

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	次世代通信応用に向けたGHz–THz帯におけるガラス材料の誘電応答に関する研究
Title(English)	Study on dielectric response of glass materials in GHz–THz band for next generation communication applications
著者(和文)	金原一樹
Author(English)	Kazuki Kanehara
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12717号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:保科 拓也,中島 章,矢野 哲司,松下 伸広,岸 哲生
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12717号, Conferred date:2024/3/26, 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

(博士課程)

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	金原 一樹	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	保科 拓也	准教授	岸 哲生	准教授
	審査員	中島 章	教授		
		矢野 哲司	教授		
松下 伸広		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Study on dielectric response of glass materials in GHz-THz band for next generation communication applications (次世代通信応用に向けた GHz-THz 帯におけるガラス材料の誘電応答に関する研究)」と題し、6 章から構成されている。

第 1 章「General Introduction」では、次世代通信 (Beyond 5G, 6G) 向け誘電体基板材料に求められる一般的な特性と課題について述べ、誘電率、誘電損失、平坦性、耐熱性、剛性、コスト等の観点から有望な候補としてガラス材料があることを説明している。ただし、次世代通信での利用が想定されている周波数帯 (100 GHz 超帯) の誘電特性に関する報告は未だ少なく、ガラス材料の誘電分極機構は完全に理解されているわけではないことを指摘している。また、100 GHz 超帯の誘電特性の起源を理解するためには、GHz-THz 帯の複素誘電率を測定・解析することが重要であると述べている。また、次世代通信技術を確立する上で重要なデバイスの 1 つに周波数フィルタがあり、誘電体基板上に電極パターンを形成したマイクロストリップラインフィルタが有効であると説明している。これらを踏まえた上で、GHz-THz 帯の複素誘電率を測定・解析する手法を確立し、代表的なガラス材料に関して誘電分極機構を明らかにするとともに、ガラス系材料を用いた周波数フィルタを試作することを本論文の目的としていることを述べている。

第 2 章「Development of Measurement System for Complex Permittivity in GHz-THz Frequency Range」では、THz 帯の複素誘電率測定には分光エリプソメトリが有効であると提案し、テラヘルツ分光エリプソメータシステムを独自に開発している。SrTiO₃ 単結晶を標準物質として用いた測定結果は、開発したシステムが 1~21 THz の周波数範囲で有効であることを示唆している。また、テラヘルツ時間領域分光装置とテラヘルツ分光エリプソメータを併用することで GHz-THz 帯におけるガラス材料の誘電特性が測定可能になったと説明している。

第 3 章「Effect of Network Modifier on Dielectric Response of Silicate Glasses in GHz-THz Frequency Range」では、ガラス材料の製造性や諸物性を変化させる修飾イオンがケイ酸塩ガラスの GHz-THz 帯の誘電特性に与える影響について調査している。アルカリケイ酸塩ガラスでは、1~9 THz の帯域で誘電緩和を示し、この緩和が GHz 帯の誘電特性に影響を与えることを見出している。また、分子動力学計算により高周波電界下でのイオンの動きを調査し、1~9 THz の帯域における誘電緩和の起源がアルカリ金属イオンのその場振動とサイト間の移動によるものであることを明らかにしている。また、GHz 帯において誘電損失が低いガラスを得るためには小さな原子番号のアルカリ金属イ

オンを必要最小限含有させることが重要であると述べている。また、ガラス中に複数種類のアルカリ金属元素を含有させることで、アルカリ金属イオンのサイト間移動の頻度を抑制し、GHz帯の誘電損失を低下させることが可能であることを明らかにしている。一方、アルカリ土類金属イオンもアルカリ金属イオンと同様の効果を誘電特性に与えると説明している。

第4章「Effect of Network Former on Dielectric Response of Sodium Silicate Glasses in GHz-THz Frequency Range」では、ガラスの諸物性を変化させるもう1つの構成要素である網目形成イオンがGHz-THz帯の誘電特性に与える影響について調査している。ナトリウムケイ酸塩ガラス中のSiイオンの一部をAlイオンやBイオンに置換した場合のGHz-THz帯の誘電特性を測定し、THz帯の誘電損失が無置換の試料に比べて増加することを明らかにしている。また、THz帯の誘電損失のピーク周波数はAlイオンに置換すると低周波側に、Bイオンに置換すると高周波側にシフトすることを確認し、両者の違いがガラス構造によって説明できると述べている。また、GHz帯で低誘電損失のガラスを得るためには、AlイオンよりBイオンを含有した方がよいことを明らかにしている。

第5章「Fabrication of Prototype Filter Device Using Glass-Ceramic Material」では、次世代通信向けの周波数フィルタデバイスとして、ガラス系材料を基板として用いたマイクロストリップラインフィルタを試作している。通常ガラスの誘電率の温度係数は+100 ppm/K程度であり周波数フィルタの材料として適当ではないが、誘電率の温度係数が負であるルチル結晶をガラス中に均一に析出させることで、最終的に-2.7 ppm/Kとゼロ温度係数に近い結晶化ガラスの開発に成功している。また、温度係数の小さな結晶化ガラス基板を用いてミリ波帯の周波数フィルタを作製し、挿入損失が低く、フィルタ特性の温度変化が微小なデバイスであることを示している。

第6章「General Conclusion」では、各章で得られた成果を総括して結論を述べている。

これらを要するに本論文は、GHz-THz帯の誘電特性の測定手法を開発し、これまで未知であったGHz-THz帯のガラス材料の誘電特性の起源を解明するとともに低損失ガラス材料の設計指針を示したものである。また、周波数フィルタを試作することで、ガラス系材料が次世代通信技術に応用できることを実証したものであり、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として十分価値あ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。