

(様式第5号)

実施課題名: MgO 基板に挟まれた Cu₂O 薄膜の膜質評価 II
English: Quality Evaluation of Cu₂O thin films sandwiched by MgO plates II

著者・共著者: 岩満一功^A、切通愛莉紗^B、赤井一郎^C
English: K. Iwamitsu^A, A. Kiridoshi^B, I. Akai^C

著者・共著者 所属: ^A熊大理、^B熊大院自然、^C熊大パルス研
English: ^AFaculty of Science, ^BGSST, ^CIPPS, 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)

我々は MgO 基板に挟まれた Cu₂O 薄膜試料を評価するために、格子歪ポテンシャルトラップ形状の解明と薄膜の人工制御の知見を得ることを目的としている。本実験では、片側の MgO 基板を剥がした Cu₂O/MgO 試料について In-Plane X 線回折(XRD)測定とその結果の評価を行った。Cu₂O/MgO 試料における Cu₂O 側・MgO 側への X 線入射による In-Plane XRD データより Cu₂O(200)由来のピーク構造が確認され、XRD の ϕ スキャン測定より Cu₂O(200)は 8 回対称性を持つことが分かった。これは対象試料における結晶成長モード[4]での応力の印加される面・応力方向から、2つの結晶成長モードが共存している為だと推測される。

(English)

To evaluate a Cu₂O thin film sandwiched by MgO plates, we aim to elucidate this trapping potential in Cu₂O and obtain information for this epitaxial growth of the Cu₂O thin film. In this experiment, we measured and analyzed the In-Plane x-ray diffraction (XRD) of the Cu₂O/MgO film which removed one MgO plate. From In-Plane XRD data with incident light on the Cu₂O and MgO, we found that the Cu₂O (200) plane of Cu₂O/MgO film can be identified and has an 8-fold symmetry. This fact suggests that the two epitaxial growth modes of the Cu₂O film coexist.

2. 背景と目的

Cu₂O における励起子高密度相に関する研究は、励起子ボーズ・アインシュタイン凝縮(X-BEC)相の実現可能性が高いとして長い間注目されており、試料中の浅い励起子ポテンシャルトラップの形成が実現に必要なことが示唆されている[1]。Cu₂O バルク単結晶では一軸性応力を利用することで励起子ポテンシャルトラップを形成できること[2]が知られており、我々は僅かな格子歪の生じた MgO 基板に挟まれた Cu₂O 薄膜中で励起子ポテンシャルトラップを形成・X-BEC の実現を目指している。

本研究では MgO 基板に挟まれた Cu₂O 薄膜の試料評価を行い、励起子ポテンシャルトラップ形状の解明・人工制御の知見を得ることを目的とした。先行研究では、試料における吸収スペクトル・X 線回折(Out of Plane)データから試料中に格子歪によるポテンシャルトラップが形成されている[3]こと、発光スペクトルの試料位置依存性から試料中に格子歪による 2つの結晶成長モード

が期待される[4]ことを報告してきたが、励起子ポテンシャルトラップ人工制御の知見を得るためには試料中の局所的な位置での結晶成長モードの同定が必要である。本実験では In-Plane X 線回折(XRD)データから結晶成長モードの同定を試みた。

3. 実験内容 (試料、実験方法、解析方法の説明)

本実験方法は前実験(課題番号: 1609083F)と同様の方法を用いた。そのXRDにおけるIn Plane測定の概要図を図1に示す。図1においてそれぞれ ϕ は試料の回転角・ $2\theta\chi$ は検出器の回転角を表しており、 ϕ を固定して $2\theta\chi$ スキャン測定することで特定の試料面(例: $\text{Cu}_2\text{O}(100)$ など)の情報を、 $2\theta\chi$ を固定して ϕ スキャン測定することで試料面の対称性の情報を得ることができる。

In Plane測定では、 $2\theta\chi$ と ϕ の相対関係を試料面で最適化してスキャンする(Out of Planeにおける $2\theta/\theta$ 測定)。

測定試料はMgO (100)基板に挟まれた Cu_2O 薄膜に対し片側のMgO基板を剥がした試料($\text{Cu}_2\text{O}/\text{MgO}$)とした。前実験(課題番号: 1609083F)では Cu_2O 薄膜試料の基板を剥がした側にMgO基板が残っていたことにより、In Plane測定データの回折強度が弱くなったと考えている。よって、本実験では剥がした側の試料を研磨したのを用い、 Cu_2O 薄膜までX線が透過するように入射角を1 deg.、エネルギーを15 keVにした。

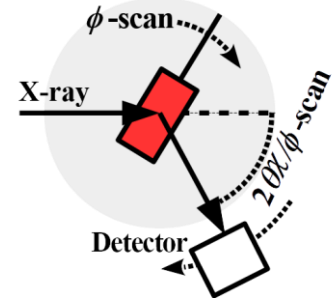


図 1: In Plane 測定概要図

4. 実験結果と考察

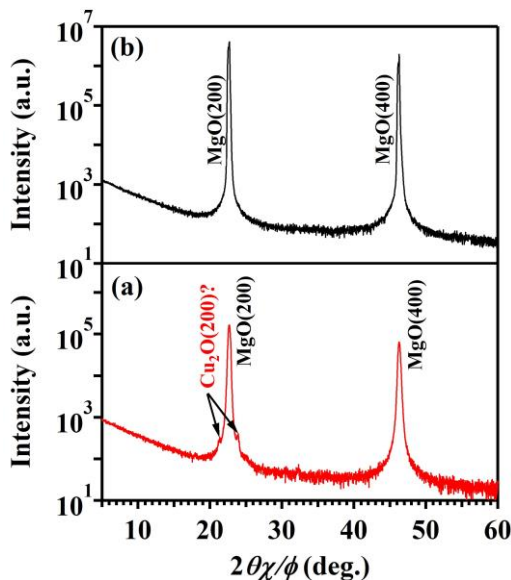


図 2: $\text{Cu}_2\text{O}/\text{MgO}$ 試料における(a) Cu_2O 側・(b) MgO 側の $2\theta\chi/\phi$ スキャンデータ

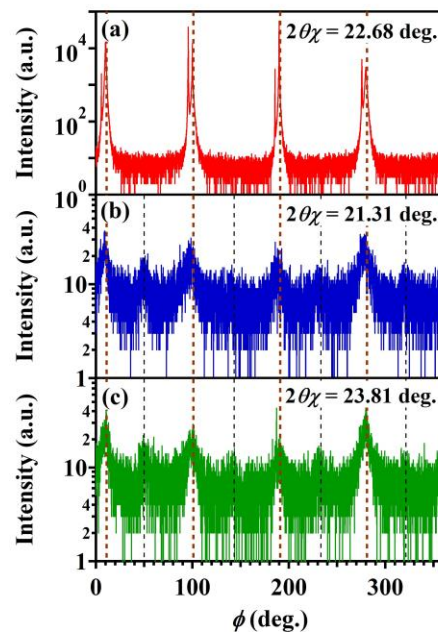


図 3: 図 2 における $2\theta\chi =$ (a)22.68 deg.・(b)21.31 deg.・(c) 23.81 deg.における ϕ スキャンデータ

本実験結果として図 2 に $\text{Cu}_2\text{O}/\text{MgO}$ 試料の In Plane 測定データを示す。図 2 の横軸は $2\theta\chi/\phi$ を表しており、 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{MgO}$ 試料において Cu_2O 側・ MgO 側に X 線を入射して測定した結果をそれぞれ図 2(a)・(b)に示している。図 2(a)・(b)より、22.68・46.24 deg.に現れるピークは図 2(a)・(b)の両方で確認されるので $\text{MgO}(200)$ ・(400)由来のピークだと同定され、22.68 deg.より僅かに異なる 21.31・23.81 deg.に現れる構造は $\text{Cu}_2\text{O}(200)$ 由来のピークではないかと推測される。この試料面の同定を確かなものにするために、 $2\theta\chi$ を 22.68, 21.31, 23.81 deg.に設定したときの ϕ スキャン測定を行い、その結果を図 3(a), (b), (c)にそれぞれ示す。図 3(a)を見て分かるように、 $2\theta\chi=22.68$ deg.におけるピークは 90 deg.おきに 4 つ現れることから 4 回対称性を持つことが分かる。一方、図 3(b)・(c)では $2\theta\chi=21.31, 23.81$ deg.におけるピークが 45 deg.おきに 8 つ現れており、8 回対称性を持っていることが予想される。

図 3(a)と 3(b)・(c)の違いは試料における 2 つの結晶成長モードが共存しているからではないかと予想している。この結晶成長モードの概要図を図 4 に示す。図 4(a)(図 4 上部)は $\text{MgO}(100)$ と $\text{Cu}_2\text{O}(100)$ が接する形で結晶成長するモードを、図 4(b)(図 4 下部)は $\text{MgO}(100)$ と 45 deg.傾いた $\text{Cu}_2\text{O}(110)$ が接する形で結晶成長するモードをそれぞれ表している[4]。加えてそれらの結晶成長モードに印加される応力面 $\text{Cu}_2\text{O}(110)$ ・ $\text{Cu}_2\text{O}(100)$ を水色・黄色、応力方向を青・黄矢印で表される[4]。以上から図 4

における $\text{Cu}_2\text{O}(100)$ の試料面に注目すると、試料面が結晶成長モード(a)と(b)で 45 deg 異なっていることが分かる。その為、図 3(b)・(c)で選択される試料面が $\text{Cu}_2\text{O}(200)$ だと推測できる。

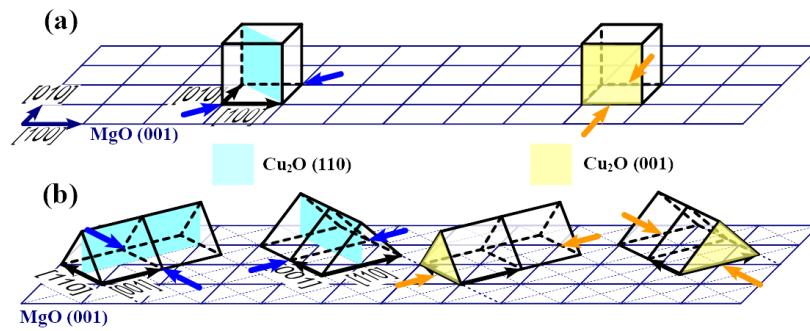


図 4: 各結晶成長モード(a)・(b)と $\text{Cu}_2\text{O}(200)$ ・ (220) 試料面にかかる応力の概要図[4]

5. 今後の課題

図 3 の ϕ スキャンデータより Cu_2O の結晶成長モードが共存することは示唆される。しかしながら、図 3(b)・(c)よりピーク強度が 1 桁しか変化しておらず弱いため、絶対値による詳細な評価が難しい。これは前実験で用いた試料の Cu_2O 側を研磨したけれども、未だ MgO 基板がわずかに残っている為に Cu_2O への透過光強度が弱まっているのではないかと考えられる。よって更に研磨を行い、 MgO 基板の影響を除去し、再実験することを目指している。

6. 参考文献

- [1] K. Yoshioka, E. Chae and M. Kuwata-Gonokami, Nat. Commun. **2**, 328 (2011).
 [2] N. Naka and N. Nagasawa, Phys. Rev. B **70**, 155205 (2004).

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)

- [3] K. Iwamitsu, S. Aihara, A. Ota, F. Ichikawa, T. Shimamoto, and I. Akai J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 124714 (2014).
 [4] 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)

$\text{Cu}_2\text{O}/\text{MgO}$ 、 ϕ スキャン、In Plane 測定

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(2017年度実施課題は2019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: 2018年12月)