

# RF-ID用オンチップアンテナ

電子デバイス研究所 阿部博史<sup>1</sup>・佐藤正和<sup>1</sup>・糸井和久<sup>1</sup>・伊藤達也<sup>2</sup>

## Microwave Operation of On-Chip Antenna Embedded in WL-CSP

H. Abe, M. Sato, K. Itoi & T. Ito

次世代パッケージ技術として量産を開始したウェハレベルパッケージ技術を用いて、無線認証システム (Radio Frequency Identification systems, 以下RF-IDと記す) 用ICチップ上に作製可能なオンチップアンテナを形成し、2.4GHz付近における特性評価を行った。作製したアンテナのVSWRは電磁界シミュレーションの結果と良い一致を示し、出力300mWの送信波を受けた際に400mm以上の通信距離を確保可能な性能を示した。この結果、WLP技術によりRF-IDタグの小型化が可能であることを確認した。

On-chip antenna for microwave operation is demonstrated. Application of established wafer-level package (WLP) techniques onto IC chip for RF-ID allows on-chip integration. Measured result of VSWR indicates good agreement with simulated result and antenna performance achieved the maximum communication range, the distance between on-chip antenna and transmission module, over 400 mm at a transmission signal power of 300 mW. This technology achieves 1-chip RF-ID solution as on-chip antenna embedded in RF-ID chip.

### 1. ま え が き

無線通信技術の普及は近年ますます進展しており、われわれの生活の中にも既に数多くの無線通信技術を利用した機器がみられる。この中でもRF-IDはバーコード等の既存システムに代わるだけでなく、さらなる価値を創造する技術として研究開発が精力的に行われている。今後積極的にRF-IDを採用する分野の例として、アクセスコントロール、電子マネー、偽造防止技術や物流等の分野が考えられている。これらの分野においてRF-IDが普及するためには、RFタグの低価格化と過酷な使用に耐えられる信頼性、そして小型化が不可欠と考えられている。

RFタグの低価格化と信頼性を妨げる原因としてRFタグの構造が考えられる。既存のタグはIDデータを記録しておくICチップと、ICチップを駆動させる電力を得ると同時にIDデータの送受信も行うアンテナより構成されており、これらを接続することでタグとして機能させる。小型ICチップを用いる場合、この接続工程が困難となるので低価格化を妨げる要因となり、さらに接続部の信頼性はRFタグの耐久性に最も影響する箇所である。

また、RFタグの小型化を妨げる原因としてアンテナのサイズが挙げられる。RFタグのサイズはアンテナのサイズとほぼ同じであるが、代表的に使用されているダイポールアンテナは大きさの制限 (60mm@2.4GHz) があり、こ

のままでの小型化は困難である。

この問題を解決するために、ICチップ上に半導体プロセスを応用して磁界ピックアップ型アンテナを形成した事例が報告されているが<sup>1)</sup>、これらの通信距離はmmレベル<sup>1,2)</sup>であるため、RFタグとReader/Writerを密着状態にしなければデータの送受信が行われず、結果として使用用途の制限・処理能力の限界・使用者へのストレス等の問題を抱えている。

これに対し、当社は既にファウンダリサービスとして量産を行っているウェハレベルパッケージ (WLP) 技術の中で、厚膜樹脂層・銅配線形成技術といった特長的な要素技術を応用し、また高周波インダクタの設計および評価に用いるシミュレーション技術を適用することで、これらの課題を克服した共振型の高性能オンチップアンテナを開発した。図1に今回開発したオンチップアンテナの模式図、

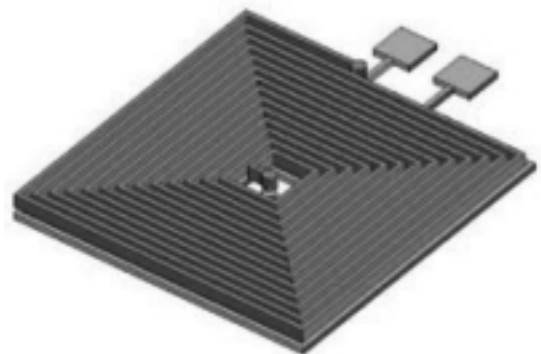


図1 オンチップアンテナの模式図

Fig. 1. Schematic illustration of On-chip antenna.

1 マイクロデバイス開発部

2 マイクロデバイス開発部長

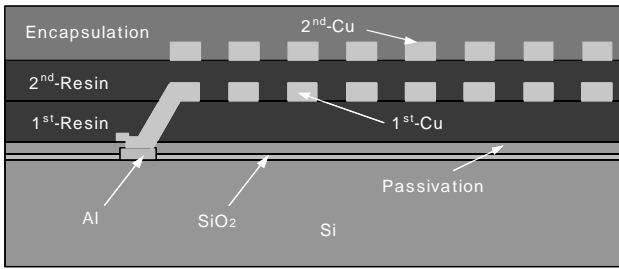


図2 オンチップアンテナの断面図

Fig. 2. Cross sectional illustration of on-chip antenna.

図2にICと接続された状態の断面図を示す。本アンテナはWLPの構造・プロセスを利用して、IC上の絶縁樹脂層と封止樹脂層の間に形成される。既存のRFタグや、これまでに発表されているICチップ上にアンテナを形成したRFタグと比較して、本アンテナを適用したRFタグは以下の利点がある。

1. 厚膜の絶縁樹脂によってアンテナ素子がシリコン基板と分離されるため、シリコン基板中に誘起される渦電流損失を低減することが可能となる。
2. ICチップとアンテナ素子間の再配線およびアンテナ素子を厚膜銅配線で形成することにより、配線および素子の電気抵抗値を下げる事が可能となる。
3. アンテナ素子形成時にアンテナとICの接続が確立されると共に工程が終了するため、アンテナとICチップは高い信頼性を確保することが可能となる<sup>3)</sup>。
4. すでに確立されたWLP技術を応用して作成されるため、高い量産性および加工コストの低減が可能となる。
5. ICチップサイズがそのままRFタグの大きさとなり、究極の小型化が可能となる。

当社のWLP工程は利点1, 2に示した厚膜、多層の絶縁樹脂層や銅配線層を形成することが容易であることを特長としているので、これまでに発表されているICチップ上にアンテナを形成したRFタグと比較して損失が低く、通信距離の長いアンテナを形成することが可能である。また、利点3, 4よりウェハ状態での一括した樹脂層成膜や銅配線形成技術を用いたアンテナの形成および封止が可能となり、その状態で既にICチップとアンテナ端子の接続が確立されている。その後ウェハをダイシングしICチップを個片化した状態で完成となるので、その後の工程が必要ない。WLPは究極のリアルサイズパッケージと呼ばれ、チップサイズがパッケージサイズとほぼ同等となるので、これを利用したオンチップアンテナのサイズもICチップサイズと同等となり、利点5にあげた究極の小型化が可能となる。

## 2. 構造と作製プロセス

本論文ではベアSiウェハ上にオンチップアンテナを形成し、その特性評価を行った。アンテナパターン設計は電磁界シミュレータ：Sonnetを用いて行った。アンテナの

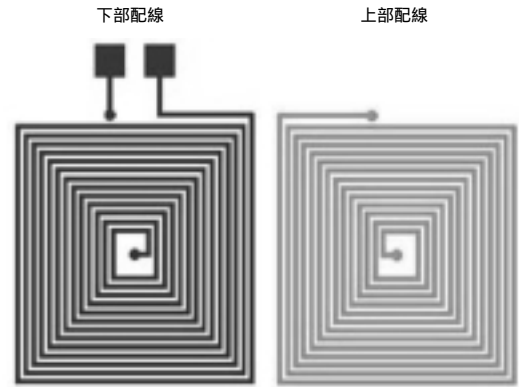


図3 下部および上部配線図

Fig. 3. Design of 1st and 2nd conductive layers.

表1 作製したアンテナの設計値

Table 1. Geometrical patterns and typical dimensions of the fabricated antenna.

Si基板の比抵抗	4 · cm	
ライン/スペース	20 / 20 μm	
Cu膜厚	5 μm (1 <sup>st</sup> )	10 μm (2 <sup>nd</sup> )
樹脂膜厚	10 μm (1 <sup>st</sup> )	10 μm (2 <sup>nd</sup> )
アンテナサイズ	1.2 × 1.2mm <sup>2</sup>	
総巻数	13.5 × 2	

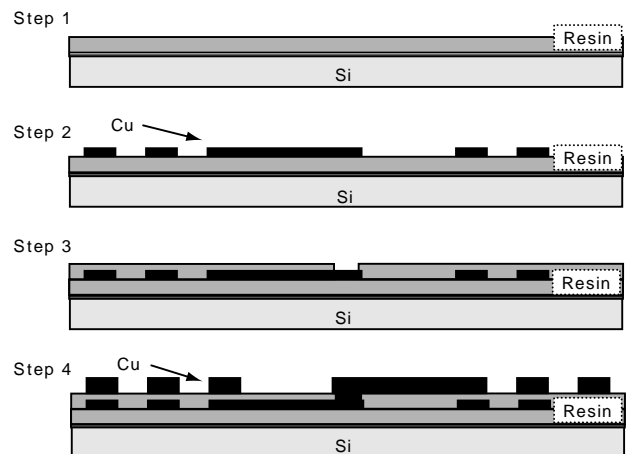


図4 オンチップアンテナのプロセスフロー

Fig. 4. Schematic cross-sectional process diagram of the antenna.

サイズはアンテナ設計の自由度と実用的な通信距離を考慮して1.2 × 1.2mm<sup>2</sup>とし、限られたチップサイズを有効に利用するために2層配線構造を採用した。オンチップアンテナの設計段階でその効率を評価するパラメータの一つとして電圧定在波比 (Voltage Standing-Wave Ratio, 以下VSWRと記す) を用いた。VSWRはその値が小さいほど効率よく信号伝達ができていることを示し、その最小値は1である。設計指針としてアンテナのVSWRを使用周波数周辺において2以下と設定し設計を行った。次にそのパターンをWLP技術を利用して作製し、その特性値や受信電力の測定を行った。図3に下部配線層および上部配線層のパターンを示す。また、表1にオンチップアンテナの設計値を、図4にプロセスフローを示す。以下にプロセスの

詳細を示す。

- Step 1 酸化膜を形成した比抵抗  $4 \cdot \text{cm}$  の Si ウェハ上に  $10 \mu\text{m}$  厚の樹脂層を形成する。
- Step 2 次に Step 1 で形成した樹脂上に厚さ  $5 \mu\text{m}$  の下部銅配線層を形成する。
- Step 3 次に第 2 樹脂層を形成し、下部銅配線の上にコンタクトホールを形成する。
- Step 4 その後 Step 2 と同様にして厚さ  $10 \mu\text{m}$  の上部配線層を形成する。下部配線層と上部配線層はコンタクトホールを通して電氣的に接続され、アンテナパターンを形成する。

### 3. 結果と考察

前記プロセスにより作製したオンチップアンテナの写真を図 5 に示す。このオンチップアンテナの特性を評価するために評価基板に実装し、アンテナ端子を同軸コネクタへと接続した。この同軸コネクタをネットワークアナライザ

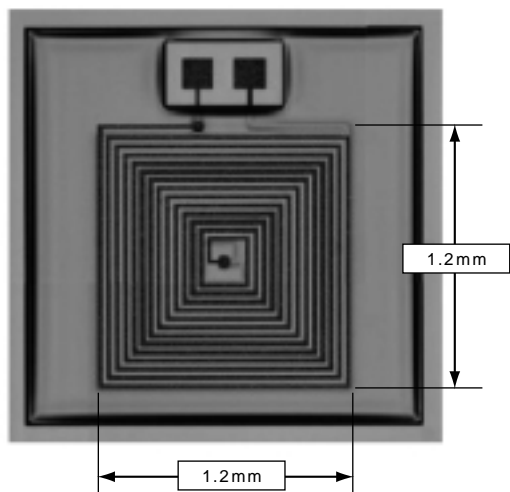


図 5 作製したオンチップアンテナの外観写真  
Fig. 5. Appearance of the antenna.

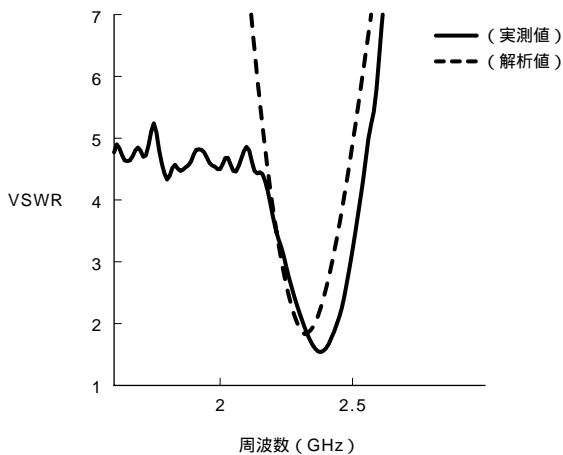


図 6 VSWR の実測値と解析値  
Fig. 6. Measured and simulated VSWR of the antenna.

および整流回路を通してオシロスコープに接続することにより、オンチップアンテナの VSWR および受信電力測定を行った。

図 6 に VSWR のシミュレーション結果と実測結果を、表 2 にそれぞれの最小値と 2.45GHz における値を示す。VSWR 値およびその周波数依存性は実測値とシミュレーション値でよく一致しており、電磁界シミュレータによるアンテナの設計は WLP 技術を用いたアンテナについても有効であると言える。VSWR の最小値は 1.56 と良好であり、その際の周波数は 2.39GHz であった。

次に実際の RF-ID システムを模した評価系を用いて、オンチップアンテナの受信電力測定を行った。評価系の模式図を図 7 に示す。送信アンテナにはアンテナ利得 11dBi の 4 パッチアンテナを用い、信号発生器より送信される出力を 300mW に増幅した状態で送信アンテナに供給した。受信電力の距離依存性に関する測定は、オンチップアンテナを送信アンテナと平行に配置して、送信アンテナとオンチップアンテナの距離を変化させた際の受信電力を測定することで行った。受信電力の測定は、オンチップアンテナが受信した電波を整流回路で整流した後、抵抗両端の電圧をオシロスコープで測定することで行った。受信電力の測定で用いる送信波の周波数は、オンチップアンテナの VSWR が最小値を示した 2.39GHz に固定して行った。図 8 にオンチップアンテナの受信電力と通信距離の関係を示す。受信電力は 70mm の通信距離において最大値  $183 \mu\text{W}$  を示し、また 400mm の通信距離においても  $8.8 \mu\text{W}$  の受信電力を示した。RF タグ用 IC チップを動作させるために必要な電力は機能や構造により異なるが、Ferro electric Random Access Memory (Fe RAM) を用いた IC では  $5 \mu\text{W}$  の消

表 2 VSWR の最小値と 2.45GHz での値  
Table 2. Comparison of minimum VSWR and VSWR at 2.45GHz.

項 目	実測値	解析値	
最小値	VSWR	1.56	1.82
	周波数	2.39GHz	2.32GHz
VSWR@2.45GHz		2.11	2.55

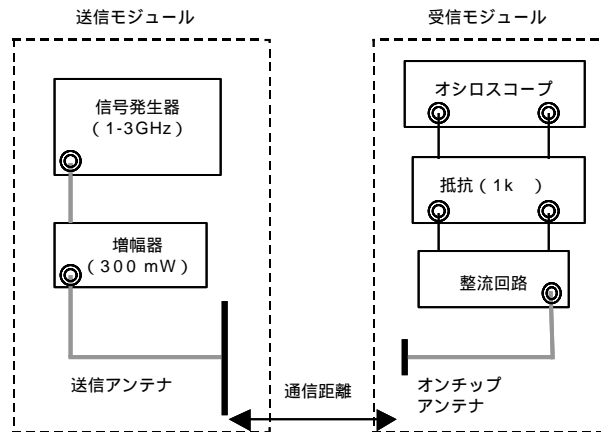


図 7 受電能力評価系  
Fig. 7. Experimental set up for measurement of receiving performance.

費電力が報告されている<sup>4)</sup>。このICチップ上に本アンテナを形成すると仮定した場合、ICチップサイズでありながら通信距離400mm以上を確保するRFタグが実現可能となる。この通信距離はICチップに外付けのダイポールアンテナを接続した一般的なRFタグと同レベルであり、超小型のオンチップアンテナを搭載しながらも通信距離はRFタグとして実用レベルであることが明らかとなった。このことはWLP構造の特長である厚膜絶縁樹脂形成技術や厚付け銅配線形成技術がオンチップアンテナのアンテナ効率向上に効果的であることを示している。

#### 4. む す び

WLPの要素技術と高精度の解析結果を応用し、RFタグ用オンチップアンテナを開発した。作製したオンチップアンテナの測定値は解析値と良い一致を示した。またRFタグ用アンテナとして良好な受信電力を示し、オンチップアンテナでありながら一般的なRFタグと同レベルの通信距離を示した。また、このオンチップアンテナに用いた要素技術は2.45GHz帯だけでなく、UHF帯等のRFタグ用としても同様に有効である。

今後は実IC上での動作検証を目標にしたシミュレーション技術によるアンテナパターンの最適化や、さらなる高効率化を目指した新規構造、材料の導入を検討していく予定である。

最後に、本アンテナの研究開発にあたり懇切なる御協力を頂きました三洋電機株式会社殿ならびに株式会社タキオン殿へ深く御礼申し上げますとともに、日頃より研究の内容方針につきまして多大な御助言および御協力を頂きました社内関係各位にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

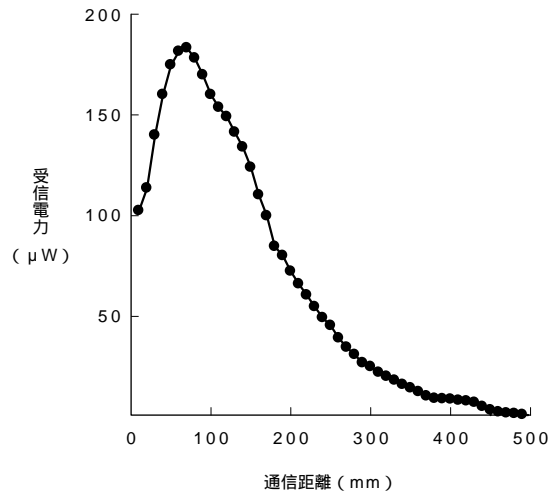


図8 受信電力の通信距離依存性  
Fig. 8. Receiving power dependence of communication range.

#### 参 考 文 献

- 1) H. Nebiya, et al.: Ubiquitous Radio Engineering, 1<sup>st</sup> ed., pp.162-166, 2003
- 2) K. Sasai: Smart Label Asia 2004, pp.325-337, 2004
- 3) N. Sadakata, et al.: SEMI Technology Symposium 2000, pp.123-127, 2000
- 4) V. Sundaram et al.: System-on-Package (SOP) Substrate and Module with Digital, RF, and Optical Integration, IEEE Electronic Components and Technology Conference Proceedings 2004, Vol.1, pp.17-23, 2004