

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	ガラスブローイング法によるテルライトガラス超薄膜の作製と光学基板への直接接合
Title(English)	Fabrication of ultrathin tellurite glass film on a substrate by using a combination of glass blowing and direct bonding techniques
著者(和文)	鄭瑞杰
Author(English)	Ray-Jay Jeng
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11203号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:矢野 哲司,山中 一郎,西方 篤,松下 伸広,多田 英司
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11203号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	鄭 瑞杰		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	矢野 哲司	教授	審査員	多田 英司	准教授
	審査員	山中 一郎	教授			
		西方 篤	教授			
松下 伸広		教授				

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Fabrication of Ultrathin Tellurite Glass Film on a Substrate by using a Combination of Glass Blowing and Direct Bonding Techniques (ガラスブローイング法によるテルライトガラス超薄膜の作製と光学基板への直接接合)」と題し、5章で構成される。

第1章「Introduction (緒言)」では、研究背景および研究目的を述べている。情報通信網の発達と高容量化にとまなう光デバイス、特に光集積回路の多様化、高集積化、高度化の現状について概観し、3次元光集積回路に代表される積層構造デバイスの実現に向けた材料やプロセスにおける技術的課題、特に積層における異種材料の接合の重要性とその課題について述べている。材料として有望なテルライト系ガラスの光学的特徴を述べるとともに、室温での接合の必要性と可能性について説明し、本論文の目的を述べている。

第2章「Fabrication of tellurite glass thin film by glass blowing technique (ガラスブローイング法によるテルライトガラス薄膜の作製)」では、広い光学窓を有し、ガラス形成能の高いテルライトガラス ( $\text{TeO}_2\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-B}_2\text{O}_3$  系) を取り上げ、ブローイング法によるガラスバルーン成形によりテルライトガラスの超薄膜成形について調査している。融液保持温度、バルーン成形温度、流入ガス容量、流入速度、内部圧力を制御、モニターできるブローイング装置を独自に設計・組み立て、 $800^\circ\text{C}$  に保たれたテルライトガラス融液をシリカガラスパイプ先端に分取し、種々の温度、ガス流入量を変化させたガラスバルーン成形を実施し、ガラス薄片を回収・評価することによりガラスバルーン成形による薄膜形成プロセスについて精密に評価している。用いたテルライトガラスの作業粘度領域である  $450\sim 600^\circ\text{C}$  でバルーン成形を実施し、 $450\sim 550^\circ\text{C}$  の間で真球形の極めて高い球形バルーンを成形できること、成形温度とバルーン位置 (パイプ接合位置を極点とした緯度) により厚みが系統的に変化すること、 $550^\circ\text{C}$  において流入ガス流量に関わらず  $400\text{nm}$  以下の超ガラス薄膜に成形できることをはじめて明らかにしている。また、バルーン内の圧力の測定値から、バルーン形状がテルライトガラス融液の表面張力によって制御され、形状寸法から導かれた表面張力値は既報の値とよく一致し、高い精度で成形が可能であることを示すと同時に、テルライトガラスが超薄膜形成に優れたガラス材料であることを明らかにしている。

第3章「Direct bonding of tellurite glass on silicate glass under different humidity (テルライトガラス薄膜とシリケートガラス基板の直接接合に与える相対湿度の影響)」では、第2章で得られたテルライトガラス薄膜をフロート法で製造されたソーダライムガラス基板へ室温接合し、その接合強度と雰囲気相対湿度との関係について調査している。ガラス薄膜及びシリケートガラス基板を2水準の調整された相対湿度の環境に置き、室温、 $1\text{kPa}$ 、2秒のプレス条件で接合し、薄膜と基板の接合強度を Obreimoff-Metsik 法により評価している。相対湿度  $15\%\text{RH}$  で接合させると  $250\text{mJ}/\text{m}^2$  の接合強度を達成し、 $65\%\text{RH}$  での  $100\text{mJ}/\text{m}^2$  に比較して2倍以上の値を示した。接合面における化学結合情報を得るため、FT-IR により赤外光吸収スペクトルを測定し、接合界面における OH が状態変化していることを明らかにしている。また、熱重量分析の評価より、テルライトガラスはシリケートガラスに比べて表面 OH 基の濃度がきわめて小さく、水の吸着量も少ないこと、接合における水の吸着はシリケートガラスにおいて顕著であることから、接合時における相対湿度はシリケートガラス基板表面を覆う水の吸着が大きな影響を与えることを示している。これらの評価結果より、 $15\%\text{RH}$  の低湿度環境は、界面に挟み込まれる水分子の量を低減させ、SiOH 基とテルライトガラス表面とが直接的に作用すること可能にし、高い接合強度を示す要因の一つとなったことを示している。

第4章「Mechanism of the direct bonding of tellurite glass film with substrates (テルライトガラス薄膜と基板との直接接合に関するメカニズムの検討)」では、シリケートガラス以外の種々の単結晶やガラス基板に対してテルライトガラス薄膜を室温接合し、その接合強度を評価している。接合強度は基板の種類によって大きく変化し、テルライトガラス同士の接着では  $400\text{mJ}/\text{m}^2$  の最も大きな接合強度が、また疎水性処理 Si (100) 面や  $\text{LiNbO}_3[0001]$ 、サファイヤ  $[0001]$  面において強い接合が得られることを示している。これらは水の接触角と必ずしも強い相関はなく、その他の因子を考慮する必要があることを明らかにしている。その上で、一度接合させたテルライトガラス薄膜とシリケートガラスを剥離し、それぞれの接合面であった面に対し TOF-SIMS 分析を行っている。表層数  $10\text{nm}$  の分析より、シリケートガラス基板の最表面に Te、Nb 元素が存在し、テルライトガラス表面には Na や Ca が存在・拡散していることを明らかにしている。これらの結果より、Te または Nb 元素がシリケートガラス基板上へ引き剥がされた理由として、これらの元素がシリケートガラス基板上の元素、特に低湿度環境下ではシリケートガラス骨格の酸素と直接的に強い化学結合を形成したためであると考え、テルライトガラスが基板と接合するプロセスの要素として界面における膜/基板の基本構成元素間で直接結合する機構を提案している。より強固な接合はこれらの制御により達成可能であり、3次元光集積回路の実現に対して重要な要素技術となる可能性を示唆している。

第5章「General Conclusions (結論)」では、本研究のまとめと今後の展望について述べている。

以上を要するに、本論文は、ガラスの超薄膜化に関する可能性に関し、物質科学的・工学的視点からその実現性を示し、また薄膜の室温直接接合に関するデータの収集とその原理について示しており、学術上貢献するところが大きい。よって本論文は、博士（学術）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。