

## 3次元アトムプローブによるシリコン中の重水素分布観察

## Observation of Deuterium Distribution in Silicon by Atom Probe Tomography

°高見澤悠<sup>1</sup>、星勝也<sup>1</sup>、清水康雄<sup>1</sup>、井上耕治<sup>1</sup>、矢野史子<sup>1,2</sup>、永田晋二<sup>1</sup>、四竈樹男<sup>1</sup>、永井康介<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>東北大金研、<sup>2</sup>東京都市大学:

°H. Takamizawa<sup>1</sup>, K. Hoshi<sup>1</sup>, Y. Shimizu<sup>1</sup>, K. Inoue<sup>1</sup>, F. Yano<sup>1,2</sup>, S. Nagata<sup>1</sup>, T. Shikama<sup>1</sup>, Y. Nagai<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>IMR Tohoku Univ., <sup>2</sup>Tokyo City Univ.

E-mail: takami@imr.tohoku.ac.jp

シリコンを基板とした半導体デバイスにおいて、水素(H)は酸化膜界面や欠陥近傍のダングリングボンドを終端することによって安定化させることや、バルク内でドナー・アクセプターを不活性化させることが知られており、デバイス特性に大きく影響を及ぼすため、ナノスケールで空間分布を把握することが求められる。しかし、Hは特性X線が発生しないことや、チャンパー内の残留ガスの影響などから従来手法では空間分布分析が困難であった。3次元アトムプローブ(APT)法は、元素の3次元位置を原子レベルの位置分解能で観察可能な手法であり、飛行時間型の質量分析によって元素を特定するため原理的にはHまで分析可能である。しかし、APT法においてもチャンパー内の残留水素ガスの影響によって試料内部の水素を同定することは容易でない。

近年、水素の代わりに重水素(D)を用いてHのトラップサイトを評価することが提案されている。例えば、鉄鋼材料においては針状に加工した試料を高圧のD<sub>2</sub>雰囲気中に保持し、直後にAPT測定することによってDの3次元分布観察が報告されている[1,2]。本研究ではシリコンにDをイオン注入し、その空間分布をナノスケールで分析することを試みた。

本研究では、シリコン(100)基板に重水素イオン(D<sub>2</sub><sup>+</sup>)を注入(10 keV, 1×10<sup>16</sup> atoms/cm<sup>2</sup>)した試料を作製し、表面に保護層として金のスパッタ膜を形成した後に、集束イオンビームを用いて試料を針状に加工し、APT観察を行った。

Fig.1にAPT法で得られた質量スペクトルを示す。(a)のDをイオン注入した試料では、(b)の単結晶シリコン試料に比べて質量数/電荷が2のピークが高く、シリコンの同位体比率と一致、且つ質量数/電荷が大きい側に2だけシフトしてピークが新たに観察された。これらのピークを用いて、D及びSiDの3次元分布を得た。Fig.2にAPT法によって得られたD注入した試料中の元素(H, D, SiD)分布を奥行き方向20 nmで投影した図を示す。Hはチャンパー内の残留ガスに依存する成分であり、測定時間とともに増大する傾向にある。一方で、DやSiDは試料表面から浅い領域で高濃度に分布していることから、チャンパー内の残留ガスと区別して分析できていることが分かる。また、D及びSiDは試料表面から浅い領域で凝集体を形成していることが見て取れる。これは、イオン注入によって生成された欠陥周囲に終端したDを観察したためと考えられる。

以上の結果、APT法を用いてシリコン中のDの空間分布観察が可能であることを示した。また、シリコンに終端したDを観察可能であることから、欠陥や界面近傍にDをトラップさせることで、それらの3次元分布観察への応用が期待できる。本講演ではイオン注入のモンテカルロシミュレーション結果と、透過型電子顕微鏡を用いた欠陥分布評価結果と併せて報告する。

[1] J. Takahashi, *et al.*, Scripta Mat. 67 (2012) 213. [2] R. Gemma, *et al.*, Scripta Mat. 67 (2011) 903.

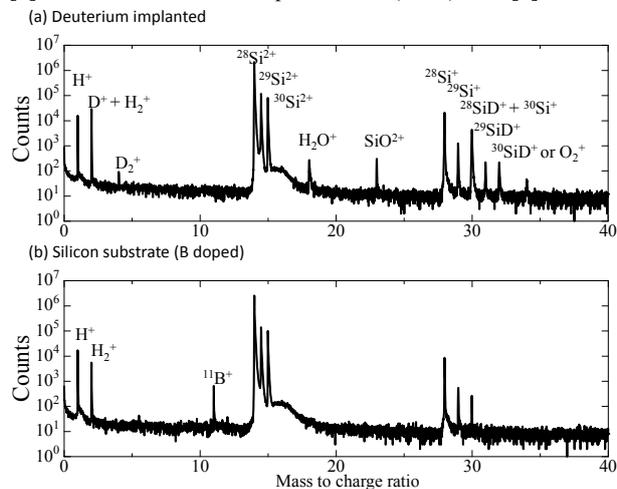


Fig.1 APT mass-spectrum (a) deuterium implanted (b) silicon substrate (B doped)

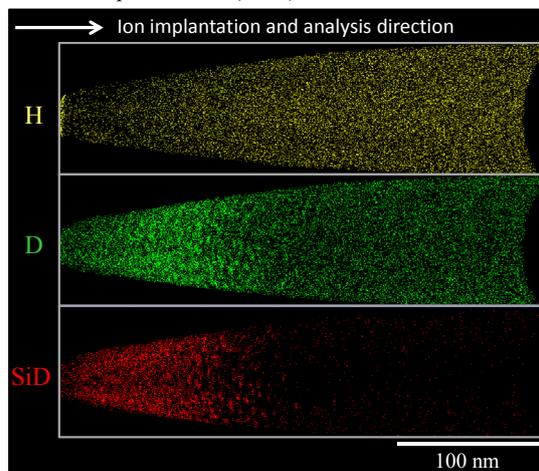


Fig.2 Three dimensional elemental maps in deuterium implanted sample