

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ミリ波帯における誘電体材料評価技術の研究
Title(English)	Study on probing technique for dielectric measurement at millimeter-wave frequencies
著者(和文)	坂巻亮
Author(English)	Ryo Sakamaki
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11327号, 授与年月日:2019年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:鶴見 敬章,生駒 俊之,松下 伸広,宮内 雅浩,武田 博明,保科 拓也
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11327号, Conferred date:2019/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of Graduate major in	材料 材料	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 (学術) Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名： Student's Name	坂巻 亮		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main) 鶴見 敬章
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub) 武田 博明

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論では、300 GHz に至るミリ波帯で利用可能な高精度なプローブ制御技術と、それを応用した新しい誘電体材料の評価技術を開発した。開発したプローブ制御技術は、従来技術の顕微手法と異なり、実際に測定される電気信号を解析することで、プローブ位置を自動的に決定することができる。そのため、顕微鏡の解像度や作業者依存性といった外乱要因を避けることができるため、プローブ位置の再現性を高めることができる。また、開発した誘電体材料の評価技術では、高周波プローブを伝送線路の中ほどに接触させることにより、その場で共振を発生させる事で材料評価を行なう。開発した評価技術は2つの大きな特徴がある。1つはその場で共振を発生させるため、事前に共振器を準備する必要がない事である。もう1つは、共振器の寸法精度はプローブの位置制御精度で決まる事である。前者は実用デバイスを用いたその場実効誘電率測定を実現できる。後者は、従来の共振法では共振器の寸法精度の限界から困難であった、300 GHz に至るミリ波帯での材料評価を実現させる事ができる。

第1章では、先端通信技術におけるミリ波帯の利用状況と、従来の材料評価技術の問題点について述べる。特に100~300 GHz 付近の次世代通信技術の開発が始まっているが、その帯域における適切な低損失材料の評価手法が存在しない事が課題である。そこで、本研究では当該帯域で利用できる高周波プローブを利用した新しいデバイスの評価技術と誘電体材料の評価手法を提案する。

第2章では、プローブの接触位置を高精度の制御する技術を開発した。従来技術では目視及び手動でプローブの接触位置を決定するため、その位置決め精度は10 μm 程度であった。開発した制御技術では、測定される電気信号を解析することでプローブ位置を決定する。そのため、顕微鏡の解像度の影響や作業者依存性を避けることができ、1 μm 精度でプローブの接触位置を制御する事ができる。

第3章では第2章で開発した高精度プローブ制御技術によりデバイスの測定再現性が向上の実証を行なった。まず、平面回路評価における誤差解析アルゴリズムを開発し、平面回路評価においてプローブ位置が最も大きな誤差要因であることを確認した。さらに、実際にプローブ制御技術を用いてデバイスの評価を行なったところ、測定再現性が約2倍程度向上することが明らかになった。

第4章では、開発したプローブの制御技術を用いた誘電体材料の評価を実証した。材料

評価を実現するため、最先端のサブミリ波伝送線路理論を取り入れることで 300 GHz に至る周波数帯域での評価体系を構築した。開発した誘電特性の評価技術を用いて、高周波デバイスの基板材料として広く利用されるアルミナの評価を行なったところ、従来のフォノンによる誘電分散モデルで得られた誘電特性と、測定精度の範囲内で一致した。これにより、開発した材料評価手法の妥当性を実証することができた。また、本論で提案した評価手法を石英やジルコニアといったアルミナ以外の材料にも適用可能であることを示した。

第 5 章では開発した材料評価法による、実用的な高周波デバイスを用いた、『その場』実効誘電率の評価を実証した。共振器の構造を有さない整合した伝送線路と減衰器を用いて実効誘電率の評価を行なったところ、双方の測定結果は一致した。この結果から、開発した材料評価手法が実用デバイスの実効誘電率の評価手法としても有効であることを実証した。

第 6 章では本研究の社会及び学問における位置づけについて述べる。本研究は材料工学の課題に対してデバイス工学の知見を用いて取り組んだ。そのため、双方の学問を橋渡しする研究である事を示した。また、橋渡しを行なうことで、新しい研究課題を創出や産業におけるデバイス開発速度の促進など、産業及び学問に対して寄与できる事を示した。

本研究で開発した開発したプローブ位置の制御技術と誘電体材料の評価技術は、昨今議論が開始された次世代通信技術で利用されるデバイスや材料の評価法として有効であり、産業社会への波及効果も期待する事ができる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 材料	系 コース	申請学位 (専攻分野) : 博士 (学術) Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名 : Student's Name	坂巻 亮		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main) 鶴見 敬章
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub) 武田 博明

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The new dielectric measurement technique was developed to address following two present problems of conventional technique.

- 1) Since conventional low-loss dielectric measurement technologies are based on resonator-method, accuracy of mechanical working of a resonator limits range of measurement frequency. It becomes programmatic especially at mmW frequencies range of 100-300 GHz.
- 2) Conventional measurement techniques assume a homogeneous material. Thus, inhomogeneity of substrate cannot be investigated in the mmW. Inhomogeneity of substrate causes harmful impacts to reliability of RF devices. Thus, in-situ dielectric measurement technique is required to address the problem in the mmW.

The problems above are obstacles for development of “Beyond-5G” communication technologies of which the operating frequencies up to 340 GHz are considered to assigned.

The proposed measurement technique utilizes on-wafer measurement system to contact a probe at the middle of transmission line. Thus, impact of probe positioning should be investigated to establish the measurement technique. Main achievements of the study are summarized below:

- 1) The precision probing technique was developed to minimize variation in probe position in on-wafer measurement. The variation was reduced to 1 μm , which reaches 10 μm in the conventional technique.
- 2) The precision probing technique was demonstrated with various devices, such as the attenuator and the screen-printed transmission line. Measurement repeatability was greatly improved by using the precision probing technique in the all of measurements.
- 3) Material characterization was demonstrated by the proposed PBR method. Further, accuracy of the measurement was investigated. The evaluated results exhibited good correspondence to dielectric dispersion estimated from conventional phonon mode model.
- 4) Effective dielectric permittivity measurement was demonstrated by using the attenuator device, which does not have any resonator structure. The evaluated effective permittivity was corresponded to value derived from matched transmission line.
- 5) Measurement uncertainty analysis algorithm was developed to investigate on impact of probe positioning to dielectric measurement. The analysis result shows that accuracy of the positioning is a dominant uncertainty contributor in the ϵ_r measurement, but dimension of CPW was still dominant for $\tan\delta$ measurement.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).