

陽電子消滅による点欠陥の評価 ～Si、窒化物から金属、絶縁体まで～

Characterization of point defects by means of positron annihilation

- Si, nitrides, metals, and insulators -

筑波大数理¹, 産総研 CD-FMat², [○]上殿 明良¹, 石橋 章司²

Div. Appl. Phys., Univ. of Tsukuba¹, CD-FMat, AIST², [○]Akira Uedono¹, Shoji Ishibashi²

陽電子消滅法は、単一原子空孔や空孔集合体を感度良く非破壊で検出し、その種類、濃度、深さ分布を決定できる手法である。陽電子は電子の反物質で、固体に入射すると電子と消滅し、 γ 線を放出する。 γ 線のエネルギー分布(ドップラー広がり)や消滅までの時間(陽電子寿命, 0.1-0.5 ns 程度)は、消滅位置の電子運動量や電子密度に対応する。陽電子の電荷は正なので、原子核からクーロン反発力を受け、空孔型欠陥に捕獲される。よって、「消滅 γ 線ドップラー広がり」と「陽電子寿命」を測定し、陽電子の消滅位置を判断することにより空孔を検出する¹。また、陽電子の試料に対する打ち込みエネルギーを可変とすることにより、表面から数ミクロンまでの深さを走査することにより、空孔型欠陥の深さ分布を評価することもできる。

非晶質物質等の多孔質材料では、陽電子は空隙に捕獲された後、電子と水素様の原子であるポジトロニウム (Ps) を形成して消滅することがある。Ps は電子と陽電子のスピン組み合わせにより、パラ Ps とオルソ Ps に分けられる。オルソ Ps の寿命は長いため (140 ns)、消滅するまで空隙の内壁と衝突を繰り返すが、この際、空隙内壁の電子と Ps を構成する陽電子が消滅することがある。空隙サイズが小さいほど衝突回数が上昇するので、オルソ Ps の消滅確率も上昇し寿命が短くなる。よって、オルソ Ps の寿命を測定することによっても、nm 程度のサイズの空隙を検出できる。講演では、陽電子消滅を用いて、切削加工により Si へ導入された空孔型欠陥²、イオン注入より GaN へ導入された空孔型欠陥³、めっき Cu 配線材料中の点欠陥⁴、また、低誘電率材料の空隙への金属捕獲⁵等について調べた結果を報告する。上記のように、陽電子消滅は多様な材料に適用できるので、特に異なる材料で構成された多層構造の評価にも有効であると考えられる⁶。

1. 上殿明良, 応用物理 **84**, 402 (2015).
2. A. Uedono, Y. Mizushima, Y. Kim, T. Nakamura, T. Ohba, N. Yoshihara, N. Oshima, and R. Suzuki, J. Appl. Phys. **116**, 134501 (2014).
3. A. Uedono, S. Takashima, M. Edo, K. Ueno, H. Matsuyama, H. Kudo, H. Naramoto, and S. Ishibashi, Phys. Status Solidi B **252**, 2794 (2015).
4. A. Uedono, T. Kirimura, C. J. Wilson, K. Croes, S. Demuynck, Z. Tōkei, N. Oshima, and R. Suzuki, J. Appl. Phys. **114**, 074510 (2013).
5. A. Uedono, S. Armini, Y. Zhang, T. Kakizaki, R. Krause-Rehberg, W. Anwand, A. Wagner, Appl. Surf. Sci. **368**, 272 (2016).
6. A. Uedono, T. Fujishima, D. Piedra, N. Yoshihara, S. Ishibashi, M. Sumiya, O. Laboutin, W. Johnson, and T. Palacios, Appl. Phys. Lett. **105**, 052108 (2014).