

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月31日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22246052

研究課題名（和文） シリコンチップ背面上厚膜絶縁体層高効率ミリ波アンテナと特性測定システム構築の研究

研究課題名（英文） Study of High-efficiency Millimeter-wave Antenna on a Thick Resin on a Silicon Chip and Development of the Measurement Systems

研究代表者

廣川 二郎（HIROKAWA JIRO）

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：00228826

研究成果の概要（和文）：

厚さ2μmの銅膜で覆った5mm四方のシリコンチップ上に厚さ200μmの絶縁体層を設け、その上に円偏波パッチ素子を形成し、基板に開けた貫通孔より同軸構造で給電するアンテナを60GHz帯で設計、試作した。そのアンテナの放射効率を電波攪拌金属箱を用いて、測定の不確かさ±3%で実測し、治具も含めて75%と設計値と良い一致を得た。長さ320μmの同軸構造での損失は0.2dBと確認できた。また、50GHz帯で光ファイバを用いた指向性測定システムを構築した。

研究成果の概要（英文）：

We have designed and fabricated a circularly-polarized patch antenna fed by coaxial structure through a hole, which is realized on a 200μm-thick resin over a 5mm-square silicon chip coated with 2μm-thick copper. The radiation efficiency of the antenna is measured by a reverberation chamber with uncertainty of ±3%. It is 75% and has good agreement with the designed value. The loss of the 320μm-long coaxial structure has been confirmed to be 0.2dB. We have also developed the system to measure radiation patterns using optical fibers in the 50GHz band.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	20,400,000	6,120,000	26,520,000
2011年度	8,700,000	2,610,000	11,310,000
2012年度	7,500,000	2,250,000	9,750,000
総計	36,600,000	10,980,000	47,580,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：アンテナ，ミリ波，シリコンチップ，放射効率，指向性

1. 研究開始当初の背景

(1) シリコン CMOS 技術を用いた RF 回路の動作周波数が 60GHz 帯近くまで高くなってきた。それに伴い国外・国内の多くの機関が、シリコン CMOS チップに、RF 回路だけでなくベースバンド回路やアンテナまでも一体に集積した無線モジュールの検討を進めてきている。また、筐体の影響を考慮したミリ波

帯小型アンテナの指向性、放射効率の測定システムの構築はほとんど行われていなかった。

(2) 従来、RF 回路とアンテナは別体で製作され、ミリ波帯の線路で接続されていたが、線路自身の伝送損や線路と各回路の接続損を合わせるとそれだけで 1～2dB 程度と極め

で大きい。また、RF 回路上にアンテナを構成している例も見られるが、RF 回路の絶縁体層がアンテナの高さになるため、その標準的な厚さが 10 μm (60GHz での自由空間波長の 1/500)である。厚さが 10 μm では、いかに回路上で工夫しても、アンテナの放射効率の改善は見込めない。

(3) シリコンチップの大きさは 5mm(1 波長)四方形と小さく、チップに搭載できるアンテナの素子数は 1~4 素子程度と少ない。アンテナのビーム幅は広く、筐体等の影響を大きく受ける。最終的に、アンテナと RF 回路がチップに一体化された場合、ミリ波帯の RF 信号は外部から供給されないため、アンテナからの RF 放射全電力を測定できるシステムを構築して放射効率を評価する必要があった。

2. 研究の目的

(1) シリコンチップ上に従来の 20 倍以上の厚膜絶縁体層を半導体プロセスに近い手法を用いて形成し、そこに 60GHz 帯アンテナを製作し、従来の 10 倍以上の高い放射効率を実現する。

(2) アンテナを製作したシリコンチップの面と反対側に低損失で接続する方法を確立する。

(3) 筐体等の影響を受けた本アンテナの放射指向性を正確に測定するため光ファイバを用いた測定法を構築する。

(4) 筐体等の影響を受けた本アンテナの放射効率を正確に測定するため、小型電波攪拌金属箱を用いた測定法を構築する。

3. 研究の方法

(1) (2)① RF 回路と低損失で接続し、かつ高い放射効率を有するミリ波帯オンチップアンテナとして、図 1 に示すような、シリコン基板上に厚さ 200 μm の誘電体層を設けその上に円偏波パッチ素子を有し、基板に開けた貫通孔より同軸構造で給電するアンテナを 60GHz 帯で設計した。

② チップの反りによる電波漏洩を防ぐため、図 2 に示すようなチョーク溝を掘った評価治具にアンテナを固定した。

③ 提案アンテナを 2x2 素子にアレー化し 60GHz 帯で動作する 4 相発振回路から同軸構造で直接給電するテストチップを設計した。図 3(a) に示すように、アンテナは円偏波パッチ素子を 90 度ずつ回転したシーケンシャルアレーとした。図 3(b) に示すような、配線を

施したフレキシブル基板をアンテナチップ裏面に熱圧着し、そこに発振回路をフリップチップ実装する給電構造を提案した。図 3(b) において、(a)は直流バイアス供給配線、(b)は短絡と等価となる 1/4 波長オープンスタブ、(c)はアンテナとの整合を取るスタブ、(d)はフリップチップ実装する 4 相発振回路チップの位置を表している。

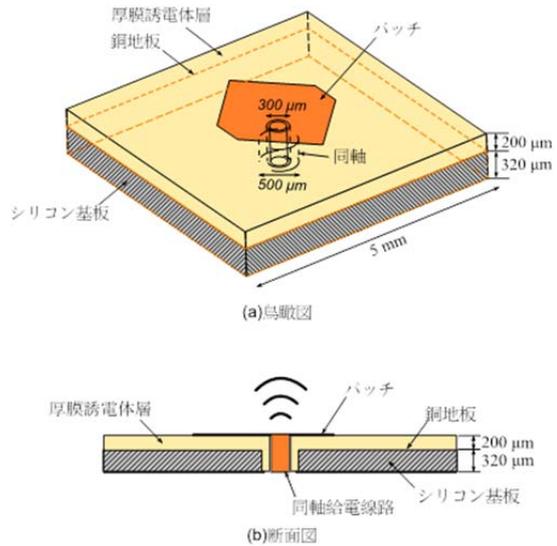


図 1 シリコンチップ上パッチアンテナ

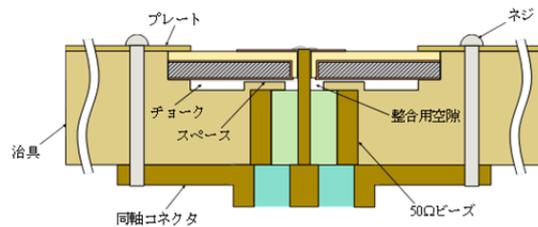
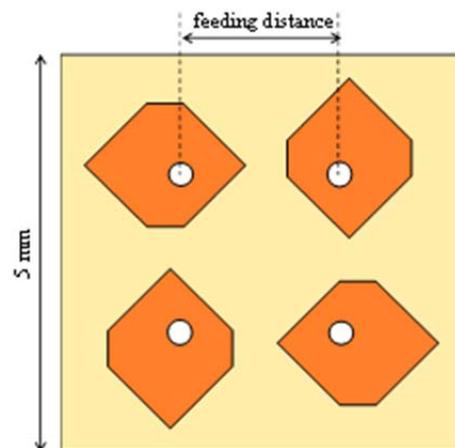
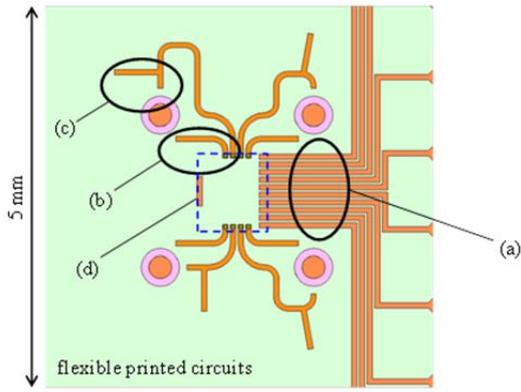


図 2 チョーク付評価治具



(a) アンテナ面



(b) 配線面
図3 2x2 素子アレー

(3) 図4に示すような光ファイバーを用いた測定系を構築した。RF信号の増幅器(AMP)の動作周波数が50GHzまでなので、それを考慮し45GHzで設計したパッチアンテナを測定した。光検出器(PD)の変換効率が良くなかったため、送受アンテナの距離が6~16cmと十分取れなかった。そこで受信ホーンアンテナを平面走査することで指向性を測定した。

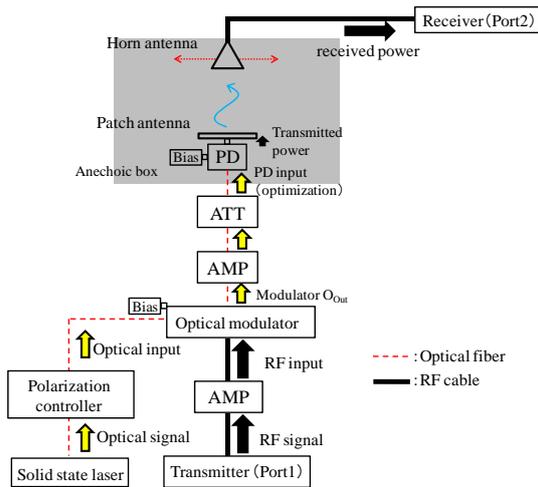


図4 光ファイバーを用いた測定系

(4) 小型アンテナの放射効率を実測するために、図5に示すような、電波攪拌金属箱を用いたミリ波帯向けの測定システムを構築した。

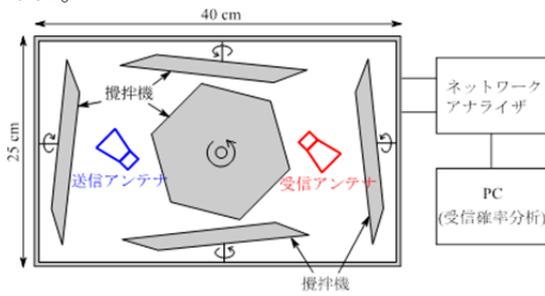


図5 電波攪拌金属箱

4. 研究成果

(1)(2)① 厚い誘電体層によって導体損失が低減され、78%と高い放射効率の計算値が得られた。図6に、60GHzにおけるアンテナ各部の損失の計算値を示す。誘電体の誘電正接は0.0151で、銅膜の導電率は $2.0 \times 10^7 S/m$ とした。同軸構造での損失は高々0.2dB以下となり提案構造において接続損失が低いことが確認できた。

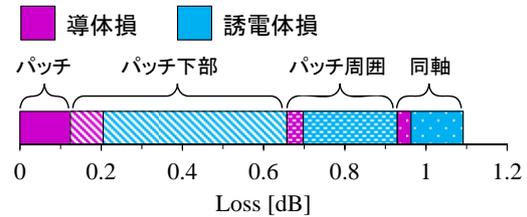
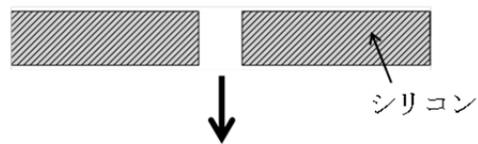
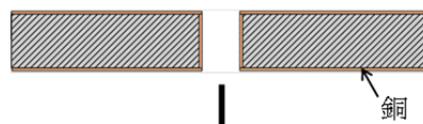


図6 アンテナ各部の損失の計算値

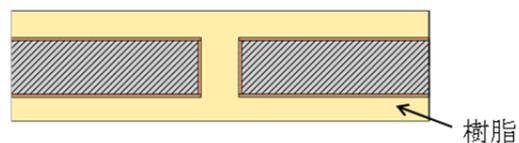
1. レーザー穴開け



2. シールド層成膜



3. 樹脂コーティング



4. 両面グランド



5. 両面成膜



6. マイクロドリル穴開け



図7 試作工程

- ② 図7に試作工程を示す。
- (i) シリコンチップにレーザで穴を開ける。
 - (ii) シリコンチップ表面に銅膜(厚さ 2 μ m)をイオンコーティングで形成する。
 - (iii) 樹脂を塗布する。
 - (iv) バックグラインドによりアンテナ面の樹脂の厚さを 200 μ mにする。
 - (v) アンテナ面にパッチアンテナを形成し、下面には銅膜を形成する。
 - (vi) マイクロドリルで給電用ピンを挿入するための穴を開ける。

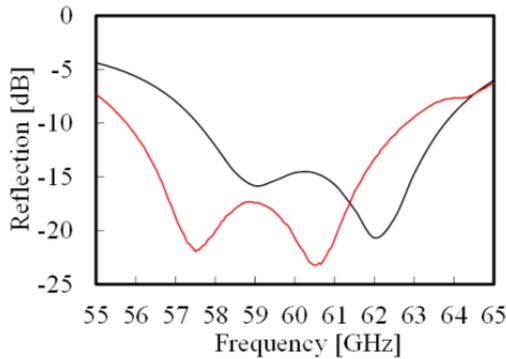


図8 反射

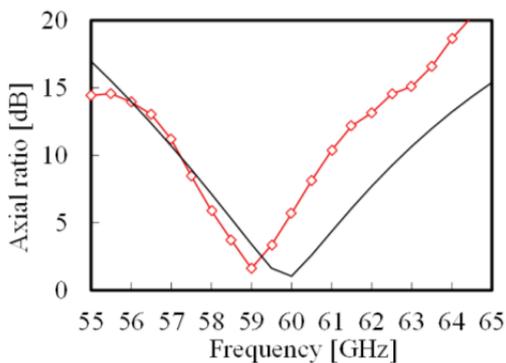


図9 軸比

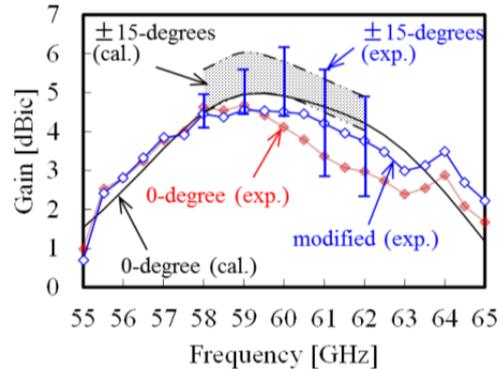


図10 利得

③ 図8,9に示すように、反射が-10dB以下となる比帯域幅 11.2%, 軸比が 3dB以下となる比帯域幅 2.2%の実測値を得た。治具の影響で放射パターンの正面方向に複数のリップルが観測されたが、図10に示すように、正

面から ± 15 度方向での利得幅の実測値は 4.4~6.2dBic となり設計値の利得幅 4.9~5.8dBic とおおよそ一致した。

④ テストチップを試作したが、発振回路チップ側のパッドの内部構造が破壊していたため、動作しなかった。原因の究明を行う必要がある。

(3) 受信アンテナの位置により伝搬距離と入射角が変化するため、測定結果に伝搬距離に関する補正と受信アンテナの指向性に関する補正を行った。図11に 46.5GHzでのE面指向性を示す。外部変調を用いた給電による結果は-68.5dBmにて規格化し、RFケーブルのみを用いた給電による結果は-42dBmにて規格化した。ノイズレベルは光外部変調を用いた給電結果に対応している。伝搬距離 0.06mでは、E面で -32° から 37° 、H面で -29° から 32° の測定範囲にてノイズレベル以上の受信レベルが得られた。また、ノイズレベル以上の範囲では設計値と光外部変調給電を用いた結果、RFケーブルのみを用いた結果、電波暗室にて測定した結果に近い値となっていることが確認できた。

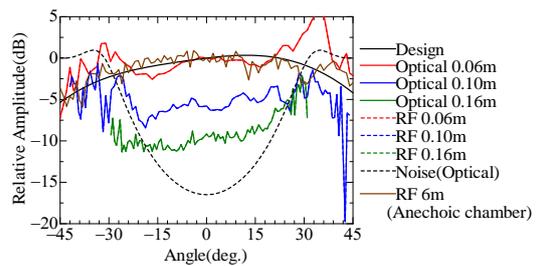


図11 E面指向性

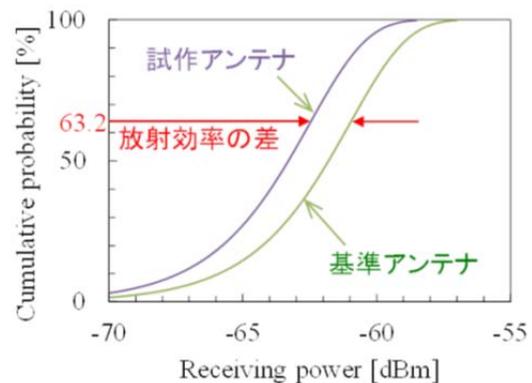


図12 受信電力の累積確率分布

(4) 各内壁に攪拌金属板を設置した金属箱内部において受信レベルがレイリーフェージングとなるようなアンテナの向きに調整することで、測定の不確かさを $\pm 3\%$ に改善した。図12の受信電力の累積確率分布を示すように、放射効率98%の基準アンテナと比較することで、この条件で評価治具を含めたア

ンテナの放射効率 75%という実測値を得た。

(5) 海外においても近年活発に検討が進められてきているテーマである。しかし、RF回路とアンテナを別体で製作し線路で接続する方法(接続損失大)か、RF回路と同一面内上にアンテナを構成する方法(放射効率低)であり、本研究のようにシリコン RF回路チップの背面にアンテナを構成しその間を接続することで、接続損失低減かつ高い放射効率の両方を目指している。シングルエンド給電ではあるが実証した研究は申請者が調べた範囲ではなく、実証した意義は大きいと考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 18 件)

- ① 浅野隼, シリコンチップ厚膜誘電体層上円偏波パッチアレーと 60GHz 帯 4 相発振回路との同軸接続, 電子情報通信学会総合大会, 2013 年 3 月 22 日, 岐阜大学, 岐阜市
- ② J. Asano, Design and Experiments of a Patch Antenna on a Thick Resin Layer through a Hole in a Silicon Chip in the 60GHz Band, Asia Pacific Microwave Conference, 2012 年 12 月 7 日, Ambassador Hotel, Kaohsiung, 台湾
- ③ J. Hirokawa, Antenna on a Thick Resin layer of a Silicon Chip and a Slab Antenna Fed by Post-wall Waveguide, Asia Pacific Conference on Antennas and Propagation, 2012 年 8 月 29 日, Furama Riverfront Hotel, シンガポール
- ④ 浅野隼, 60GHz 帯同軸構造背面給電シリコンチップ厚膜誘電体層上円偏波パッチアンテナ, 電子情報通信学会アンテナ伝搬研究会, 2012 年 7 月 27 日, 北海道大学, 札幌市
- ⑤ 浅野隼, シリコンチップにおける 60GHz 帯厚膜誘電体層上円偏波パッチアレーと 4 相発振回路との同軸接続に関する基礎検討, 電子情報通信学会総合大会, 2012 年 3 月 20 日, 岡山大学, 岡山市
- ⑥ 細野邦彦, 反射箱を用いた 60GHz 帯小型アンテナの放射効率測定, 電子情報通信学会東京支部学生会発表会, 2012 年 3 月 3 日, 東海大学高輪キャンパス, 東京都
- ⑦ K. Kinoshita, Feasibility of Radiation Pattern Measurement using a Photo Detector for Small Antennas in the 60GHz Band, International Symposium on Antennas and Propagation, 2011 年 10 月 28 日, Lotte Hotel, 濟州島, 韓国
- ⑧ 木下和樹, 光検出器を用いたミリ波帯小型アンテナ指向性近距離測定の基礎検討, 電子情報通信学会通信ソサエティ大会, 2011 年 9 月 15 日, 北海道大学, 札幌市
- ⑨ 浅野隼, 同軸構造背面給電シリコンチップ厚膜誘電体層上円偏波パッチアンテナの特性, 電子情報通信学会通信ソサエティ大会, 2011 年 9 月 14 日, 北海道大学, 札幌市
- ⑩ J. Hirokawa, Fabrication of Antennas on a Thick Resin Layer Fed through a Hole from the Bottom in a Silicon Chip at 60GHz, European Conference on Antennas and Propagation, 2011 年 4 月 14 日, EUR Congressi, ローマ, イタリア
- ⑪ 木下和樹, 光検出器を用いた 60GHz 帯小型アンテナ指向性測定の基礎検討, 電子情報通信学会 2011 年総合大会, 2011 年 3 月 17 日, 東京都市大学, 東京都
- ⑫ 鈴木知也, シリコンチップ厚膜誘電体層上ミリ波ダイポールアンテナの給電部の小型化, 電子情報通信学会 2011 年総合大会, 2011 年 3 月 14 日, 東京都市大学, 東京都
- ⑬ K. Koh, Design of a Circularly Polarized Patch Antenna on the Thick Resin of a Silicon Chip, 電子情報通信学会 2011 年総合大会, 2011 年 3 月 14 日, 東京都市大学, 東京都
- ⑭ J. Hirokawa, Antenna Technologies in Tokyo Tech Millimeter-wave Research Project, International Workshop on Millimeter Wave Wireless Technology and Applications, 2010 年 12 月 6 日, 東京工業大学, 東京都
- ⑮ T. Suzuki, Size Reduction of the Waveguide Feed Circuit for a Millimeter-Wave Dipole Antenna on a Thick Resin Layer on the Back Side of a Silicon Chip at 60GHz, International Workshop on Millimeter Wave Wireless Technology and Applications, 2010 年 12 月 6 日, 東京工業大学, 東京都
- ⑯ K. Koh, Design of Circularly Polarized Patch Antennas with Coaxial Feed through a Silicon Chip, International Workshop on Millimeter Wave Wireless Technology and Applications, 2010 年 12 月 6 日, 東京工業大学, 東京都
- ⑰ K. Koh, Design of Circularly Polarized Patch Antennas with Coaxial Feed through a Silicon Chip, 2010 International Symposium on Antennas and Propagation, 2010 年 11 月 25 日, ベネチアンホテル, マカオ
- ⑱ T. Suzuki, Size Reduction of the Waveguide Feed Circuit for a Millimeter-Wave Dipole Antenna on a Thick Resin Layer on the Back Side of a Silicon Chip at 60GHz, 2010 International Symposium on Antennas and Propagation, 2010 年 11 月 25 日, ベネチアンホテル, マカオ

才

6. 研究組織

(1) 研究代表者

廣川 二郎 (HIROKAWA JIRO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：00228826

(2) 連携研究者

安藤 真 (ANDO MAKOTO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：90159533

平野 拓一 (HIRANO TAKUICHI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：60345361

張 ビョウ (ZHANG MIAO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・産学官

連携研究員

研究者番号：90535866