

準静止衛星搭載用ミリ波フェーズドアレーアンテナに関する研究 (031605002)

Study on phased array antenna technology in millimeter wave region for quasi-geostationary satellites

片木 孝至 金沢工業大学

Takashi Katagi Kanazawa Institute of Technology

水澤 丕雄, 別段 信一, 野口 啓介, 廣田 哲夫[†] 牧野 滋, 礒田 陽次, 宮下 裕章, 川上 憲司^{††} 磯 彰夫^{†††}
 Motoo Mizusawa, Shin-ichi Betsudan, Keisuke Noguchi, Tetsuo Hirota[†] Shigeru Makino, Yoji Isota,
 Hiroaki Miyashita, Kenji Kawakami^{††} Akio Iso^{†††}

[†]金沢工業大学工学部 ^{††}三菱電機株式会社情報技術総合研究所 ^{†††}株式会社エム・シー・シー

[†]Kanazawa Institute of Technology ^{††}Mitsubishi Electric Corp. Information Technology R&D Center
^{†††}MCC Corporation

研究期間 平成 15 年度～平成 17 年度

概要

軌道資源、周波数資源の開発を目指し、準静止衛星搭載用ミリ波フェーズドアレーアンテナをとりあげ、システムおよび要素技術の研究を行った。ミリ波衛星通信システムについては将来のミリ波帯衛星移動通信の需要について考察し、その必要性を明らかにした。要素技術として、ビーム整形技術、アクティブ回路をアンテナ上面に設けた上面スロット励振パッチアンテナ、誘電体共振器アンテナ、広帯域アンテナなどについて検討を行った。またミリ波要素技術として、低コストな 2 層シリコンウェハパッチアンテナの試作および評価を行った。移相器は MEMS プロセスを用いた試作と評価、mHEMT プロセスを用いた MMIC の試作と評価を行い、ミリ波帯域に適した構成およびデバイスを見極め、現状では後者が優れていることを明らかにした。送受信装置に不可欠な局部発振器としてミリ波低位相雑音発振器について検討し、GaAs HBT 素子を用いた発振器を試作し、世界トップレベルの位相雑音特性を得た。増幅器は mHEMT プロセスを用いてミリ波帯域で小形高利得、及び広帯域高利得な増幅器 MMIC を試作し、その評価を行った。

Abstract

The aim of this study is to increase advantage of quasi-geostationary satellites by the use of phased array antennas in millimeter wave region. System concepts of mobile satellite communications and necessary technologies were studied. The required bandwidth of future mobile satellite communications was studied and necessity of satellite communications system in millimeter wave region was clarified. As for antenna technologies, beam shaping technique of a phased array antenna, upper side slot excited patch antennas, dielectric resonator antennas, and broad band antennas were studied. To develop fabrication techniques of antennas in millimeter wave region, a cavity backed patch antenna on a double-layer silicon wafer was fabricated and tested. A phase shifter based on RF-MEMS process was designed and a MMIC phase shifter based on mHEMT process were fabricated and tested. Comparison of these two models made clear the latter is superior in millimeter wave region at present. Low phase noise oscillators were also investigated for the use as local oscillators. An experimental model using GaAs HBT device showed a top level low phase noise characteristic in the world. MMIC high gain amplifiers based on mHEMT process aiming small type and broadband type were fabricated and tested.

1. まえがき

静止衛星軌道に代わる新しい軌道資源として、わが国のような中高緯度地域に適した準静止衛星軌道が提案され、開発が始められている。本研究では準静止衛星のように移動する衛星の利便性を高めるために必要となるフェーズドアレーアンテナ、特に周波数資源の開発をも目指し、ミリ波フェーズドアレーアンテナをとりあげ、システムおよび要素技術の研究を行った。

2. 研究内容及び成果

2.1 システム検討

ミリ波衛星通信の必要性、動向、及びシステムの概念を検討し、2010 年には移動体衛星通信でミリ波帯が必要不可欠である事を示した。ミリ波帯通信実験衛星の早期打ち上げとシステム総合実験に必要な低軌道におけるミリ波帯衛星通信実験システム、通信衛星用アンテナおよび中継器の基本構成について調査検討を行った。

2.2 アンテナ要素技術

低損失で放射効率の高いアンテナ形式として上面スロ

ット励振アクティブパッチアンテナを考案し、その特性を理論的、実験的に評価した。

誘電体共振器アンテナとして、円柱形誘電体共振器アンテナの場合、広帯域化を狙いとして研究を行い、VSWR が 2 以下における比帯域幅は、数値解析で 28.8%、試作実験で 34.6%を得た。クロススロット励振角錐台形誘電体共振器アンテナをとりあげ、円偏波特性について検討し、ボアサイト方向に対して±60°の範囲において 3dB 以下の軸比が得られた。

広帯域板状アンテナを実現するために、板状非対称ダイポールアンテナを取り上げ、インピーダンス帯域幅の広帯域化を行った。その結果 VSWR ≤ 2 において比帯域幅 123% (実験で 105%) の超広帯域アンテナを得た。更に、コの字形非対称ダイポールアンテナの特性が板状非対称ダイポールアンテナの特性とほぼ等しいことを示し、VSWR ≤ 2 において比帯域幅 120% (実験で 130%) の超広帯域アンテナを得た。

パッチアンテナの広帯域化の方法として無給電素子をスタックする方法について検討を行った。VSWR ≤ 2 の比帯域幅は無給電素子が一つの場合 23.3%が、また無給電素

子が二つの場合 29%が得られた。

MEMS 技術を用いた 2 層シリコンウェハパッチアンテナを提案し、設計及び試作評価を行った。帯域幅 4%で反射係数 -10dB 以下、放射効率 80%のアンテナを実現し、設計値と良く一致する結果を得た。

2.3 ミリ波要素技術

移相器については、RF-MEMS スイッチ、及び mHEMT 半導体を用いた移相器を試作した (図 1)。経路切り替え型 RF-MEMS 移相器の予測性能と、低損失な InGaAs デバイスである mHEMT トランジスタを用いた移相器 MMIC の試作結果を比較し、現状の回路構成では、半導体移相器の方が、小型で、かつ低損失であるという結果を得た。ただし、コストの面では RF-MEMS デバイスの台頭が待たれる。

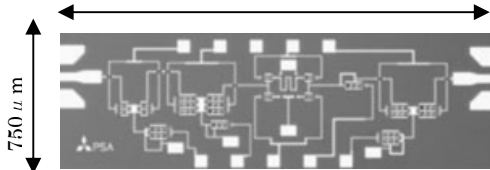


図1 mHEMTを用いた 44GHz 用 5 ビット移相器

低位相雑音発振器は、35GHz 帯の GaAs HBT 素子を用いたディスクリット発振器を試作し、100kHz 離調の位相雑音 -98dBc/Hz という世界トップレベルの結果を得た (図 2)。また、ミリ波帯で使用する発振器の構成として、マイクロストリップ共振器を用いた 44GHz 帯直接発振器、マイクロストリップ共振器を用いた 22GHz 帯の 2 倍波取出し発振器、およびプッシュプッシュ発振器の 3 種類の試作評価を行い、発振電力及びスプリアスの観点においてプッシュプッシュ型が優位であることがわかった。

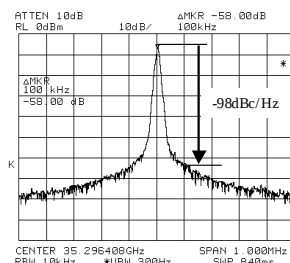


図2 35GHz 帯発振器の出力スペクトラム

増幅器は、最終段に用いることを想定し、基本波の特性に影響を与えることなく 2 倍波の負荷の位相を変えて 2 倍波を抑圧する、ミリ波高効率増幅器回路を考案した。また、ドライバ段および小型アンテナに用いることを想定した mHEMT プロセスを用いた高利得増幅器 MMIC を試作した。

評価の結果、広帯域化品種 (図 3) では 22~44GHz において利得 10dB を実現し、ミリ波帯で高利得を実現するための回路構成とその設計精度について妥当性を確認した。

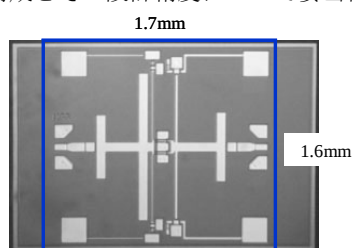


図3 広帯域化品種の MMIC チップ写真

3. むすび

広帯域性と広域性の特長を生かすミリ波帯衛星通信は、将来、我が国全土及び周辺地域にわたり、高速、大容量の通信や観測・測位サービスを提供する事が期待され、わが国の高度情報通信社会に多大の波及効果をもたらすものと考ええる。

開発したアンテナ技術は基本的な技術であり、ミリ波レーアンテナの素子アンテナとしてのみでなく、単独、或いは別の周波数帯での応用が考えられる。ミリ波要素技術開発により、ミリ波帯で用いる半導体デバイスとしての m-HEMT の有効性と、低損失回路への MEMS 技術適用の優位性を示すことができた。これらの技術は準静止衛星搭載用ミリ波 APAA のみならず、ミリ波帯無線 LAN などの民生用低コストミリ波モジュールへの適用が可能である。

【誌上発表リスト】

- [1] 西野、半谷、曾田、吉田、李、田口、福本、宮崎、高木、“RF-MEMS デバイスの集積化”、電子情報通信学会総合大会シンポジウム講演 (大阪) (2005 年 3 月 23 日)
- [2] Koga, Yoshida, Yamashita, Hamaguchi, Nishizawa, Taguchi, Nishino, Miyashita, Makino, “Cavity-backed MEMS patch antennas on double-layer silicon wafers,” IEEE AP-S 2006, New Mexico. 予定
- [3] 湯川、小倉、堀口、中山、“2 倍波反射スタブ装荷合成回路によるバランス形増幅器の高効率化の検討”、電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会 (札幌) (2005 年 9 月 20 日)
- [4] 多田、水澤、別段、片木、野口、今西、“非対称板状ダイポールアンテナの広帯域化”、信学論 (B)、vol.J88-B, No.12, pp.2398-2400 (2005 年 12 月)。
- [5] 東頭、片木、別段、水澤、廣田、野口：“同軸・マイクロストリップ線路給電型上面スロット励振アクティブパッチアレーアンテナ”、2006 年電子情報通信学会総合大会、B-1-66,p66 (東京) (2006 年 3 月 25 日)。

【申請特許リスト】

- [1] 西澤、古閑、宮下、大橋、西野、RF-MEMS スイッチ装置及び RF-MEMS スイッチ装置を装荷したアンテナ装置、日本、2004 年 2 月 27 日
- [2] 宮口、檜枝、西野、半谷、宮崎、湯之上、畠山、吉田、高木、移相回路、高周波スイッチ並びに移相器、日本 (PCT)、2004 年 3 月 26 日
- [3] 桶川、植松、池松、佐藤、片木、別段、水澤、野口、東頭、アンテナ装置、日本、2005 年 3 月 15 日
- [4] 水澤、野口、別段、片木、多田、今西、ダイポール型アンテナ、日本、2005 年 3 月 10 日
- [5] 湯川、堀口、大塚、中山 増幅回路 日本、2005 年 11 月 4 日

【受賞リスト】

- [1] 多田、信学会北陸支部優秀論文賞、“コの字形ダイポールアンテナの放射特性”、2006 年 3 月 1 日。
- [2] 東頭、信学会北陸支部優秀論文賞、“同軸・マイクロストリップ線路給電型上面スロット励振アクティブパッチアンテナ”、2006 年 3 月 1 日。
- [3] 諸田、信学会北陸支部優秀論文賞、“ミリ波帯携帯端末用広角ビームアンテナ”、2006 年 3 月 1 日。
- [4] 内越、信学会北陸支部優秀論文賞、“無給電素子をスタックしたパッチアンテナの電流および磁界分布”、2006 年 3 月 1 日。