

1) 研究会の名称 : 5G/beyond5G, そして 6G 用誘電体材料とその応用研究会

2) 申請者 : 研究会代表者 名古屋産業科学研究所・研究部 上席研究員 大里 齊

3) 趣旨と目標 :

5G の「高速・大容量」「低遅延」「多数同時接続」といった機能の高度化に加え、「超低消費電力」「超安全・信頼性」「自律性」「拡張性」といった持続可能で新たな価値の創造に資する次世代通信規格「6G」が 2030 年代に実現すると言われている。6G に先駆けて、現在は 5G/beyond 5G のデバイス開発が盛んである。5G/beyond 5G で使用される周波数は、Sub6 帯と呼ばれる 3.7GHz 帯と 4.5GHz 帯、ミリ波と呼ばれる 28GHz 帯 所謂“ミリ波”である。ミリ波で使用される通信材料は、LTCC、液晶ポリマー(LCP)、硝子等々である。申請者は令和 3 年応用物理 学会秋季シンポジウムの研究発表で 6G 移動体ミリ波通信用低比誘電率/超低誘電 損失セラミックス材料を報告した 1)。超低誘電損失($\tan\delta$)セラミックス材料は、ケイ酸塩系/スピネル系/コランダム系があり、セラミックスはポリマー 系より誘電率は高い(10 度程)が、 $\tan\delta$ は 10-5 とポリマー系と比べて 2 衍程度低い。Zoom 形式で令和 6 年 10 月(参考 2)、令和 4 年 11 月(参考 3)、令和 4 年 3 月(参考 4)に研究会を行なった、ミリ波帯でのデバイスを目指した発表、特に LTCC の発表があった。申請者の発見したミリ波通信材料をデバイスに適応すべく 低温焼成化、内部電極との積層化(LTCC、図 1 参照)を進めていく予定である。

4) 責任者及び主要メンバー

(責任者) :

研究会代表者 名古屋産業科学研究所・研究部 上席研究員 大里 齊

研究会副代表 名古屋産業科学研究所・研究部 上席研究員 小川宏隆

(メンバー) :

マテリアルグループ

- ・名城大学・准教授
- ・丸久釉薬合資会社・代表社員、他 1 名
- ・愛知産業科学技術総合センター
- ・瀬戸窯業試験場・場長、他 1 名
- ・防衛大名誉教授/元大阪公立大客員教授・山本孝教授(Online 会議主催者の一員)

デバイスグループ

- ・太陽誘電(Online 会議参加)
- ・日本特殊陶業 (Online 会議参加・発表)

システムグループ

- ・NEC

5) 実施場所と形態

令和 6 年 10 月 2 日に Zoom で行ったと同様な方式で行う。

6) 実施期間：令和7年6月1日～令和9年3月31日 年2回程度予定。

《参考1》2021.09, 応用物理学会秋季シンポジウム

“6G 移動体ミリ波通信用低比誘電率/超低誘電損失セラミックス材料”

○大里 齊 1&2, 菅 章紀 3, 山本 孝 4, 小川宏隆 1, 鈴木貞彦 2

(a) Materials for 5G 【Polymer】

材料	ϵ_r	$\tan\delta$	Qf ($\times 10^3$ GHz)	f (GHz)
LCP	2.91	3.5×10^{-3}	2.85	10
FR-4	4.1	1.2×10^{-2}	0.83	10
PI	3.5	5.0×10^{-3}	2.0	10

(b) Materials for 6G 【Ceramics】

材料	ϵ_r	$\tan\delta$	Qf ($\times 10^3$ GHz)	f (GHz)
Forsterite Mg_2SiO_4	6.8	6.5×10^{-5}	246	16
Willemite Zn_2SiO_4	6.6	7.0×10^{-5}	219	16
Indialite $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$	4.7	9.0×10^{-5}	210	19
Spinel $MgGa_2O_4$	9.2	4.9×10^{-5}	298	15
Corundum $Mg_4Ta_2O_9$	11.2	3.3×10^{-5}	347	12

LCP:Liquid Crystal Polymer, FR-4:Epoxy glass, PI: Polyimide

上記表にポリマーとセラミックス材料の特性を比較した。ポリマーは、低比誘電率に優れ、低誘電損失 ($\tan\delta \sim 10^{-3}$) であるので 5G 用として利用されつつある。一方、超低損失セラミックス材料には、ケイ酸塩系/スピネル系/コランダム系があり、比誘電率は 10 以下で $\tan\delta$ は 10^{-5} とポリマーに比べて損失が 2 枠小さい。ケイ酸塩系は、共有結合性が強い SiO_4 四面体を骨格構造に持つので比誘電率が低く、品質係数 Qf が高い。更に、スピネル系/コランダム系も配位多面体の共有結合性が強いので比誘電率が低く、品質係数 Qf が高い。現実の高周波フィルターは図 1 に示すように内部電極導体、Via を同時焼成できる LTCC 構造を用いている。低温焼成のために、ガラスとフィラーの混合体である。超低損失セラミックス材料をフィラーとして、如何なるガラスを用いるかが重要である。

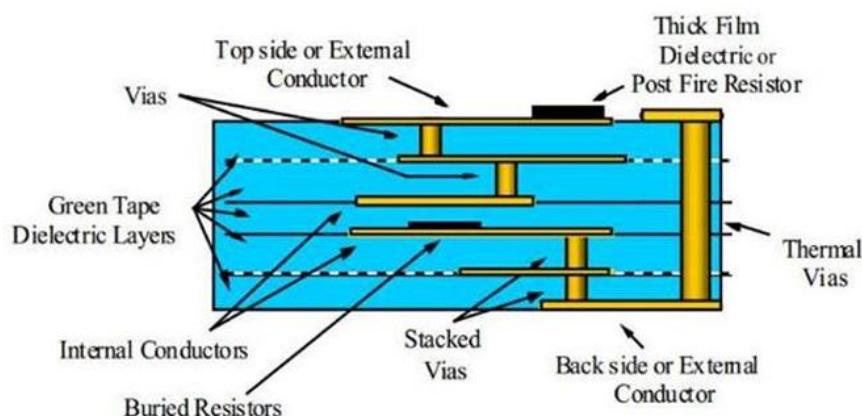


図 1. 典型的な LTCC 構造

《参考 2》 総合講演題目：大里齊（名産研）”5G/beyond5G, そして 6G 用誘電体材料と デバイス・システム”

日時 令和 6 年 10 月 2 日（水）13:00～17:00

講演 1 講演題目『シリカ中空粒子の作り方、樹脂、セラミックスとの複合化、応用例』

名古屋工業大学先進セラミックス研究センター藤正督先生

Abstract （中空粒子はシェルと空気などを含む空間から構成される固/気体複合粒子である。その特異な構造から、従来の固体粒子とは異なる優れた特性を有する。本講演では私たちが取り組むシリカを中心とした中空粒子合成やその機能化について紹介する。）

講演 2 講演題目『半導体パッケージの高機能化に貢献する無機フィラー』

堺化学工業株式会社 中央研究所 第 2 研究開発グループ 谷川弘樹様

Abstract （半導体パッケージの高機能化にともない、材料への要求も高度化している。堺化学では、長年培った粉体プロセッシング技術を活用し、無機フィラーのサイズや形状、表面状態を制御することで、この要求に応えている。本講演では、低 Df の真球状 シリカ「SciQas®-LT シリーズ」を中心に、無機フィラーがパッケージの進化を支える事例について紹介する。（第 20 回 JPCA 賞奨励賞受賞）

講演 3 講演題目『高速高周波用フッ素系基板材料の開発動向』 * LTCC 関連

AGC 森野正行様

Abstract （高速高周波用基板の絶縁材料として低損失材料が重視されている。特にフッ素樹脂は、有機材料として最高レベルの低比誘電率・誘電正接を持つ一方で、フッ素由来の不活性により基板材料としての複合化が難しかった。AGC では独自のフッ素樹脂設計技術により、接着性・分散性を持つフッ素樹脂を開発し、これと他材料との複合化によりフッ素樹脂の電気特性と機械特性を補い合った、高周波向け基板材料を実現した。本講演では、5G/6G 回路基板材料の要求性能と Fluon+ EA-2000 の特性紹介、基板への応用例とその性能について紹介する。）

講演 4 講演題目『SiC/GaN パワー半導体生産の日本における課題』

ユニテスシステム日本支社 代表 山口泰範様

Abstract （パワー半導体の欧米メーカと日本のメーカでは工程が異なるため、それに 使用するテスト環境と周辺装置が大きく違います。1995 年における欧米メーカの ウエハテストと現在のウエハテストは進化しています。しかし、残念ながら日本のパワー半導体におけるウエハテストは 20 年以上全く進化していません。20 年以上技術開発が進んでいない現状についての課題と進むべき方向を提案する。）

【参考 3】

名古屋産業科学研究所講演会 【5G/beyond5G, そして 6G 用誘電体材料と その応用研究会】

日時 令和 4 年 4 月 11 日（水）13:00～17:00

講演 1 「5 G/Beyond 5 G に向けたミリ波フィルタの理論設計と実際」

神奈川大学 電気電子情報工学科 陳 春平先生 (13:00~14:00)

5G/beyond 5G システムに用いられる高性能ミリ波フィルタを迅速に開発するためには合理的な設計理論および適切な回路構造が必要である。本講演では、高周波 フィルタの実用的合成理論/設計法について解説する。実際例として、ミリ波帯金属フォトニック結晶共振器直結型帯域通過フィルタを合成理論に基いて設計し フィルタ設計 の手順を述べる。

講演 2 「5 Gにおけるミリ波フェーズドアレイ無線機の設計と実際』

東京工業大学 工学院電気電子系 岡田健一先生 14:00 ~ 15:00

本講演では、5 Gやその先の 6 Gで用いられるミリ波帯を用いるフェーズドアレイ 無線機について、その基本原理や最新の研究開発動向を紹介する。

講演 3 (5G 用 LTCC フィルタの事例 (ミリ波帯) *LTCC

『TDK コミュニケーションデバイス B.Grp Mobile RF Components 統括部 戸蒔 重光様 15:00
~16:0

本講演では、ミリ波高周波における低損失性能、高信頼性の LTCC 材料を用いた、5 G 基地局用の積層バンドパスフィルタの製品紹介と、システム要求に対応した性能、安心・安全な電子デバイスを実現する製品設計技術について紹介致します。

講演 4 『強誘電性光学結晶を用いたアンテナ集積光変調デバイスと 5 G 無線への応用』

三 三重大学 大学院工学研究科 電気電子工学専攻 村田 博司先生 16:00~17:00

講演者のグループは、強誘電性光学結晶の表面に準ミリ波帯～ミリ波帯の平面アンテナ を作製・集積化した新しい光・電波融合デバイスを開発して、5G/Beyond-5G 無線通信システムやミリ波レーダーへの応用への検討を進めている。講演では、強誘電性結晶を用いた アンテナ集積光変調デバイスについて紹介する。

【参考 4】名古屋産業科学研究所講演会

【5G/beyond5G,そして 6G 用誘電体材料と その応用研究会】

日 時： 令和 4 年 3 月 9 (金) 13:00 ~ 17:30

講演 1「定在波を使った新しいケーブル性能評価方法 & 70k~220GHz のシングル掃引を 実現したベクトルネットワークアナライザの紹介」 / 「300GHz のスペクトラム アナライザの話」

アンリツ(株) 黒岩祥浩氏 / アンリツ(株) 野田華子氏 (13:00~13:40)

ミリ波領域の測定において、測定用ケーブルの屈伸によりケーブル内振幅が変動する。校正後のケーブルの屈伸は測定結果に誤差を与える。定在波を意図的に発生させることによる、ケーブル性能測定原理・測定法を説明する。また、300GHz 帯のスペクトラム評価について説明する。ミリ波は距離減衰が大きいため測定不要論もあるが、高利得アンテナを利用による長距離伝送の研究も進んでおり、周波数共用の観点からスペクトラム評価は不可欠。

講演 2「多層積層技術を活用した 5G ミリ波帯向けセラミックスアンテナの開発と Beyond5G/6G に向けた取り組み」 *LTCC

日本特殊陶業(株) 山下大輔氏 (13:45~14:25)

商用展開が進む"5G"では、現在 sub6 とミリ波帯と呼ばれる例えば 28GHz を中心とした周波数帯があり、日本特殊陶業はミリ波帯をターゲットに独自の低損失 LTCC 材と セラミック多層積層技術を活かしアンテナと RF 回路を一体化したアンテナモジュールの開発に取り組んでいます。本講演では、弊社の LTCC 材とこれまでに開発した 5G のミリ波帯向けアンテナ・アンテナモジュールを紹介致します。更に B5G/6G に向けた取り組みについても紹介致します。

講演 3 「57-71GHz をカバーする 60GHz 帯広帯域無線通信モジュール」

(株)フジクラ 小林聖氏 (14:30~15:10)

送受 16 素子のアクティブフェーズドアレイを適用し、57-71GHz の広帯域で動作する 60GHz 帯無線通信モジュールを開発した。本モジュールはビームフォーミング機能によってビーム方向調整を不要とし、また高出力かつ高感度な RF 性能によって 500m の距離で 1Gbps 以上の通信速度を達成する。本モジュールの構成、および屋外での実証実験による特性評価結果を報告する。

【上記、講演とも、ミリ波に関連した講演、*LTCC の講演を含んでいる】

参加者所属リスト (令和 5 年度研究会)

太陽誘電, 双信電機, 日本特殊陶業, AGC, JFCA, KOAglobal, トヨタ中研, ノリタケカンパニーリミテド, TDK, TDK コミュニケーションデバイス, 三重大, 日機装, 東京工大, 新東 V セラックス, 神奈川大学 名産研/丸ス釉薬合資会社, 本多電子株式会社, ピクリング, 京セラ 新東工業, リコー, 名産研, フジクラ, 防衛大(大阪公立大), アイチシステム, ピクリング, 村田製作所

参加者総数 38 名