

機能性薄膜合成と量子ビーム応用

Application of quantum beams on the synthesis of functional thin films

阪大産研 ○田中秀和

ISIR-Sanken, Osaka University

E-mail: h-tanaka@sanken.osaka-u.ac.jp

近年、次世代材料として二次原子層材料、強相関電子系酸化物、トポロジカル絶縁体など、様々な量子材料 (Quantum Materials) が期待されている。多様な相変化を示す遷移金属酸化物はその好例であり、外部からの摂動 (温度、磁場、電子濃度、電流・イオン注入) で、その物質相は雪崩的に変化し、金属性、強磁性、超伝導を示す。これらを薄膜として合成し、薄膜/界面/ナノデバイス化を図ることにより、Beyond CMOS に資する次世代デバイスの創製が期待される。デバイスに資する機能性 (酸化物) 薄膜を創出するには、巨大応答を示しうる相変化領域近傍の電子状態を実現することが不可欠であり、その状態をモニターしつつ合成を進めることが重要であろう。この目的のため、物質の多様な電子・スピン・格子状態を量子ビームを利用して明らかにし、薄膜合成へフィードバックする協奏的研究は非常に有用と言える。

本講演では、量子ビームの定義にこだわらず、我々のグループが巨大外場応答機能を示す酸化物薄膜を合成するにあたり、指針として利用してきた物性評価法とその成果を例として紹介する。

機能性薄膜として金属-絶縁体相転移を示すバナジウム酸化物薄膜 (V,W)O₂、強磁性半導体鉄酸化物薄膜(Fe,Zn)₃O₄、水素誘起巨大抵抗変化ニッケル酸化物薄膜(SmNiO₃, NdNiO₃)、超巨大磁気抵抗マンガン酸化物薄膜(La,Pr,Ca/Ba)MnO₃を取り上げ、量子ビーム手法として、(i)電子相変化を評価する硬/軟 X 線光電子分光 (HX/SX-PES)、(ii)スピン状態に対する X 線吸収円二色性 (XMCD)、(iii)イオンビームによる原子核反応を利用した水素を検知する核反応法 (NRA)、(iv)埋もれたヘテロ界面の電子状態を検知する HX-PES、(v)ナノスケールの相分離状態を評価する THz 分光法/カソードルミネッセンス(CL)顕微分光法などを適用した例を紹介する。

これらは大型加速器施設 (SPring-8、東京大学タンデム加速器研究施設)、分光グループ (阪大基礎工学研究科) と、我々薄膜合成グループとの共同研究でなされた内容であり、合成研究と評価研究の協奏的研究遂行について議論を深める機会としたい。

| | 硬/軟X線光電子分光(PES) | X線吸収円二色性(XMCD) | 核反応法(NRA) | 硬X線光電子分光(HXPES) | THz分光法/CL顕微分光法 |
|---|------------------------|----------------------|-----------|-----------------|--------------------|
| 電子相転移(V,W)O ₂ | 相変化電子状態(1),(2),(3),(4) | | | | ナノスケール相分離状態 |
| 強磁性半導体(Fe,Zn) ₃ O ₄ | | スピン状態(5),(6),(7),(8) | | | |
| 水素誘起相変化(SmNiO ₃ , NdNiO ₃) | 酸素欠損(10) | | プロトン濃度 | | |
| 超巨大磁気抵抗(La,Pr,Ca)MnO ₃ | | | | ヘテロ界面電子状態(9) | ナノスケール相分離(11),(12) |

Table : Relationship between quantum beam techniques and detectable functionalities on the transition metal oxide thin films in this talk. (Numbers) indicate references.

参考文献 (1) Phys. Rev. B, 73 (2006)094403, (2) Appl. Phys. Exp. 3 (2010) 063201, (3) Phys. Rev. B, 84 (2011) 085107, (4)Phys. Rev. B 85 (2012) 205111, (5)Appl. Phys. Lett., 89 (2006) 242507, (6) Phys. Rev. B, 76 (2007) 205108, (7) Appl. Phys. Exp., 1 (2008) 077003, (8) Phys. Rev. B, 79 (2009) 132405, (9) Appl. Phys. Lett. 98 (2011)133505, (10) ACS Appl. Electron. Mater. 1 (2019) 82, (11)Appl. Phys. Lett. 105 (2014) 023502, (12) Nano Lett. 15 (2015)4322.