

STM バリアハイトイメージングによるドーパントの直接観察

東北大・金研
京大・国際融合創造センター
京大・工・材料工学

櫻井利夫
酒井 明, 黒川 修
筒井真楠, 小林賢吾, 箕輪 剛

1. はじめに

本研究は STM のバリアハイト (以下 BH と略す) イメージングの機能を用いて, 表面下に存在する個々のドーパント原子を観察するとともに, BH の測定を通してドーパントの荷電状態やポテンシャルを調べることを目的としている. 平成 16 年度は GaAs(110) 劈開面に研究対象を拡張した. 水素終端 Si(111) 表面と同様に GaAs(110) 劈開面もバンドギャップ内に表面状態が存在していない. このため表面直下のドーパント原子は STM 観察が可能であり, そのポテンシャルは BH に反映されると考えられる. そこで今回 GaAs(110) 劈開面を作製し, ドーパントサイトにおける BH イメージングを試みた.

2. 研究経過

Si ドープ GaAs ウェハ (0.001 Ωcm) を超高真空チャンバー内で劈開して GaAs(110) 清浄を作製し, STM による表面原子観察と探針 - 試料間距離変調による BH 測定を行なった. 測定温度は室温である.

3. 研究成果

GaAs 中の Si は Ga と置換して Si_{Ga} ドナーになったり As と置換して Si_{As} アクセプタになったりすることが知られている. 図 1(a) の STM 像において, 明るい A 点は Si_{Ga} ドナー, また暗い B 点は表面の Ga 原子空孔である. A 点では表面最上層の原子列が明るいスポットの上に重畳して観察されていることから, これが表面下に存在するドーパントであることが確認される. 一方, 図 1(b) の BH 像においては, A 点のサイトで BH が局所的に約 1 eV 低下しており, これは n 型水素終端 Si(111) 表面のドナーサイトにおける BH の低下と同じである. BH の低下は, このサイトが引力ポテンシャルを与えていることを示唆しており, このことはドナーがイオン化して正に荷電していることと一致している. また Si_{As} アクセプタのサイトでは, 逆に BH が上昇することも確認されている.

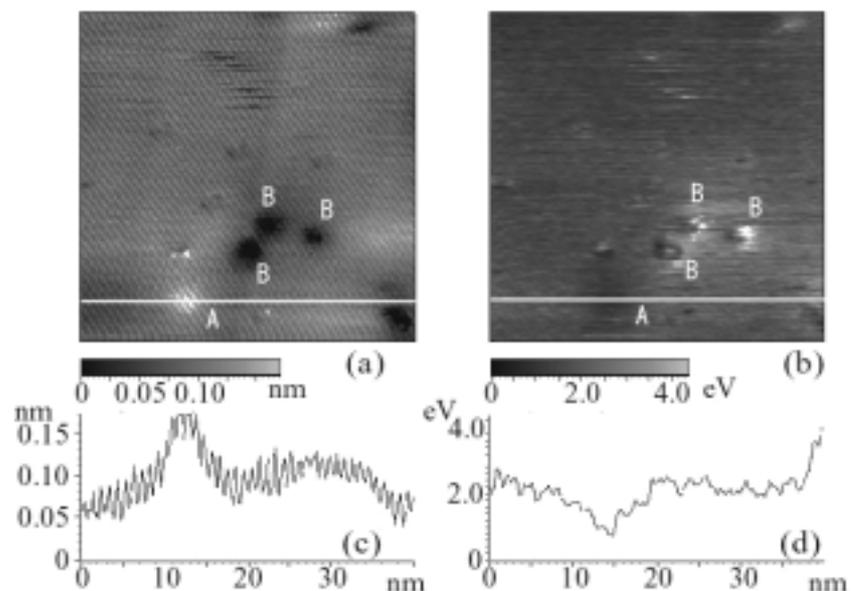


図 1. 試料バイアス +1.6 V における GaAs(110) 劈開面の (a) STM 像と (b) BH 像, および断面プロファイル ((c) および (d)).

4. まとめ

今回の実験結果は, 局所的な BH の増減から GaAs 中のドーパントを識別できることを示しており, この方法は Si のように GaAs 中でドナー・アクセプタの双方になり得るドーパントの識別に特に有用である. なお GaAs(110) 劈開面ではバイアス電圧によって誘起される半導体の局所的な band bending が BH に与える影響を考慮する必要がある, 現在簡単なトンネルモデルを用いて解析を進めている.

5. 発表 (投稿) 論文

“STM-Barrier Height Imaging of Subsurface Dopants on GaAs(110)”,
K. Kobayashi, S. Kurokawa, and A. Sakai, 投稿準備中.

白金フィールドエミッタの仕事関数に関する研究

東北大・金 研 櫻 井 利 夫

大阪府立大・総 科 坂 田 東 洋

1. はじめに

フィールドエミッタは高輝度の微小電子源として、またフラットパネルディスプレイや真空マイクロエレクトロニクスへの応用の期待から、その性能の向上が望まれている。とりわけ、その仕事関数の低減はこれまで真空蒸着や表面偏析など様々な方法で試みられてきた。筆者等は最近、KCN 溶液中の電解研磨により作成した Pt エミッタを UHV 中で 500~900K で数分間アニールするとその仕事関数が著しく (2eV 以上) 低下することを見いだした。また、アニール後の Pt エミッタに Pt 清浄表面の電界蒸発電圧の約 15% の正の電圧を印加すると Pt 清浄表面の仕事関数に回復することから、アニールにより、Pt 清浄表面上に弱く吸着した仕事関数を低下させる要因となる薄膜が形成されるものと考えられる。本研究では、以上の予測の下にアニール後の Pt エミッタの表面層をアトムプローブ電界イオン顕微鏡 (APFIM) を用いて組成分析し、仕事関数低下のメカニズムを明らかにすることを目的としている。

2. 研究経過

直径 0.05mm の Pt 線を約 20% の KCN 溶液中で電解研磨し先鋭なエミッタを作成した。作成したエミッタを APFIM 本体に装着し、Ne 結像ガス中で FIM 像を観察しながら、電界蒸発法により Pt エミッタの清浄表面を作成した後、約 500K で 10 分間アニールした。80K における FEM 像の観察電圧がアニール後はアニール前に比較して約 40% 低下していることから、仕事関数が大きく低下していること確認した後、APFIM によるエミッタ表面層の組成分析を行なった。

3. 研究成果

用いた Pt エミッタは KCN 溶液中での電解研磨により作成していることから、エミッタ表面はその過程で $K_2[Pt(CN)_4]$ 等のシアノ錯塩に覆われており、500K 以上のアニールによりシアノ錯塩が熱分解し K が Pt 清浄表面上に表面拡散により堆積しその吸着層が形成されるとの予測のもとに行なった実験であったが、APFIM の分析結果からは有意の K あるいは吸着物に対応する分子は検出されなかった。

4. まとめ

FIM および FEM の観察により、Pt 清浄表面上に吸着層が存在することは確認されているが、APFIM によりそれらが検出されなかったことは、吸着層が Pt 表面に弱く吸着していることから、APFIM による分析中にクラスターとして電界脱離している可能性がある。今後、APFIM による実験データの蓄積を継続すると共に、XPS 等による分析を検討する必要がある。

プローブ形状制御による非接触型原子間力顕微鏡の高分解能化

東大・物性研 長谷川幸雄、秋山琴音、安東秀、江口豊明、東北大・金研 藤川安仁、高村由起子、櫻井利夫

1. はじめに

原子間力顕微鏡（AFM）は、表面のトポグラフィーをナノスケールの分解能で捕らえることのできる顕微鏡として、ナノサイエンス・テクノロジーの基幹をなす手法の一つである。探針が試料表面から感じる力を検出して像を構成することから試料の電気伝導性を要求せず、このためSTMより汎用性に優れていると言える。従来、空間分解能ではSTMに比べ劣っていたが、最近の技術進展に伴い、その高分解能版である非接触型AFM（nc-AFM）法を用いることにより表面の原子像を得ることも困難ではなくなり、STMレベルの高分解能での像観察も実現されている。

探針が感じる力には、ファンデルワールス力などの長距離力と共有結合力などの短距離力があるが、高分解能化のためには、長距離力を抑え短距離力を優先的に検出する必要がある。その方策の一つとして、探針の形状を鋭くしアスペクト比を高くすることが挙げられる。本研究では、通常のカンチレバー先端に金属探針を取り付け、収束イオンビーム（FIB）で先端を先鋭化し、さらに可能ならば電界イオン顕微鏡（FIM）により酸化膜除去および探針先端形状のin situ観察を行うことにより、アスペクト比の高い高性能AFM探針を作成し、高分解能AFM像を実現することを目指した。

2. 研究経過

金属探針付きカンチレバーの作成は、まず金属ワイヤー（タングステン、直径5 μ m）をカンチレバー先端に銀ペーストで取り付け、次にFIBによりその先端を鋭くすることにより行われる。ワイヤーの取り付けは、光学顕微鏡下でマイクロマンピュレーター等を駆使して行うことができる。取り付けたワイヤーは、FIBにより、ワイヤーの軸方法からドーナツ状に削り、その内径を徐々に絞り込むことによって芯の部分を尖らせることによって先鋭化させる。下にその走査型電子顕微鏡（SEM）像を示すが、隣のシリコン探針に比べても高いアスペクト比を持つ探針が形成されていることが判る。

探針先端の形状は、透過型電子顕微鏡（TEM）により評価しており、先端半径3.5nm、開き角22°ほどの鋭い針が作成できることを確認している。TEM像では、表面は若干酸化層に覆われているものの結晶性は良いことが言え、またエネルギー分散型X線分光（EDX）によってもイオンソースであるGaなどは検出されていないことからイオン照射によるダメージなどは特に無く、素性の良い金属探針が作成されることが確認されている。

この方法では、特に探針とする材料には制限がなく、細いワイヤーを手に入れることができれば同様の手法でカンチレバーを作成することが可能である。我々は金ワイヤーを用いて同様のカンチレバーを作成できることも確認している。

3. 研究成果

上の方法で作成されたタングステン探針を用いて標準試料であるSi(111)7x7表面をAFM観察したところ、最外層表面の個々の原子が明瞭に分解されて観察されることが確認できた。また、AFMでのポテンシャルプローブ法であるケルビンプローブ法でも十分な分解能を持ってポテンシャル分布像を与えることができた。

4. まとめ

本研究により、金属探針付きカンチレバーを作成することができ、それがAFMプローブとして十分な機能を有していることを確認することができた。AFM観察により先端が丸くなくてもFIBにより再加工して再生できる点、金属探針であることからFIMにより酸化膜除去あるいは先端形状制御などを行うことができる点など、幾つかの興味深い特長も考えられるが、それらは今後の研究課題としたい。

5. 発表（投稿）論文

"Imaging of all dangling bonds and their potential on the Ge/Si(105) surface by noncontact atomic force microscopy", T. Eguchi, Y. Fujikawa, K. Akiyama, T. An, M. Ono, T. Hashimoto, Y. Morikawa, K. Terakura, T. Sakurai, M.G. Lagally, and Y. Hasegawa, Phys. Rev. Lett., 93, 266102 (2004)

"Development of a metal tip cantilever for non-contact atomic force microscopy",

Kotone Akiyama, T. Eguchi, T. An, Y. Fujikawa, Y. Yamada-Takamura, T. Sakurai, and Y. Hasegawa, Rev. Sci. Instrum. 76, 033705 (2005).

