

化合物半導体表面における原子操作の電子過程

蟹澤 聖 NTT 物性科学基礎研究所

ナノスケール材料の重要性が、年々高まっている。次世代のナノ技術では、原子精度で精密な微細構造の形成が大きな目標であることは言うまでもないが、同時に、微細構造を正確に集積化し機能素子として作用させることも欠かすことはできない。集積化においては、均一な微細構造が多数必要となるため、実用化には微細加工のスループットがネックになる。この問題を解消する手段として、自己形成した微結晶や蒸着した分子を活用する方法の他、走査プローブ技術関連では、多探針プローブで同時に多数並列加工する方法が、原子スケール技術とウエハスケール技術の融合化も視野に入れ、取り組まれている。しかし、依然として技術は黎明期の段階にあり、解決すべき課題が山積している。微細加工に革新をもたらす技術的ブレークスルーの登場が、待ち望まれている。

構造形成においても集積化においても、微細加工技術の精度を極限まで高めることは、突き詰めれば、物質の基本単位である原子の挙動を、電子過程との関わりから正確に把握し、結合の一つ一つを制御することに尽きる。走査トンネル顕微鏡(STM)は、原子精度の分解能を有する顕微鏡としてのみならず、単一原子精度の微細加工(原子操作)を実現できる‘Feynman machine’としても注目されてきた[1, 2]。化合物半導体表面においても、STMの発明後間もなく原子操作が試みられている[3]。我々は、化合物半導体の一つである InAs に注目し、その表面電子物性について研究を行っている[4, 5]。近年では、ポール・ドルーデ研究所(PDI)との共同研究により、InAs 表面において原子操作を実現した[6, 7]。現在は、原子操作で形成した人工構造により発現する電子物性のみならず、原子操作プロセスにおける電子過程の観測により、半導体の新しい可能性の開拓を目指している。

本講演では、PDI との共同研究で得られた最近の研究成果[8 - 11]について紹介するとともに、原子操作プロセスで観測される現象の中で、半導体表面から STM 探針への原子移動に関わるダイナミクス[12 - 15]に着目する。化合物半導体表面でイオン化した吸着原子の原子操作では、電界蒸発や電子衝撃とは異なる、電子トンネルにとまらぬ非弾性過程が深く関わっていることを示す。この電子過程を、気相成長中に表面拡散する原子の熱脱離の解釈に適用し、トンネル電子による吸着原子の電子状態遷移過程が原子運動を律速していることを示す。

- [1] C. Schneiker, S. Hameroff, M. Voelker, J. He, E. Dereniak and R. McCuskey, *J. Microscopy*, **152** (1988) 585.
- [2] D. M. Eigler and E. K. Schweizer, *Nature* **344** (1990) 524.
- [3] S. Hosoki, S. Hosaka and T. Hasegawa, *Appl. Surf. Sci.* **60–61** (1992) 643.
- [4] 蟹澤 聖, 平山祥郎, *表面科学* **27** (2006) 198.
- [5] 蟹澤 聖, 藤澤利正, *表面科学* **29** (2008) 747.
- [6] S. Fölsch, J. Yang, Ch. Nacci and K. Kanisawa, *Phys. Rev. Lett.* **103** (2009) 096104.
- [7] K. Suzuki, S. Fölsch and K. Kanisawa, *Appl. Phys. Express* **4** (2011) 085002.
- [8] S. Fölsch, J. Martínez-Blanco, J. Yang, K. Kanisawa and S. C. Erwin, *Nature Nanotechnol.* **9** (2014) 505.
- [9] K. Kanisawa and S. Fölsch, *NTT Tech. Rev.* **13**(8) (2015) 1.
- [10] Y. Pan, J. Yang, S. C. Erwin, K. Kanisawa and S. Fölsch, *Phys. Rev. Lett.* **115** (2015) 076803.
- [11] J. Martínez-Blanco, Ch. Nacci, S. C. Erwin, K. Kanisawa, E. Locane, M. Thomas, F. von Oppen, P. W. Brouwer and S. Fölsch, *Nature Phys.* **11** (2015) 640.
- [12] J. Yang, Ch. Nacci, J. Martínez-Blanco, K. Kanisawa and S. Fölsch, *J. Phys. : Condens. Matter* **24** (2012) 354008.
- [13] K. Kanisawa, *J. Crystal Growth* **378** (2013) 8.
- [14] K. Kanisawa, *J. Crystal Growth* **401** (2014) 381.
- [15] 蟹澤 聖, *日本結晶成長学会誌* **42** (2015) 180.