

5G 発展のためのアンテナ・イン・パッケージ (AiP) 技術

著者：Amkor Technology, Inc. アドバンスド SiP 製品開発担当、VP、Curtis Zwenger 並びに製品マーケティングおよびビジネス開発担当、Sr. Director、Vik Chaudhry

「Chip Scale Review」2020年3月～4月号より転載

アンテナ・イン・パッケージ (AiP) またはアンテナ・オン・パッケージ (AoP) は、ミリ波アプリケーションに関連する課題を簡素化し、システム設計を迅速に行うことができます。現在の AiP 技術は、標準またはカスタムのシステム・イン・パッケージ (SiP) モジュールにより実装することができます。本記事では、さまざまな AiP のオプション、シールドリング、材料の選択、新興の 5G アプリケーションでの最適な使用例について詳しく説明します。

今日の 5G アプリケーションおよび予想される発展

第 5 世代の新無線 5G (NR) または単に 5G 技術を実装する原動力となっているのは、大容量データの伝送速度に加えて、より信頼性の高い接続、迅速な応答時間 (低レイテンシー)、優れたカバレッジへのニーズです。ミリ波アプリケーションでは、信号損失が重要になり、設計の課題は複雑さを増します。新登場の 5G スマートフォンに加えて、超高周波で動作し、小型化が求められるその他のアプリケーションには、ウェアラブル、スマートフォンセル、防犯カメラ、自律走行車のレーダーユニット、多数のモノのインターネット (IoT) 家電などがあります。

Gartner の市場調査によると、2023 年までに年間 10 億個以上のミリ波ユニットが生産されるとのことです。AiP 技術では、アンテナは無線機器の中で独立したコンポーネントではなく、無線周波数 (RF) スイッチ、フィルター、アンプなどを備えた SiP に統合されています。コンサルティング会社、Yole Développement によると、RF フロントエンド (RFFE) モジュール SiP の市場規模は、2023 年までに 53 億米ドルに達し、年平均成長率 (CAGR) は 11.3%になると予測されています。

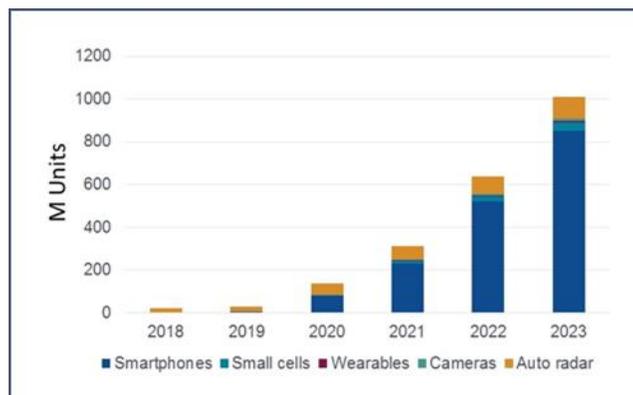


図1：2023年には10億台に成長すると予想されるミリ波デバイスの市場
 (出典：Gartnerの調査、スモールセル市場状況レポート、2018年12月)

Grand View Researchの別の市場予測「ミリメートル波（MMW）技術の市場、業界レポート2018-2025」では、5Gのミリ波市場が2025年までに10倍に増加すると予測しています。それを支える基地局やスモールセルのインフラには、膨大な量の半導体パッケージングとシステムインテグレーションのサポートが必要になります。外部委託半導体実装・テストサービス（OSAT）サプライヤーは、一般的に、その幅広い顧客とサプライベースを活用して、このようなアプリケーションのためのパッケージ開発と生産の拡大に投資するのに最適な企業です。

5G AiP 技術

パワーアンプ（PA）、低ノイズアンプ（LNA）、スイッチ、トランシーバー、フィルター、ディスクリート・アンテナを別々に用意する代わりに、今日の完全に統合されたRFFEモジュールは、SiPでのAiP技術が完全に実現されています。この統合は、両面組立、高度ウェハーレベルの再配線層（RDL）、パッシブコンポーネントの統合、さらに高機能のRFシールディングテクニックなどのSiP技術を用いて実現されており、現在利用可能な最も高度な5Gパッケージソリューションを提供しています。

AiPは、ハンドヘルドや他の小型ミリ波デバイスに必要なサイズの縮小に加え、信号の減衰を抑えてシグナルインテグリティを向上させ、高い周波数で発生するレンジや伝搬の課題に対応します。4GLTEの700MHz～3.5GHzから5Gの6～60GHzへの移行に伴う変化としては、RFスイッチとバンドの複雑化（40バンド×3CAから50バンド×5CA）、アンテナ設計とチューニングの複雑化（8×8MIMOから68×4MIMO）が挙げられます。5

Gで約束された改善を実現するためには（図2参照）、技術的な課題の多くにパッケージレベルで対処する必要があります。

	3G	4G	5G
 Deployment	2004-05	2006-10	2020
 Bandwidth	2mbps	200mbps	>1gbps
 Latency	100-500 milliseconds	20-30 milliseconds	<10 milliseconds
 Average Speed	144 kbps	25 mbps	200-400 mbps

図2：3G～5Gの比較表。出典：Raconteur

AiP技術の実装

特定のアプリケーションのために設計された統合アンテナや特定のAiPプラットフォームの種類には、いくつかの要因があります。AiPのパッケージには、アンテナ構造に加えて、パワーアンプ（PA）、低ノイズアンプ（LNA）、スイッチ、トランシーバーICなどが含まれています。周波数帯によって、アンテナとICパッケージの両方に異なるプラットフォームが使用されています。統合型アンテナは、パッケージ上、サブストレート上、またはSiPミリ波アンテナモジュールに搭載することができます。また、AiPのアプローチ自体もパッケージごとに異なります。図3は、SiPのアプローチで実装されたAiPの例です。

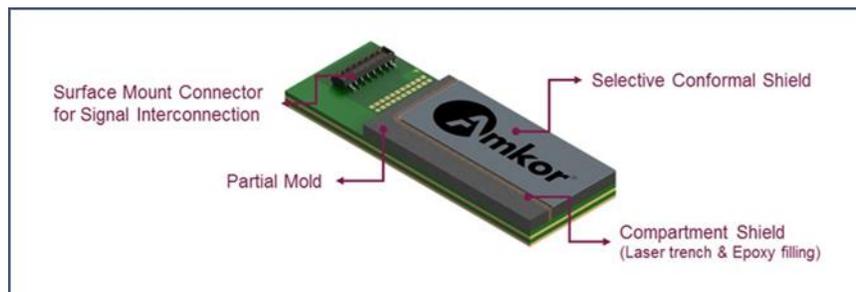


図3：アンテナが別個のデバイスではなく、デバイスのパッケージに統合されたAiPの設計

コスト重視のアプリケーションには、フリップチップボールグリッドアレイ（FCBGA）や両面ボールグリッドアレイ（DSBGA）などのAiPの可能性がります。図4は、アンテナを統合するための広範な技術ツールボックスを示しています。モバイルとインフラのアプリケーションでは、以下のような設計オプションがります。

- ▶ アンテナ・イン・サブストレート
- ▶ アンテナモジュール
- ▶ 両面チップマウントパッケージ（DSBGA）
- ▶ アンテナ層サブストレートを統合した低密度ファンアウト（WLFO）
- ▶ アンテナ・オン・パッケージを備えた高密度ファンアウト（HDFO）
- ▶ アンテナ・オン・モールド

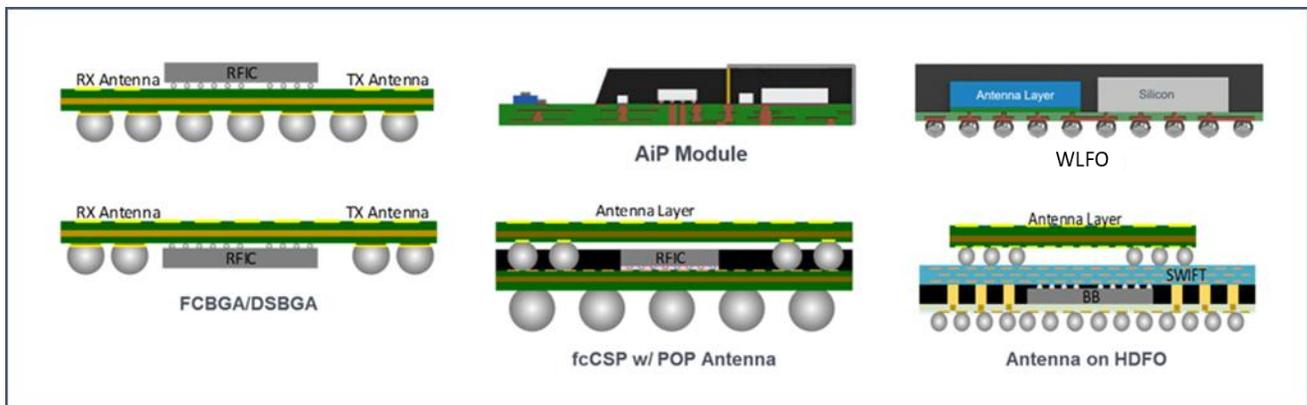


図4：いくつかの異なるパッケージプラットフォームが含まれている統合型アンテナの技術ツールボックス

その他のアプリケーションでは、アンテナはSiPモジュールアンテナや、パッケージ・オン・パッケージ（PoP）を備えたフリップチップ・チップ・スケール・パッケージ（fcCSP）などが考えられます。さまざまな設計オプションがります。

- ▶ SiP ミリ波アンテナモジュール
- ▶ 部分モールドイング
- ▶ パッシブ/フィルター統合
- ▶ アレイアンテナ設計
- ▶ スモールフォームファクタ

シールドイング

より高度なシステムインテグレーションのために、高度な SiP 技術や RF シールドイング技術が採用されています。RF SiP は、アンテナとアンテナマッチング回路を統合して、完全な RF からベースバンドシステムの機能までを含むことができます。これにより、少なくとも 1 つの完全な RF システムを構成するすべての要素が単一の半導体パッケージに収められた、完全な統合型アンテナ・イン・パッケージが実現しました。

RF シールドイング技術には、両面モールド、コンフォーマルシールド、コンパートメントシールド、部分モールド、選択的コンフォーマルシールド、ハイブリッド SiP 設計などがあります。これらのテクニックは、導電性のリッド、コア付き、コアレス、低熱膨張係数（CTE）のサブストレート、革新的なコンフォーマルシールド材料など、さまざまな材料を実装しています。図 5 は、異なるシールドイング技術を実装するためのキーテクノロジーを示しています。

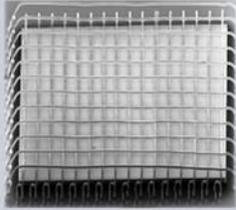
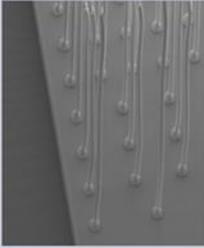
	Wire Fence	Wire Cage	Vertical Wire
Fixture			
Key Technology	High loop wire bonding	High loop wire bonding	Vertical wire bonding and wire reveal

図 5：異なる設計要件に対応している SiP の RF シールドイング技術

AiP のシールドイングの種類は、性能に大きな影響を与えます。図 6 は、コンフォーマルシールドを施した SiP が、シールドなしの SiP を凌駕し、電磁両立性/電磁干渉（EMC/EMI）性能を大幅に向上させたことを示しています。

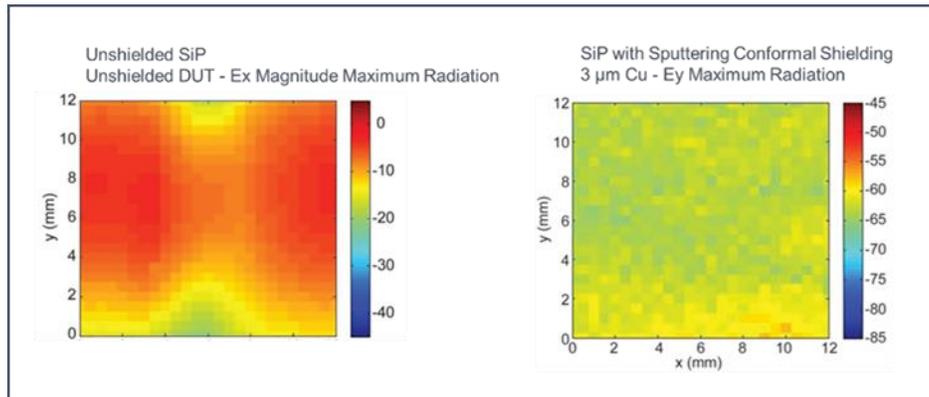


図6：100MHzから6GHzまでの近距離コンフォーマルシールドの性能測定

材料

シールドと同様に、材料の選択も AiP の設計とパフォーマンスに大きな影響を与え、様々な材料が異なるパフォーマンスレベルを満たす設計オプションを提供します。アンテナサブストレートには、ミリ波シールド用の材料に加えて、次のようなものがあります。

- ▶ 非対称スタックアップ
- ▶ 誘電率 (Dk) 3.3 未満の材料
- ▶ 誘電正接 (Df) 0.005 未満の材料
- ▶ Ra > 300nm (Cu トレース表面粗さ)
- ▶ 低 Dk/Df ソルダーレジスト

ウェハレベルの処理と WLFO パッケージには以下があります。

- ▶ 低 Dk/Df パッシベーションとモールド/電磁両立性 (EMC)
- ▶ 厚型パッシベーションの開発
- ▶ T ライン/導波管用多層 RDL
- ▶ ウェハレベルの磁気シールド

高度な高周波ディスクリート・アンテナ/トランシーバーのアプリケーションは、ウェハレベル・パッケージ技術を採用しており、アンテナ素子を形成する金属 RDL は、高精度かつ再現性があり、アプリケーションに合わせて容易に調整することができます。具体的な AiP プラットフォームの実装事例は以下の通りです。

- ▶ トップレイヤーの組立
- ▶ 両面組立
- ▶ 両面モールド組立
- ▶ チップが露出した両面モールド組立

特定の設計に適したパッケージプラットフォームを選択するには、通常、OSAT のパッケージ設計者と OEM のシステム設計者が話し合う必要があります。5G サブストレートの設計では、導体、誘電体損失、漏電、放射損失など、パッケージレベルの様々な信号損失を考慮する必要があります。導体の損失は、メッキ、スキン深度、表面の粗さ、ビア（構造、ピッチ、配置）を考慮する必要があります。誘電体損失に影響を与える主要な要素。誘電体損失には、サブストレート材料の誘電正接と誘電率があります。また、サブストレート材料の厚さのスタックアップもシグナルインテグリティに直接影響します（例：コア、プリプレグ、ソルダーマスクの厚さ）。EMC が誘電体として使用される構造では、エポキシモールドコンパウンド（EMC）が活躍することもあります。漏電損失は、アンダーエッチングされたシード層による面内での発生と、RDL やビアパターニングの欠陥によるサブストレート間での発生があります。放射損失は以下のような原因で発生します。

- ▶ 回路構成：ストリップライン、コンプレーナー、マイクロストリップ
- ▶ ビアスタブ（放射と反射）
- ▶ インピーダンスの遷移と不連続性
- ▶ スプリアス共振周波数スペクトル

アンテナの性能を向上させるもう一つの設計要素は、サブストレートのスタックアップを最適化することです（図 7 参照）。受信/送信（RX/TX）信号と直接接続することで、受信機の信号感度に悪影響を与えたり、送信機の消費電力を増加させたりする信号のミスマッチを低減します。

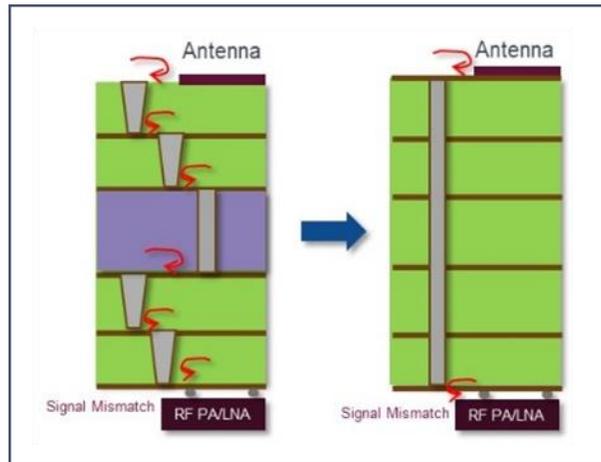


図7：サブストレートのスタックアップとRDL/ビアの配線を最適化による、信号のミスマッチ低減と、アンテナ性能向上

AiP の様々なパッケージング技術における異なる設計段階の具体的な実装は以下の通りです。

- ▶ 最大 23.0mm×6.0mm までのボディサイズと複数のフォームファクタオプション
- ▶ 最大 14 層のサブストレート
- ▶ 77GHz 以上のアプリケーションのための薄膜 RDL と誘電体

ミリ波アプリケーションでは、適切な AiP 設計は、いくつかの必須のシステムメリットを提供します。AiP の技術を使えば、システム設計者は次のものが得られます。

- ▶ フットプリント・フェーズドアンテナアレイの小型化による省スペース化
- ▶ ミリ波製品の信号減衰の低減
- ▶ 消費電力の低減
- ▶ デバイスの対象範囲の拡大
- ▶ サプライヤーによって証明され、適格化された設計

アンテナへの信号損失が減ることで、従来のアンテナに比べて必要な電力を削減できる可能性があります。さらに、AiP は、設計と製品がサプライヤーによって適格化されるため、OEM のエンジニアリングの労力と必要なりソースを削減することができます。この適格化があれば、OEM メーカーは安心して、アンテナを統合した堅牢

な製品をより早く市場に投入することができます。実際、77GHz までの材料が実証されている Amkor の AiP パッケージング技術は、今日、60GHz 以上の動作が可能な製品を出荷しています。

AiP 使用例

今日、AiP には様々な使用例が存在します。

スマートフォン

- ▶ 携帯電話への 5G による高速接続
- ▶ Samsung Galaxy S10 には 3 つの AiP 製品が含まれています
- ▶ 2020 年に発売された 5G 対応（サブ 6GHz）の複数の新機種

スモールセル

- ▶ 屋内外のスモールセル用アンテナアレイ
- ▶ 高速ネットワークを家庭に届けるラストマイル接続
- ▶ オフィスビルでの高速接続
- ▶ スタジアムや空港などのパブリックスペースでの接続性

防犯カメラ

- ▶ 5G 対応の防犯カメラをネットワークに接続
- ▶ AiP によるフォームファクタの低減効果

自律走行車

- ▶ インフォテインメント、先進運転支援システム（ADAS）、オーバー・ザ・エア（OTA）のアップデートなど、自動車には複数の接続モードが必要になります
- ▶ インフォテインメントのための高帯域 5G 接続
- ▶ 3D イメージとリッチコンテンツによるナビゲーション

AiP 設計サービス／設計能力

すべての AiP 技術に対処するには、回路密度を最大化し、5G やあらゆるミリ波設計の量産に必要な高度なパッケージングフォーマットに対応するための広範なツールセットが必要となります。5G や低電力広域ネットワーク (LPWAN)、その他の接続を問わず、アプリケーションの要件に基づいて、お客様は、低損失係数/誘電率のサブストレート、放熱用のサーマルインターフェイス材料 (TIM)、幅広い種類のパッケージ・アーキテクチャを選択して、高レベルのシステムおよびサブシステムの統合を実現する必要があります。これらの設計オプションには、電気的、熱的、機械的シミュレーションのための高度なモデルが顧客に必要であり、また、設計、シグナルインテグリティのシミュレーション、試験および特性化のためのサービスも必要です。

高度マルチチップ統合ツールボックスや RF SiP の設計・シミュレーションのノウハウに加えて、その他の能力も必要です。

- ▶ マルチチップ設計のための広範な fcCSP、WLCSP、WLFO、HDFO 製品ライン
- ▶ 確立され信頼性の高いサプライチェーン
- ▶ グローバルな組立スケールとシステムテストへの投資

最後に、システム設計者向けの設計ガイドラインを完備しているため、設計者は自信を持ってニーズに合った OSAT を採用することができます。

手のひらサイズの 5G

次世代設計に AiP を組み込むためには、多くのパッケージオプションがあります。最も迅速かつ容易に実装するためには、OSAT のパッケージや SiP が、次世代のミリ波製品の設計に対応できる大量生産能力を備えている必要があります。

議論されたパッケージの多くはすでに生産されており、Amkor は 5 年以上にわたり、大量生産における 5G ミリ波 AiP アプリケーションに対応してきています。これには、サブ 6Ghz とトゥルー・ミリ波製品の両方に対応するために、ラミネートサブストレートベースのアンテナ素子とトランシーバー、関連部品や回路を統合する従来型および高度なパッケージング技術が含まれます。

結論

Amkor は、回路密度を最大化するための広範なツールセットを開発し、両面組立、サブストレートへのエンベデッド・チップ、薄膜 RDL と誘電体、さまざまなタイプの R シールディングテクニクなど、5G アプリケーションを実現するために必要な高度なパッケージング形式に対応しています。このツールセットと RF およびアンテナパッケージ設計の専門知識を組み合わせることで、Amkor は、5G ネットワークのための高度パッケージ組立およびテスト技術を用いた複数の IC の組み合わせに関連する課題や高額な投資を外部委託したいお客様とのパートナーシップを独自に構築しています。5G に対応したパッケージの需要が高まる中、Amkor はすでに AiP 技術の実施を成功させています。

参考資料

[1] Grand View Research の業界レポート 2018-2025 号、「ミリメートル波（ミリ波）技術市場」
<https://www.grandviewresearch.com/>

©2021, Amkor Technology, Inc. 著作権保有

バイオグラフィ



Curtis は、Amkor Technology, Inc. にアドバンスドパッケージおよび技術統合担当 VP として入社しました。彼はコロラド州立大学の機械工学の学士号、フェニックス大学で MBA を取得しています。メール : curtis.zwenger@amkor.com



Vik Chaudhry は、Amkor Technology, Inc. のプロダクトマーケティングおよび事業開発担当 Sr. Director です。インドのボパールにある国立工科大学で電気工学の学士号を取得し、アリゾナ州立大学で電気工学の修士号と MBA を取得しています。

Amkor Technology の AiP/AoP の詳細は、 : <https://amkor.com/AiPAoP> にアクセスしてください。