

研究成果報告書

研 究 題 目		ガラス基板上への Cu ₂ O 単結晶帯成長と太陽電池 応用	実 施 年 度
			令和 6-7 年度
代 表 研 究 者	所 属	島根大学 総合理工学部	
	氏 名	葉 文 昌	印
1. 研究の目的・背景			
Cu₂O 膜は 2.2eV のバンドギャップエネルギーを有し、薄膜トップセルとして結晶 Si 太陽電池の変換効率を数%向上させることが期待されている。これまでの課題は単結晶薄膜をガラス上に形成することができなかったことであるが、我々は独自技術であるマイクロシェブロンレーザー走査法によりガラス基板上への Cu₂O 単結晶帯成長に成功している。Cu₂O 単結晶帯を薄膜太陽電池へ応用するには、単結晶帯の結晶性、電気伝導特性、オーミック接合、pn 接合形成、単結晶帯に適した太陽電池構造の考案、などを検証する必要がある。本研究ではこれらを実施し、太陽電池を試作する。			

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

Cu₂O 単結晶帯のホール特性

幅 8 μm の単結晶帯にフォトリソグラフィで図 1(a)に示すホール測定用の Al 電極を形成した。電極間距離は 3 μm であった。形成した後の試料写真を図 1(b)に、ホール電極の顕微鏡写真を図 1(c)に示した。しかしホール測定では有意義なデータを得ることはできなかった。図 1(c)の Al 電極をパターンニングするためには、リン酸による Al 膜のエッチング工程が必要であるが、リン酸浸漬前後の Cu₂O 単結晶帯のラマンシフトスペクトルを図 2 に示した。220 cm^{-1} に存在していた Cu₂O 由来のラマンピークが消失していることが分かる。この他にも HF 水溶液、TMAH アルカリ水溶液を試みたが、酸液では Cu₂O ラマンピークが消失していることから、Cu₂O が酸化されて CuO になったと考えられる。この課題を解決するために今後はエッチング液を検討する必要がある。

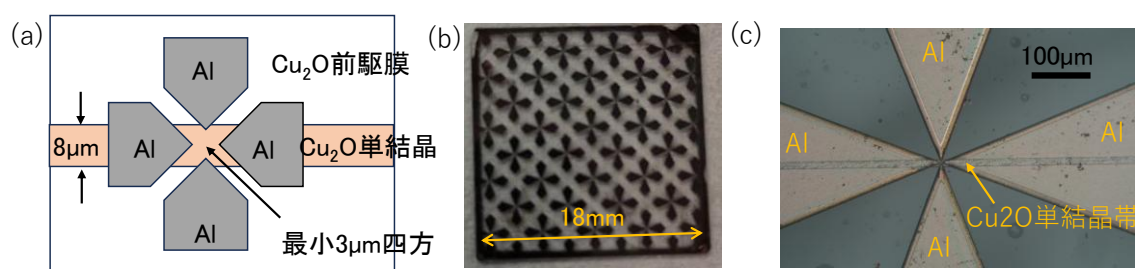


図1.(a)ホール測定用電極の模式図、(b)電極形成した試料、(c)Cu₂O単結晶帯とAl電極の顕微鏡像

光導電特性

続いて、厚さ 800nm の Cu₂O 単結晶帯の両端に電極を形成し、金属とオーミック接合がされているとして、光照射前と後における、電流、電圧、電極間隔、膜厚、結晶帯幅から導電率を推定した。移動度 μ ・正孔濃度 p 積 μp を光未照射時の移動度 μ_0 と正孔濃度 p_0 の積 $\mu_0 p_0$ で正規化し、その光強度依存性とアニール温度依存性を図 3 に示した。アニールなしでも光導電率は存在するが、アニール温度上昇とともに光導電率は向上した。照射した光強度は最大で 1.8 mW/cm^2 と低かったが、実際の AM1.5 太陽光が 100 mW/cm^2 と 50 倍以上であることを考慮すると、AM1.5 では過剰正孔濃度 Δp は p_0 の 40%に達することが予想され、太陽電池に応用することで十分なパワーが取り込める可能性があることがわかった。

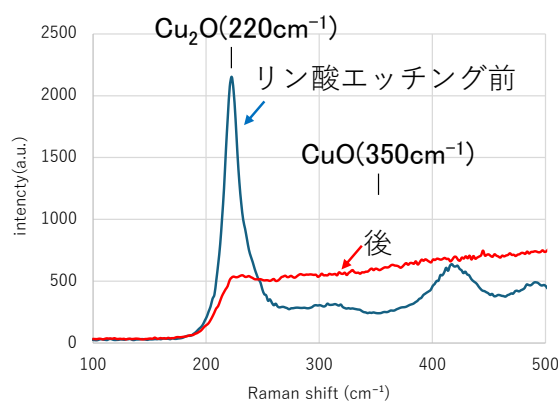


図2.エッチング前後のCu₂O単結晶帯ラマンシフト

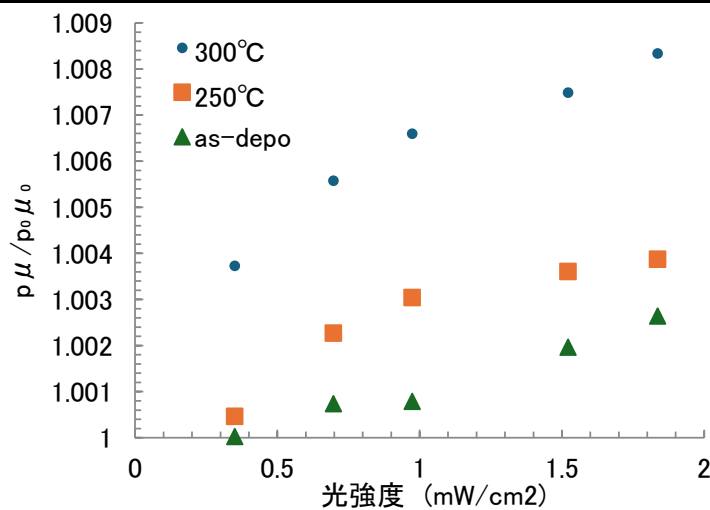


図3 正規化正孔濃度・移動度積のアニール温度と光強度依存性

太陽電池特性

試作した太陽電池構造の平面図を図 4(a)に、断面図を図 4(b)に示した。スパッタ法で GaN を堆積して n 型接合を形成した。こ GaN はメタルマスク使用で直接パターニングした。P 型 Cu₂O と n 型 GaN の電極はともにスパッタ堆積法により形成した TiN とした。得られた試料の写真を図 5(b)に示した。また図 4 の構造以外に、図 5(c)に示したように、Cu₂O 上 GaN に TiN 電極を形成せずに、端部だけに形成した構造も試作した。これは GaN のピンホールで TiN と Cu₂O が短絡してしまうのを避けるためであった。

製作した太陽電池の光照射時 IV 特性を図 6 に示す。ポストアニール温度を室温から 600°C まで上昇させた。しかし残念ながらダイオード特性が得られず、光電流も得られることができなかった。

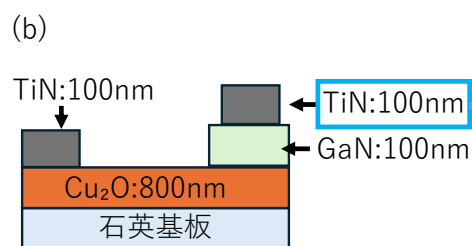
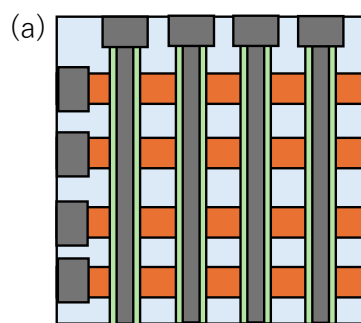


図4.作製するCu₂O太陽電池の(a)表面図、(b)断面図

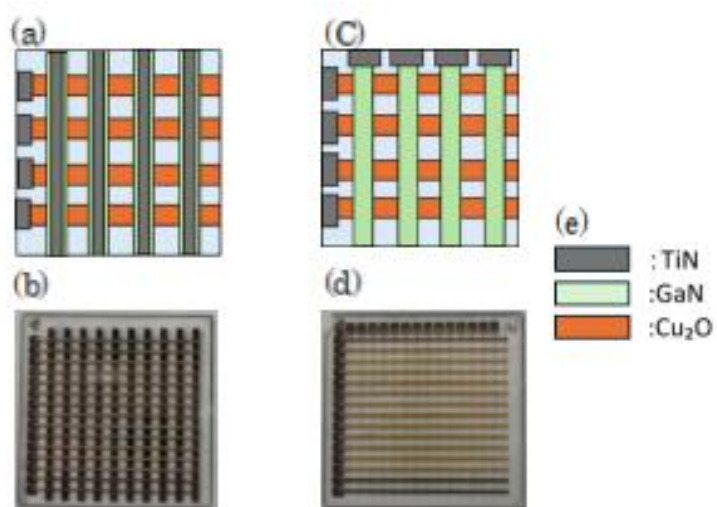


図 5. 作製した 2 種類の太陽電池模式図(a)、(c)とそれぞれの完成写真(b)、(d)

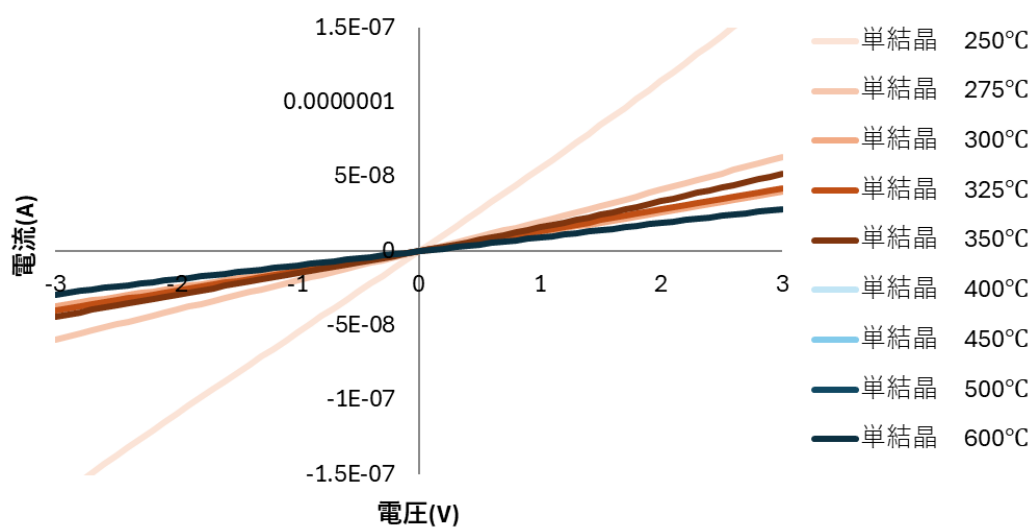


図 6 試作した太陽電池の IV 特性とポストアニール温度依存性

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

デバイス作製実験室では、材料作製からデバイス作製・評価まで完結して作れている。すべてのプロセス装置は手製で、効率的な運用を維持するために保守・修理・改造が常に行われている。このため研究実施に要する消耗品は、太陽電池作製に直接寄与する石英基板から、膜堆積やレーザーアニールするためスパッタ装置、水素や酸素や窒素雰囲気でのアニール装置まで多岐にわたる。このような実験室を維持するために 1 名の技能補佐パートを週 12-16 時間で雇用している。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

デバイスは特性を実証できなかったが、引き続き取り組む。Cu₂O の単結晶成長については、国立台湾海洋大学の陳政宮副教授とは共同研究契約を締結しているので、今後の更なる発展は期待できる。今後の発展性や実用化の見込みについてはさらなる研究と実証が必要である。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

未定

所属・役職 島根大学 総合理工学部 教授

氏 名 葉 文昌 印

研究題目 ガラス基板上への Cu_2O 単結晶帯成長と太陽電池応用

に関する 2024 年 4 月 22 日～2026 年 3 月 31 日の会計を 以下のとおり報告いたします。

(単位：円)

費 目	品 名	決 算 額	使 途・内 訳 等
消耗品	半導体レーザー	15018	Cu_2O 膜近赤外透過率測定
消耗品	ゲルマニウムエトキシド	26235	水溶性 GeO_2 -Cap 膜形成用
消耗品	6 ミニグラインダ	17490	成膜治具加工用
消耗品	試料ケース	16390	試料保管用ケース
消耗品	石英試験管	6479	アニール用
消耗品	ミニエアコンプレッサー	39380	試料洗浄後ブロー乾燥用
消耗品	石英ボート	8129	アニール用
消耗品	ポリエチレン手袋	39380	実験用
消耗品	HFP-120-201 同軸針	54450	IV 特性測定用プローブ針
消耗品	バレル研磨機	8400	メタルマスク作製用
消耗品	SMB コネクタ	7678	IV 特性測定用コネクタ
消耗品	塩酸	5720	エッチング用
消耗品	その他(カバーガラス、ダイヤモンドバー、養生テープ、など)	128304	実験室常備消耗品
消耗品	軸付丸鋸 外	109947	治具加工など
消耗品	ヘキサメチルジシラザン	13200	フォトリソグラフィ
消耗品	PFA チューブ継手	20293	実験装置保守
消耗品	無水ホウ酸	15290	化学薬品
消耗品	メタルマスク	42900	太陽電池作製用
消耗品	ネオジム磁石	11395	メタルマスクの固定用
消耗品	ガラスピーカー、蓋	8085	基板洗浄用
消耗品	共通摺合ガラス接手管	4727	基板洗浄用
消耗品	水素ガス	87978	アニール用
消耗品	石英ボート	8129	アニール用
消耗品	外付けハードディスク	35597	実験データ保持
消耗品	その他(ポリエチレン手袋、試料ケース、防滴型タイマー、ボタン電池、など)	21706	実験室消耗品

費 目	品 名	決 算 額	使途・内訳等
借料損料	純ガス容器使用料	11000	実験プロセスガス
旅費	学会参加、大学訪問(2024 年度)	61867	松山市招待講演、応物春季、東京大学工学部
旅費	学会参加、大学訪問(2025 年度)	122600	豊田工業大学、SSDM2025、応用物理学会秋季、フロンティア太陽電池セミナー
人件費	技能補佐員 2024 年 6、7、8、9 月分	334733	実験補助、実験室廃液処理・清掃、会計処理、事務処理
その他	間接経費	67500	5 %
合計		1350000	

・費目・品名については、設備備品・消耗品・借料損料・資料費・旅費など**助成申込時の費目に沿って購入品等**を記載してください。