

ボンディングワイヤを用いたミリ波近距離高速無線通信向け ICパッケージ内蔵アンテナ技術

Antenna in IC Package Using Bonding Wire for Millimeter-Wave Proximity High-Speed Wireless Communication

堤 由佳子 橋本 紘 笠見 英男

■ TSUTSUMI Yukako ■ HASHIMOTO Koh ■ KASAMI Hideo

スマートフォンやタブレットの普及に伴い、大容量のデジタルコンテンツを扱う機会が増加している。ユーザーが手軽にデジタルコンテンツを機器間で高速転送するインターフェースとして、ミリ波近距離高速無線通信技術が期待されている。量産時に低コスト化を見込めるCMOS（相補型金属酸化膜半導体）プロセスを用いた無線ICと、低コストに製造できるアンテナの実現が、ミリ波無線機を普及させるうえで鍵となる。

東芝は、ミリ波近距離高速無線通信向けに、ボンディングワイヤを用いたBGA (Ball Grid Array) パッケージ内蔵アンテナ技術を開発した。CMOSプロセスを用いたICをパッケージングする製造工程でアンテナを作製できるため、低コストのミリ波無線機を実現できる。

Opportunities to handle large volumes of digital contents have recently been increasing due to the wide dissemination of smartphones and tablets. As a user-friendly interface for exchanging such data between digital devices, a high-speed wireless communication system including a millimeter-wave (MMW) proximity high-speed wireless communication system has become essential. Both a complementary metal-oxide semiconductor (CMOS) technology to realize low-cost MMW transceiver integrated circuits (ICs) in the high-volume manufacturing phase and a technology to produce low-cost antennas are key technologies that hold the key to the expansion of MMW wireless communication systems.

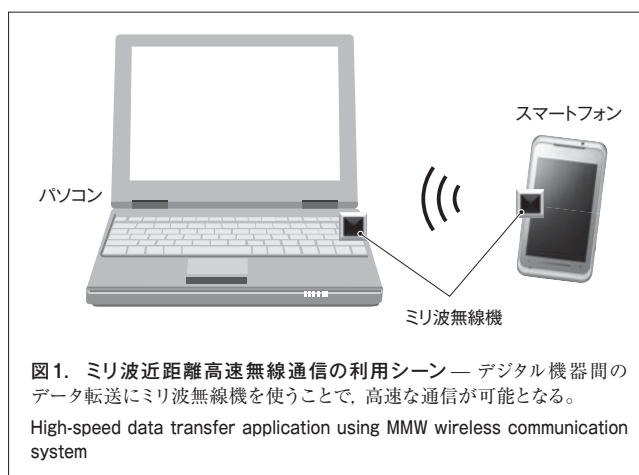
Toshiba has developed a technology to incorporate an antenna in an IC package using bonding wire for MMW proximity high-speed wireless communication systems. This technology provides a low-cost MMW transceiver solution because the antenna can be manufactured in the process of fabricating standard ball grid array (BGA) packages.

1 まえがき

高性能かつ高機能のデジタル機器普及に伴い、高精細な写真や動画を含むデジタルコンテンツを扱う機会が増えている。大容量のデジタルコンテンツを機器間で高速転送するインターフェースとして、60 GHz帯 (57-66 GHz) を使った無線通信技術が期待されている⁽¹⁾。60 GHz帯は、現在の無線LANの100倍程度の周波数帯域が使用可能であり、1 Gビット/sを超える伝送速度を実現するのに適している。

従来のミリ波無線機には高周波特性に優れた化合物半導体を用いられてきたが、コストが高く普及に至らなかった。近年、半導体プロセスの微細化により、量産時に低コスト化が見込めるCMOSプロセスを60 GHz帯に適用できる可能性が出てきた⁽²⁾。ミリ波無線機のアンテナとして、無線機を小型化できるICパッケージ内蔵アンテナが注目を集めている。パッケージ材料には高周波域で誘電損失の小さいセラミックなどが使用されることが多いが、一般的な樹脂に比べるとコストが高い。CMOS無線通信ICに加え、低コストのICパッケージ内蔵アンテナを実現できれば、ミリ波無線機の普及につながる。

デジタル機器どうしを近距離に置いて無線通信を行う場合



(図1)、ユーザーが手軽に使えるようにするには、機器間の位置合わせが容易なことが望ましい。したがって、無線機のアンテナには広い放射指向特性を持つことが要求される。

ここでは、東芝が開発したICパッケージ内蔵アンテナ技術について述べる。CMOSプロセスを用いたICをパッケージングする工程でアンテナを作製できるため、ミリ波無線機を低コスト化できる。今回の開発では、高速赤外線通信の約5倍の角度範囲60°において、1 Gビット/s超の伝送速度を達成でき

るアンテナ利得-2 dBi以上を目標性能とした。

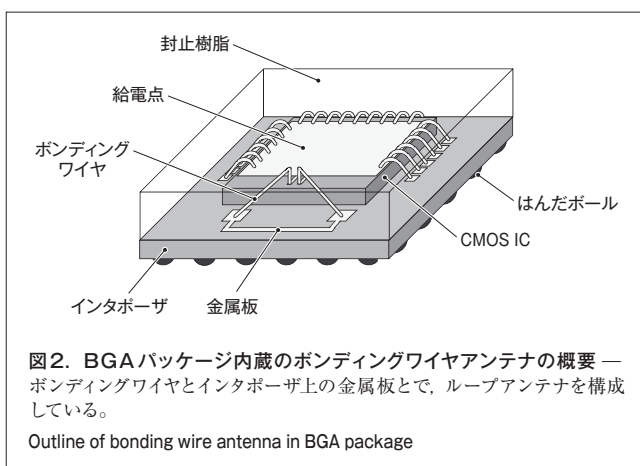
2 ICパッケージ内蔵アンテナ

60 GHz帯は波長が5 mm程度と短いため、アンテナサイズを小さくでき、ICパッケージに内蔵することが可能になる。ICパッケージの外部にアンテナを配置する必要がないことから、実装面積を削減できる。また、ICパッケージから実装基板へのミリ波信号の取出しが不要なため、実装基板にミリ波帯の配線やアンテナ設計も要らない。

一般に、周波数が高いほど基板などの誘電損失が大きくなるため、アンテナ内蔵のミリ波帯ICパッケージにはセラミックなど高周波域で誘電損失が小さい材料が用いられることが多いが、セラミックは一般的な樹脂材料よりもコストが高い。

開発したアンテナは、樹脂材料を用いた汎用BGAパッケージに内蔵されている⁽³⁾。図2に示すように、CMOSプロセスで作製されたICを実装するインタポーザ（パッケージ内基板）上の金属パターンと、ICとインタポーザをつなぐボンディングワイヤとで、ループアンテナを構成している。インタポーザ裏面にははんだボールが配置され、アンテナ上部は樹脂で封止されている。このアンテナは、汎用BGAパッケージの製造工程で作製できるため、低コスト化が可能である。しかし、CMOSプロセスのICはシリコン基板で構成されているため、抵抗率が低く、誘電損失が大きい。そこで、ボンディングワイヤをアンテナの放射素子として使用し、高損失のICから離すことで、放射効率の低下を緩和している。

通常のループアンテナは全長が1波長で、給電点に大きな電流が流れるため、アンテナの入力インピーダンスは小さくなる。開発したアンテナは、入力インピーダンスを送受信回路の入出力インピーダンス100 Ωに整合させるため、ループの全長を約3/2波長にしている。これによって給電点に流れる電流が小さくなり、アンテナの入力インピーダンスが大きくなるため、整合をとりやすくなる。



3 プリント基板に実装したICパッケージ内蔵アンテナ

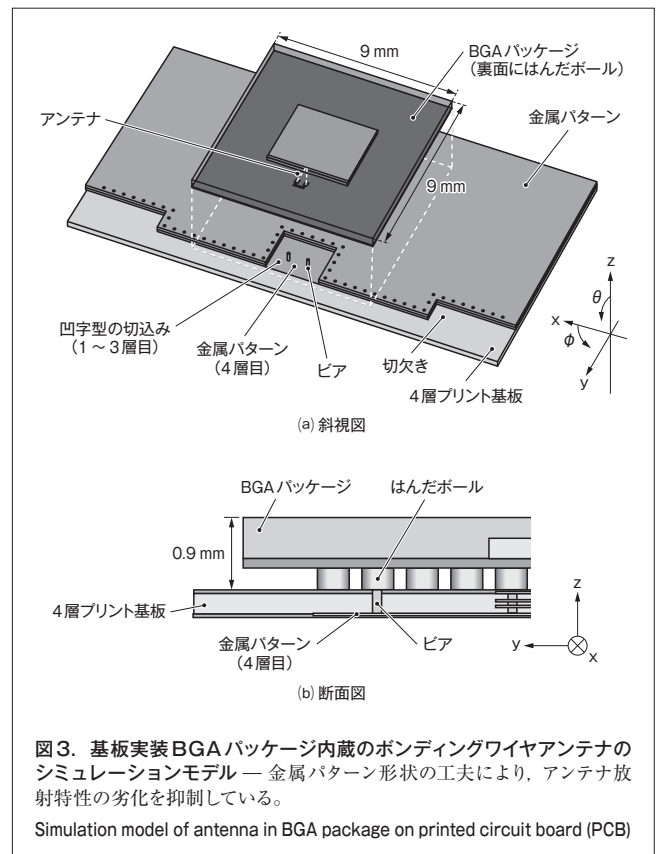
開発したBGAパッケージ内蔵アンテナは、プリント基板に実装して使用するが、プリント基板の金属や誘電体の影響を受けてアンテナ特性が変化する。そこで、アンテナ周辺部ではプリント基板の構成を検討する必要がある。

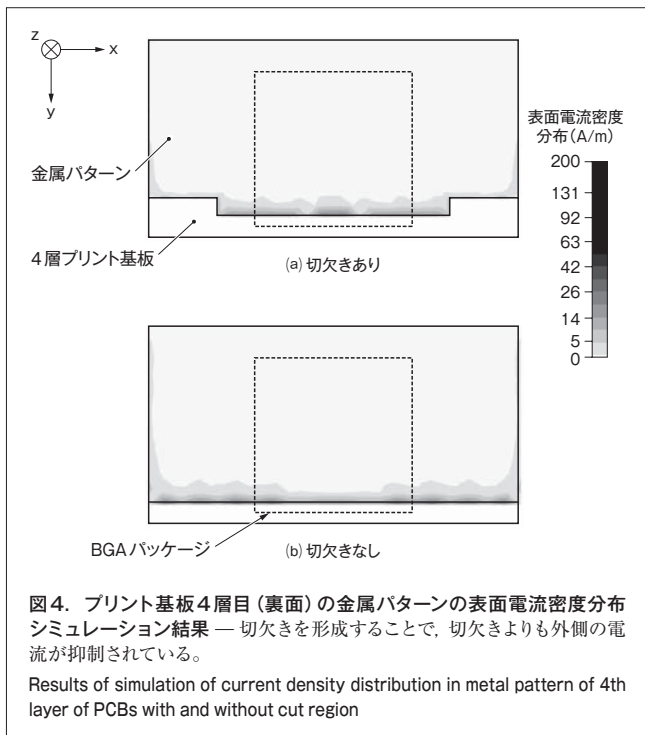
プリント基板の構成を検討した基板実装BGAパッケージ内蔵アンテナのシミュレーションモデルを図3に示す。プリント基板の金属パターン形状に以下に示す工夫を行うことで、アンテナ放射特性の劣化を抑制している。

- (1) 金属パターンの端部に切欠きを形成
- (2) アンテナ直下の金属パターン1～3層目に凹字型の切込みを形成
- (3) アンテナ直下に、はんだボールと金属パターン4層目を接続するビア（層間を接続するめっき穴）を配置

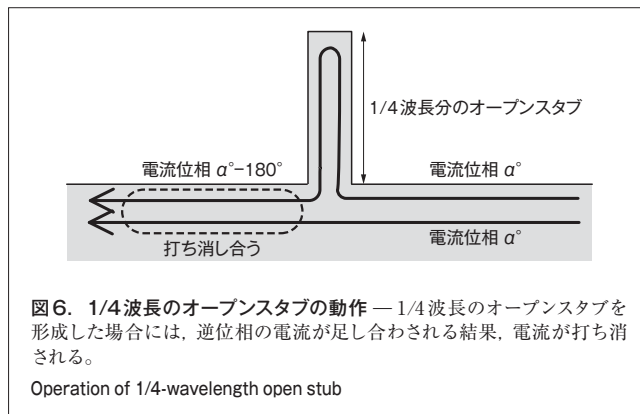
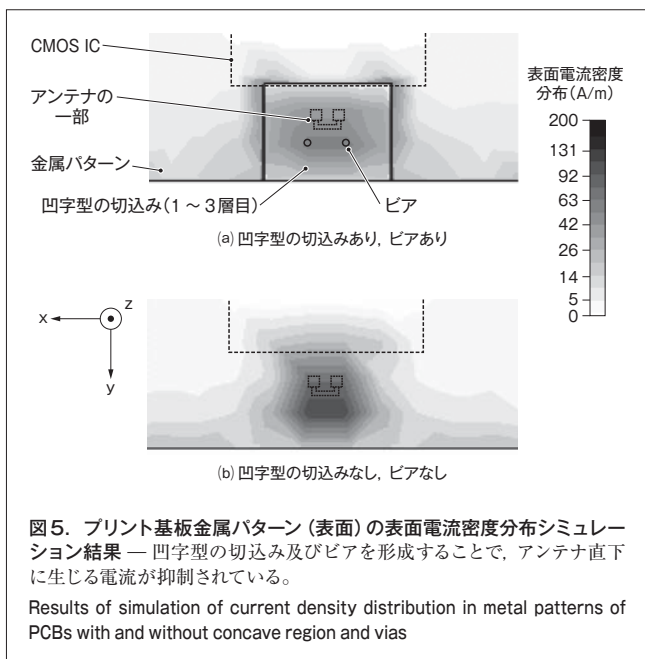
金属パターンの端部に発生する電流から不要放射が生じるため、アンテナの放射パターンが乱れる。しかし、(1)により、電流が流れる経路に不連続点が生じ、放射パターン劣化への寄与が大きい切欠きの外側の電流が抑制される（図4）。このように、電流分布を変化させることで、放射特性の劣化を抑えている。

またアンテナ直下に金属板が配置されると、アンテナに流





れる電流と逆位相の電流が流れ、アンテナの放射効率が低下する。そこで、(2)により、アンテナ直下の金属板を除去している。アンテナとインタポーザ上の金属板との距離を離すことによって、逆位相の電流を抑制し(図5)、放射効率の低下を改善できる。更に、(3)により、金属パターン4層目に流れる逆位相の電流を抑制し(図5)、放射効率の低下をよりいっそう改善できる。ビアとはんだボールが金属パターン4層目に接続された1/4波長のオープンスタブ(伝送路に並列に接続される

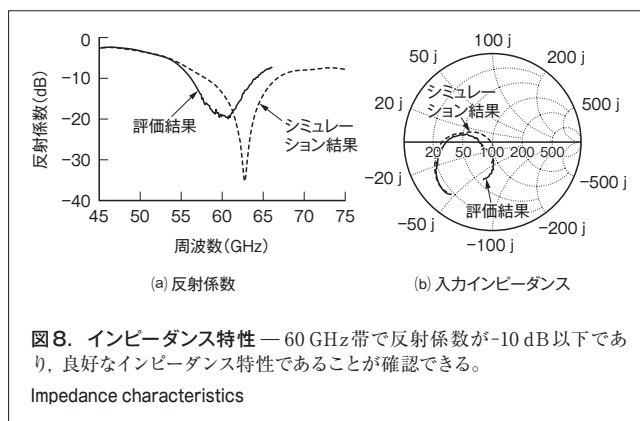
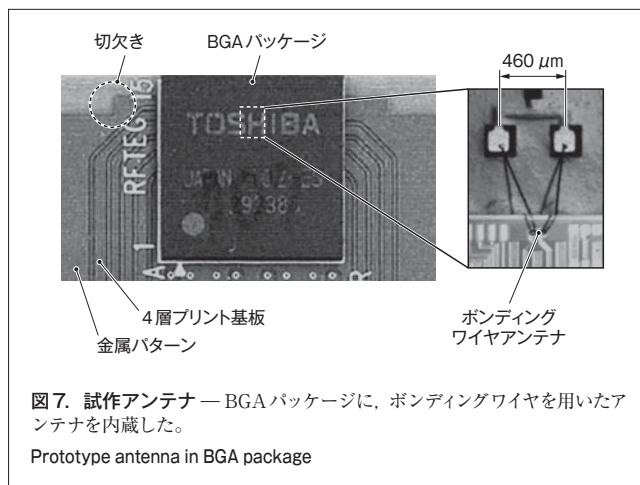


先端が開放された線路)として動作することで(図6)、金属パターン4層目に流れる電流が抑制される。

4 試作アンテナの評価

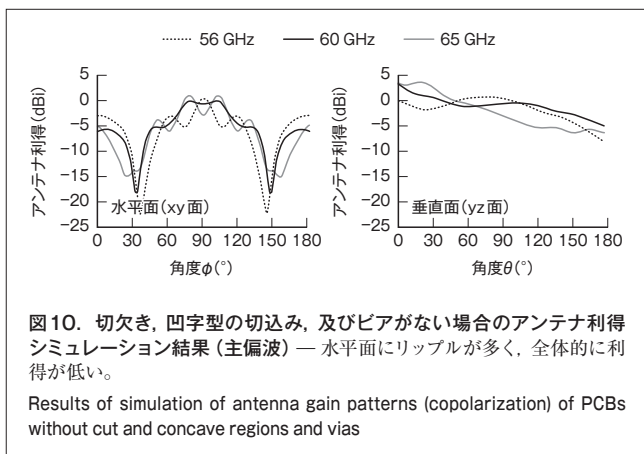
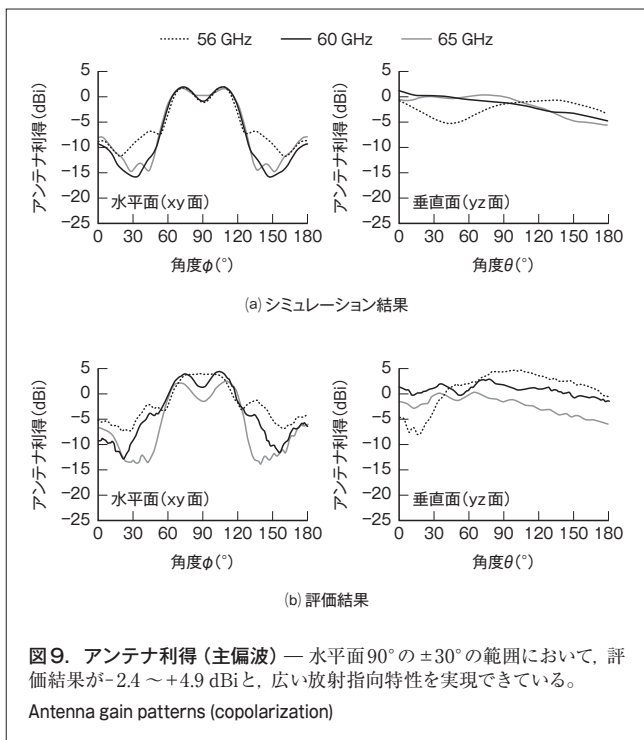
ボンディングワイヤを用いたアンテナをパッケージに内蔵した、試作アンテナを図7に示す。

試作アンテナのインピーダンス特性のシミュレーション結果と評価結果を図8に示す。図8(a)において、反射係数が極小



となる周波数は評価結果のほうがわずかに低周波側にシフトしているが、図8(b)では、入力インピーダンスの軌跡はほぼ一致した結果が得られている。評価結果では、56～64 GHzの反射係数が-10 dB以下と、良好なインピーダンス特性を確認できた。

次に、試作アンテナのアンテナ利得のシミュレーション結果及び評価結果を図9に示す。シミュレーション結果と評価結果はよく一致している。また、プリント基板の金属パターン形状に工夫がない場合のアンテナ利得のシミュレーション結果(図10)と比較すると、図9では水平面90°の±30°の範囲においてリップルが少なく、かつアンテナ利得が全体的に高い。これは水平面で広角な指向性が得られるように、切欠きの位置を調整したこと及び、凹字型の切込みとビアを形成した



ことによって、放射効率の低下を改善したためと考えられる。試作アンテナを評価した結果、周波数56～65 GHz、水平面90°の±30°の範囲においてアンテナ利得-2.4～+4.9 dBiと、広い放射指向特性を実現した。

5 あとがき

ミリ波近距離高速無線通信向けに、低コストで製造できるICパッケージ内蔵アンテナ技術を開発した。汎用BGAパッケージの製造工程で作製でき、高価な高周波用低損失材料を用いることなく、一般的なプリント基板を使用できる。また、広い放射指向特性を持っているため、位置合わせが容易でユーザーの利便性が高い高速インタフェースの実現が期待できる。

この研究の一部は、2010年度から2012年度にわたり実施された総務省の委託研究「電波資源拡大のための研究開発」の一環として実施された。

文献

- (1) 瀬戸一郎 他. ファイルのモビリティを高めるミリ波無線通信技術. 東芝レビュー. 66, 4, 2011, p.7-10.
- (2) 細谷昌宏 他. ミリ波近距離高速無線通信用 アナログ回路技術. 東芝レビュー. 66, 11, 2011, p.44-47.
- (3) Tsutsumi, Y. et al. Bonding Wire Loop Antenna in Standard Ball Grid Array Package for 60-GHz Short-Range Wireless Communication. IEEE Trans. Antennas and Propagation. 61, 4, 2013, p.1557-1563.



堤 由佳子 TSUTSUMI Yukako

研究開発センター ワイヤレスシステムラボラトリー。
アンテナの研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。
Wireless System Lab.



橋本 紘 HASHIMOTO Koh, D.Eng.

研究開発センター ワイヤレスシステムラボラトリー, 博士(工学)。
アンテナの研究・開発に従事。電子情報通信学会, IEEE会員。
Wireless System Lab.



笠見 英男 KASAMI Hideo

研究開発センター ワイヤレスシステムラボラトリー主任研究員。
無線通信システムの信号処理及びLSIの研究・開発に従事。
電子情報通信学会会員。
Wireless System Lab.