

全反射高速陽電子回折 (TRHEPD) による Ge(001)表面の金ナノワイヤの構造解析

Structural analysis of Au-induced nanowire structure formed on the Ge(001) surface using total-reflection high-energy positron diffraction

望月出海^{*1}、深谷有喜²、和田健³、兵頭俊夫¹

¹ 高エネルギー加速器研究機構, 〒305-0801 つくば市大穂 1-1

² 日本原子力研究開発機構, 〒319-1106 那珂郡東海村大字白方 2-4

³ 量子科学技術研究開発機構, 〒370-1292 高崎市綿貫町 1233

Izumi Mochizuki^{1,*}, Yuki Fukaya², Ken Wada³ and Toshio Hyodo²

¹ Photon Factory, 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

² Japan Atomic Energy Agency, 2-4, Sirakata, Ohji, Toukaimura, Naka, 319-1106, Japan

³ QST, 1233 Watanuki, Takasaki, 370-1292, Japan

1 はじめに

清浄なGe(001)表面にAuをサブモノレイヤー吸着させると、最表面にナノワイヤ構造が形成される。このナノワイヤが形成されたAu/Ge(001)表面は、1次元構造に特有な電子物性の発現[1]が報告されており、こうした新奇な表面物性の解明に興味が持たれている。

一方で、このナノワイヤ構造の詳細な原子配置については、走査型トンネル顕微鏡 (STM) [2] や表面X線回折 (SXR) [3] 実験、理論計算 [4] から構造モデルが提案されているものの、未だ決着していない。そこで本研究では、最表面および近表面の構造決定に非常に有効 [5] な全反射高速陽電子回折 (TRHEPD) 法を用いて、動力学的回折理論に基づいた解析を行い、Au/Ge(001) 表面の構造決定を試みた [6]。

2 実験

実験は高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 低速陽電子実験施設 (slow-positron-facility, SPF) のビームライン SPF-A3 [7] にて行った。専用 LINAC を用いて発生させた高強度陽電子ビームを 15 keV に加速した後、10 kV に保った W 薄膜リモデレータに入射させて高輝度化し、エネルギー 10 keV の高輝度陽電子ビームを生成した [8]。この時の輝度増強後のビームフラックスは $\sim 10^6$ e⁺/sec であった。

Ge(001) 基板は、超高真空 ($\sim 10^{-8}$ Pa) 装置内で Ar⁺ スパッタリングとアニーリングを繰り返して清浄化した。その後、Au を基板温度 ~ 670 K で 1 モノレイヤー程度吸着させて、Au/Ge(001) 表面を形成させた。

ここでは、Au/Ge(001) 表面からの TRHEPD パターンを視射角を変化 (0 \sim 6 $^\circ$) させながら撮影し、00 回折点強度の視射角依存性 (ロッキング曲線) を測定した。また、様々な構造モデルを仮定したロッキング曲線の再現計算を行い、測定結果と比較することで、各モデルの正しさを検証した。

3 結果および考察

図の白抜丸は、表面垂直 (z) 方向の原子配置に敏感な入射方位 (一波条件) で取得した TRHEPD ロッキング曲線の実験結果である。事前に、過去に提案された Giant Missing Row (GMR) モデル [2, 4]、Ge-Au Hetero-Dimers and Au-Au Homo-Dimers モデル [3]、Modified Giant Missing Row モデル [4]、Au-Trimer Stabilized Ge-Ridge モデル [4] などを用いてロッキング曲線の再現計算を試みたところ、再現度合いを示す R 因子の値がどれも 7% 以上と悪く、結果を上手く説明することができなかった [6]。

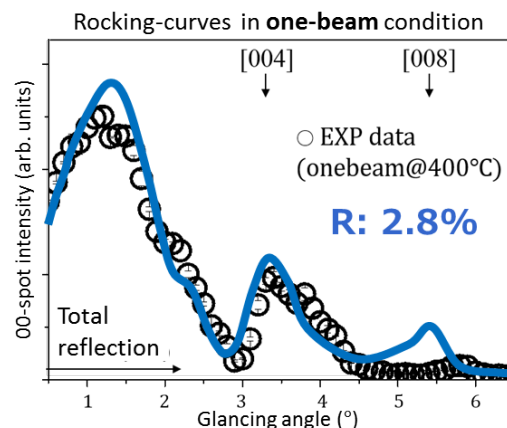


図 Ge(001)-c(8 \times 2)-Au 表面の一波条件 TRHEPD ロッキング曲線の実験値 (白抜丸) と計算値 (曲線) [6]

そこで、新しいモデルとして、GMRモデルから最表面Ge原子の半数をAu原子に置換したモデル (GMR-HDモデル [6]) を考えた。

図には、GMR-HDモデルを仮定して再現計算したロッキング曲線を青色の曲線で重ねて示した。実験

結果と比較すると、視射角 1.5° 付近や 3.5° 付近に現れるピーク形状を概ね再現できていることが分かる。 R 因子も2.8%とこれまで提案されていたモデルによる結果(~7%)と比較してかなり改善された。

現在、面内(x, y)方向の原子配置にも敏感な入射方位(多波条件)でのロックイン曲線の解析を進めており、Au/Ge(001)表面に形成されるナノワイヤ構造の3次元原子配置の決定を試みている。

参考文献

- [1] C. Blumenstein et al., *Nature Phys.* **7** (2011) 776.
- [2] J. Schäfer et al., *Phys. Rev. Lett.* **101** (2008) 236802.
- [3] S. Meyer et al., *Phys. Rev. B* **85** (2012) 235439.
- [4] S. Sauer et al., *Phys. Rev. B* **81** (2010) 075412.
- [5] Y. Fukaya et al., *Appl. Phys. Express* **7** (2014) 056601.
- [6] I. Mochizuki et al., in preparation.
- [7] K. Wada et al., *Eur. Phys. J. D* **66** (2012) 37.
- [8] M. Maekawa et al., *Eur. Phys. J. D* **68** (2014) 165.

* mochizu@post.kek.jp