

(様式第5号)

MgO 基板に挟まれた Cu₂O 薄膜の膜質評価 III Quality Evaluation of Cu₂O thin crystals sandwiched by MgO plates III

岩満一功, 山崎大雅, 矢倉昇, 平渉生^A, 宮田祐暉^A, 赤井一郎^B
K. Iwamitsu, T. Yamasaki, S. Yakura, S. Hira^A, Y. Miyata^A, and I. Akai^B

熊本大学理学部,^A熊本大学大学院自然科学教育部,^B熊本大学パルスパワー科学研究所
Faculty of Science, ^AGraduate School of Science and Technology, and
^BInstitute of Pulsed Power Science, Kumamoto University

- ※1 先端創生利用(長期タイプ)課題は、実施課題名の末尾に期を表す(I)、(II)、(III)を追記してください。
- ※2 利用情報の公開が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後2年以内に研究成果公開(論文(査読付)の発表又は研究センターの研究成果公報で公表)が必要です(トライアル利用を除く)。
- ※3 実験に参加された機関を全てご記載ください。
- ※4 共著者には実験参加者をご記載ください(各実験参加機関より1人以上)。

1. 概要 (注: 結論を含めて下さい)

MgO (100)/Cu₂O (100)界面近傍における格子歪効果を調べるために、MgO 基板に挟まれた Cu₂O 薄膜結晶の In-Plane X 線回折(XRD)測定を行った。本測定において、X 線入射エネルギーは BL07 の 17.5 keV とし、入射角 ω は 0.20 deg. と微小に設定することで極力 MgO 基板由来の回折を除去して Cu₂O の XRD 測定を行った。その結果、MgO (400) と Cu₂O (400) の In Plane XRD 測定、各回折ピークの分離に成功した。その回折ピークの位置から見積もられる単位格子の格子面間隔は $d_{\text{Cu}_2\text{O}(100)} = 0.4250 \text{ nm}$, $d_{\text{MgO}(100)} = 0.4210 \text{ nm}$ と求める事ができた。これは MgO (001)基板上で Cu₂O [001]方向にエピタキシャル成長しており、界面近傍から離れるに従い MgO との格子不整合率が緩和しているのではないかと考えられる。

(English)

In order to investigate a lattice mismatch effect on MgO (100)/Cu₂O (100), we measured the in-plane x-ray diffraction (XRD) of a Cu₂O thin crystal sandwiched by MgO plates. In this measurement, the x-ray energy is set to be 17.5 keV at BL07 and its incident angle is set to be 0.20 degree for removing the effect on the MgO plates. From this in-plane XRD, we succeeded in observing strong diffraction peaks due to MgO (400) and Cu₂O (400) and found their peaks are separated. By using these diffraction angles, the lattice spacings $d_{\text{Cu}_2\text{O}(100)}$ and $d_{\text{MgO}(100)}$ can be estimated to be 0.4250 nm and 0.4210 nm, respectively. This result suggests that the Cu₂O thin crystal is recrystallized along Cu₂O [001] on the MgO (001) plane and its lattice mismatch between MgO and Cu₂O relaxes with departing from the MgO (100)/Cu₂O (100) surface.

2. 背景と目的

Cu₂O 中に生成される励起子系はボーズ・アインシュタイン凝縮(BEC)が実現される可能性が高いとして注目されており、バルク単結晶に一軸性応力を印加・ポテンシャルトラップを形成することで励起子 BEC 凝縮状態の兆候が確認されている[1]。我々は量子デバイス化のため、MgO 基板との格子不整合を利用した Cu₂O 薄膜を作成し、試料中に形成された励起子ポテンシャルトラップの人工制御を目指している。

先行研究では、対象試料である MgO 基板に挟まれた Cu₂O 薄膜結晶の吸収スペクトル・実験室光源

でのX線回折から試料中の格子歪モデルを提唱した[2]。加えて発光スペクトルの試料位置依存性から、試料中のエピタキシャル成長モードは2種類存在し、それぞれの成長モードで格子歪の描像が異なることを示唆した [3]。しかしながら、励起子ポテンシャルトラップの人工制御のためには、Cu₂O/MgO界面近傍での結晶成長の描像を明らかにする必要がある。そのため、当センターのBL15を利用(課題番号: 1609083F, 1705035F)してCu₂O薄膜結晶のIn-Plane X線回折(XRD)測定に取り組んできたが、MgO基板由来の回折強度が強いため十分な回折強度が確保できず、定量的な議論が困難であった。

本課題では定量的な議論に進むため、研磨することでMgO基板の影響をできる限り除去したCu₂O薄膜結晶に対してIn-Plane X線回折(XRD)測定・界面近傍での格子歪を同定することを目的とした。

3. 実験内容 (試料、実験方法、解析方法の説明)

本対象試料は前課題1609083F, 1705035Fと同様に、図1に示されるMgO基板に挟まれたCu₂O薄膜結晶を用いた。図1にその概要を示しており、FrontはMgO基板の影響をできる限り除去した面(以降、表面とする)とし、BackはMgO基板由来に限定した面(以降、裏面とする)とした。

In-Plane XRD測定はそれぞれ(a)表面・(b)裏面にX線を入射した場合で実行されている。加えて、(a)のIn-Plane XRD測定時にできる限りMgOの回折強度を減少させるために、BL07を用いてX線入射エネルギーは17.5 keVを選択した。

前課題までと同様に、In Plane XRD測定手順は結晶成長面に平行な試料回転角 ϕ のスキャン測定と結晶成長面に平行な検出角 $2\theta\chi$ のスキャン測定を交互に繰り返して最適化を行った。更にMgOとCu₂Oの回折ピークの分離が期待される、Cu₂O(001) on MgO(001)での結晶成長モード[3]におけるCu₂O(400)を選択し最適化した。以上の結果を踏まえて $2\theta\chi$ と ϕ を連動させてスキャンするIn-Plane XRD測定を行い、それらの入射角 ω は0.20 deg.と微小に設定することで、図1(a)ではMgO/Cu₂O界面近傍、図1(b)ではMgO基板表面の情報を抽出した。

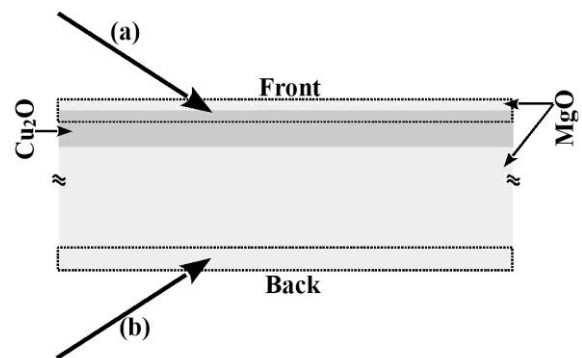


図1: MgO基板に挟まれたCu₂O薄膜結晶の概要

4. 実験結果と考察

図2には対象試料に対して、BL07の(a)表面入射と(b)裏面入射を行ったときのIn Plane XRD測定結果を示している。図2(a)と図2(b)より、点線で示した回折ピークは表面入射・裏面入射の両方で観測されていることが分かる。そのことから39.31 deg. (点線)での回折ピークはMgO(400)由来であると同定した。加えて、図2(a)より、点線に対して低角度側にMgO(400)とは異なる回折ピークが観測されていることが分かり、38.92 deg.のピークはCu₂O(400)であると考えられる。

これらの回折ピークからブラッグの公式 $2d\sin\theta=\lambda$ を用いて換算した単位格子の格子面間隔 d は $d_{\text{Cu}_2\text{O}(100)}=0.4250\text{ nm}$, $d_{\text{MgO}(100)}=0.4210\text{ nm}$ と求められる。この値を比較して分かるように $d_{\text{Cu}_2\text{O}(100)}$ は $d_{\text{MgO}(100)}$ より僅かに大きな値であることがわかった。これはMgO(001)基板上でCu₂O [001]方向にエピタキシャル成長している可能性を示唆しており、界面近傍から離れるに従いMgOとの格子不整合率が緩和されていることが期待されている。

5. 今後の課題

現在、この格子不整合を既存の緩和モデル[1]を比較しながら、定量的に説明できるように検討している。加えて、この薄膜結晶試料の人工制御の方法を確立するために、異なる膜厚試料の同測定による格子歪の制御を目指していく予定である。

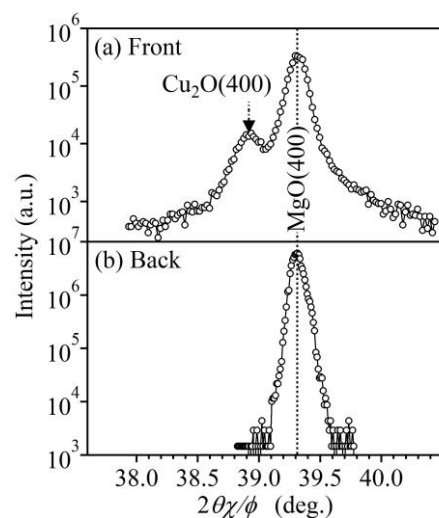


図2: (a・b)入射におけるIn Plane XRD測定結果

6. 参考文献

[1] K. Yoshioka, E. Chae and M. Kuwata-Gonokami, Nat. Commun. **2**, 328 (2011).

7. 論文発表・特許 (注: 本課題に関連するこれまでの代表的な成果)

[2] K. Iwamitsu, S. Aihara, A. Ota, F. Ichikawa, T. Shimamoto, and I. Akai J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 124714 (2014).

[3] S. Aihara, A. Ota, K. Iwamitsu, F. Ichikawa, H. Isobe, T. Shimamoto and I. Akai, J. Lumin. **167**, 211 (2015).

8. キーワード (注: 試料及び実験方法を特定する用語を2~3)

Cu₂O/MgO、In Plane 測定、格子歪

9. 研究成果公開について (注: ※2に記載した研究成果の公開について①と②のうち該当しない方を消してください。また、論文(査読付)発表と研究センターへの報告、または研究成果公報への原稿提出時期を記入してください(2018年度実施課題は2020年度末が期限となります)。

長期タイプ課題は、ご利用の最終期の利用報告書にご記入ください。

① 論文(査読付)発表の報告

(報告時期: 2020年12月)