこなかった。

そこで本研究では、Cu(111) 基板上に新規に作製した窒化鉄膜を試料として、STM で観察されたモアレパターンを解析することで、薄膜に生じた原子レベルでのひずみを初めて観察したことを報告する。窒化鉄膜には窒素と鉄との強い結合があるため、3 回対称の Cu(111) 基板上に 4 回対称の窒化鉄膜が形成したり⁴⁾、4 回対称の Cu(001) 基板上に 3 回対称の窒化鉄膜が形成したりし⁵⁾、モアレパターンが多く観察されている。ここで新たに作製した Cu(111) 基板上の三角格子窒化鉄膜の格子定数は、基板 111 面よりも大きく三回対称のモアレパターンが観測される。この窒化鉄膜を用いて STM 観察により局所ひずみを調べた。

窒化鉄膜は、以下の手順で作製を行った。清浄化した Cu(111) 基板上に窒素イオンボンバードメント、超高真空下での鉄の蒸着、アニールによって正方格子の窒化鉄単原子層膜を作製した。次に、この窒化鉄膜に鉄を蒸着し、窒素イオンボンバードメント、アニールを行うことで、三角格子窒化鉄膜を作製した。

Cu(111) 基板上の三回対称の窒化鉄膜の表面を STM で観察すると、周期的原子構造にモアレパターンが生じていた。構造モデルをつくり原子像と比較することで、このモアレパターンは窒化鉄膜と Cu(111) 基板の格子定数の違いによって生じていることを明らかにした。また、このモアレパターンは周期的に変化しているわけではなく、うねりが生じていた。これは、モアレパターンを形成している窒化鉄膜が局所的にひずんでいることを意味する。そこでモアレパターンのうねりの変化を実空間上で調べ、窒化鉄膜のひずみの分布を明らかにした。

この窒化鉄膜には、過剰な鉄原子が基板の Cu 原子と混ざって第 2 層目に存在しており、輝点として STM で観察できる。この過剰な鉄原子と窒化鉄膜のひずみの大きさとの関係性を調べてみると、ひずみの小さい領域には、この過剰な鉄原子が存在しにくいということが分かった。これは、窒化鉄の形成時に、ひずみが大きいところに過剰な鉄原子が入り込みやすいということを示している。

以上のように本研究では、原子スケールでの局所ひずみ分布を STM のモアレパターンを利用して調べた。ひずみの大きさが、薄膜中での異原子の入りこみやすさに大きな影響を及ぼしていることを明らかにした。

文 献

- 1) M. Ritter, *et al.*, Phys. Rev. B **57**, 7240 (1998)
- 2) C. Zhang, *et al.*, Nat. Nanotechnol. **13**, 152 (2018)
- 3) O. Stetsovych, *et al.*, Phys. Rev. B **109**, 266102 (2012)
- 4) K. Ienaga, *et al.*, Phys. Rev. B **96**, 085439 (2017)
- 5) T. Hattori, *et al.*, Phys. Rev. Materials **2**, 044003 (2018)

*E-mail: hattori@prec.eng.osaka-u.ac.jp