

IoT/CPS、5G、自動運転など、社会インフラとも言えるこれらの分野において、中核となる技術セグメントの一つにミリ波帯無線技術、レーダ技術や光技術がある。ここでは超高速で大容量データ伝送を実現する高周波回路技術とデバイス材料が鍵となる。本報では、携帯端末と基地局およびレーダを取り上げて、高周波LSIの最新状況を論説する。

### 携帯端末と携帯基地局

図1に示すホモダイン方式携帯端末に関するアンテナ周辺回路を用いて処理手順を示す。通話信号をデジタル信号に変換し、CDMAスペクトラム拡散方式の場合は送信回路で携帯端末毎に割り当てられた高周波疑似乱数を混合することで、周波数帯域の拡散を行う。その信号をD/A変換し、局部発振回路で作られた5Gのキャリア信号と混合させる。その信号を電力増幅PAに通した後、伝送線路で繋がれたアンテナから送信。受信する場合は、アンテナからの入力信号を低ノイズ電圧増幅LNAに通す。同相および $\pi/2$ 位相シフトされたキャリア信号と混合、さらに位相シフトやフィルタ処理を施して一次復調を実行。A/D変換した後、受信回路において送信時と同一の疑似乱数を混合し、通話帯域のバンド・パス・フィルタを通すことで、該当端末に送られた通話信号のみを抽出する。ミリ波帯高周波アナログ回路をRF回路、通話信号を扱うものをベース・バンド回路と呼んでいる。RF回路では、5Gの場合3GHz から30GHz帯(国内)、ビヨンド5Gつまり6Gになると300GHz帯までのキャリア信号を扱う。一方ベース・バンド回路は通常のデジタル回路であり、数GHzのクロックで動作する。高周波数を扱うRF回路では、「高飽和電子速度や高移動度を実現するHEMT(High Electron Mobility Transistor)材料が必要」、「アンテナに最大限の電力を供給するには、RF回路のPAやLNAとアンテナ間の伝送線路両端でインピーダンス整合をとる必要」などが重要な技術ポイントとなる。

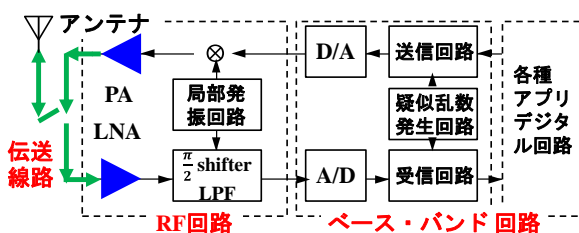


図1 携帯端末でのアンテナ周辺回路

最新5G携帯端末では図2の左に示すパッチ・アンテナを採用している。これは長手方向の寸法が定在する電圧正弦

波波長 $\lambda$ の半分である矩形マイクロ・ストリップ・ラインで作られる。アンテナ金属中の電圧波形伝搬速度を光速の半分とすると、5Gでの上限30GHz帯では2.5 mm程度となる。図の横方向に交流電流が流れることによって分布乗数回路であるアンテナ金属中心が定在電圧正弦波の原点に一致することになり、アンテナの両端には常時逆方向の電圧が生じて閉じた電場が生成される。単位時間に周波数分のこの電場ループが発生して上部方向に押し出される。その結果電場と直角方向に磁場が発生し、電場と磁場の発生を交互に繰り返すことで電磁波が上部方向に放射されることになる。

インピーダンス整合をとる必要があることを説明したが、伝送線路長がその上を伝搬する電圧正弦波の波長の数倍以下の場合、分布乗数の振る舞いが顕著になり、伝送線路両端で電圧の反射が起こる。そのため電力ロスが生じるのである。「インピーダンス整合には、スタブの挿入や余分な回路が必要になる」など、設計とレイアウトが非常に厄介であるが、伝送線路の長さを数mm以下とすればこの問題が解決できる。そこで現れたのがAIP (Antenna In Package)だ。図2の右はQualcommが提供している5G用28GHzおよび39GHz帯AIPの概念図である。パッチ・アンテナとRF デバイスをまとめて一つのパッケージにしている。ここではパッチ・アンテナをアレー状に配置することで、複数の情報を並列に送受信するMIMO (Multi Input Multi Output)方式と高い指向性を実現している。

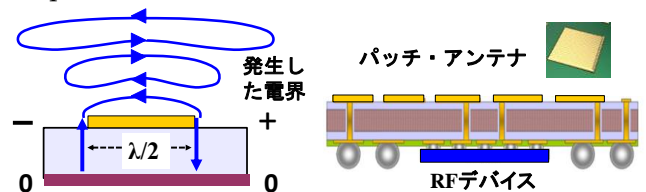


図2 パッチ・アンテナと19×5mmAIP

携帯基地局でも回路構成はほぼ同様である。ここでも、小型化と低価格化が実現できることからこのAIP構造が主流になると言われている。ここではパッチ・アンテナをマトリクス状に配置することにより、ビーム状の極めて高い指向性の実現と、基地局側としてのMIMOを実現している。

2030年ごろには、0.1msの遅延、1,000万デバイス接続/km<sup>2</sup>、100Gbpsを超える超高速で大容量伝送、そして10倍の電力効率を実現する6Gの時代になる。この6Gを見据えて、NTTは大容量、低遅延、低消費電力の情報インフラとしてフォトニクス・ベースのIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想を提案し、研究と開発を開始して

いる。その中核技術の一つがシリコン・フォトリソグラフィだ。「伝送線路を含め、図1に示すRF回路のすべてを光信号で処理し、CMOS回路の配線部分を光導波路に置き換える」などだが、すべてSiを材料として実現するのだ。基地局と交換局間、交換局間、交換局内装置間における光通信の研究、開発と実用化に関してNTTは長い歴史と実績を持つわけだから、このシリコン・フォトリソグラフィも大いに期待される分野だ。技術競争で世界中の企業がしのぎを削る中、我が国が他国と差別化するための切り札となる技術でもある。

### 各種レーダ

国内において昨年1月に60GHzレーダが解禁になった。7GHz広帯域を持つことから2.14 cmの分解能があり、幅広い分野での応用が期待される。一般家庭内においては、人間の位置や姿勢情報、在室人数の検出などのために使われる。また自動車内においては、ドライバの姿勢やバイタル情報、乗車人数などの検出に用いられる。この分野はInfineonが圧倒的にリードしているが、「MCU、送信2系統と受信4系統回路を内蔵したAIP」を実現しようとしている。

次に、ADAS（Advanced Driver Assistance System）や完全自動運転に欠かせない車載レーダを見てみよう。現在、前方用には77GHz帯、後方と側面用には24GHzのレーダが使われている。図3は77GHzのRF LSIでトップシェアを持つNXPが開発したレーダ基板だ。35mm角の基板にアレー状パッチ・アンテナ、CMOSベース7.5mm角のRF LSI、レーダ処理用各種LSI、MCUなどが搭載されている。さらにAIP化すると、わずか12mm角程度の大きさになるという。衝突防止、歩行者の検出、障害物検出など、個別用途に応じた多品種で多数のレーダが必要となるが、それには、高画像分解能、高速処理や低消費電力はもちろんのこと、可能な限りの小型化と低価格化が必須となっている。

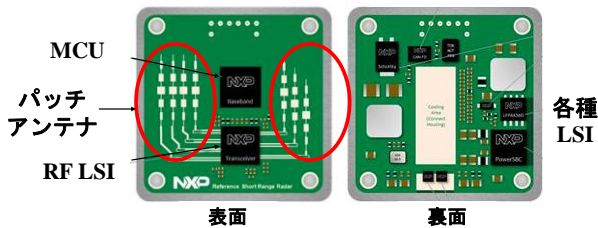


図3 NXPの35mm角レーダ基板(NXP社HP)

### 高周波LSIのデバイス材料

高周波LSIのデバイス材料に関して、カバーできる周波数帯と出力電力の関係を図4に示す。携帯端末では現在Siが主に用いられているが、5Gにおいても30GHz帯ではSiGeが必要とされていた。しかし、Siでもその構造を工夫することなどで十分な飽和電子速度や移動度が実現でき、

300GHz帯まで拡張される6Gでさえもカバーできる可能性が出てきた。一方、携帯基地局では大電力が必要なために、GaNが用いられる。実際、NXPは昨年9月、米国アリゾナに5G向け6インチのGaN製造工場を建設している。また、シリコン・フォトリソグラフィにおけるレーザ光の光源はInP系材料で作るが、高周波LSIの材料はもちろんSiである。

家庭内や車内用、あるいは自動運転用車載用のレーダでは、従来GaAsやSiGeのみが用いられていた。しかし、小型化と低価格化が必須となっていることから、低電力で十分な分野ではSiへの移行が進んでいる。

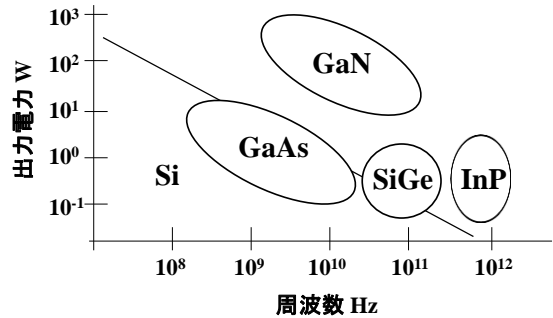


図4 高周波LSIデバイス材料特性(住友電工TR2018年)

### まとめ

5G携帯用LSIのシェアは、50%以上を占めるQualcommを筆頭にSamsung、MediaTek、そしてHUAWEIが並ぶ。残念ながら、我が国メーカーのシェアはほとんど無い。そこで昨年末には産官学の6G推進フォーラムが動き出し、6G用LSIの技術開発に対して政府は2,000億円の資金提供に乗り出している。このような背景の下、NTTはNEC、富士通とLSI開発の技術協定を結び、トヨタとSONYとも連携する動きを始めた。5Gの分野でさえ2025年には11兆円になると言われている基地局世界市場、6Gの分野ではなんととも世界舞台に躍り出たいものである。

また、「2030年、車載レーダの世界市場は1.5兆円になるとされているが、LSIの分野では、InfineonとNXPが独占状態である。残念ながら我が国は後塵を拝しているが、この分野はまだまだ始まったばかりだ。気象、宇宙、防衛レーダなどの分野では三菱電機、東芝、NEC、富士通などが高い技術力と長い歴史と実績を持つわけだから、車載レーダ分野でも十分キャッチ・アップが可能と思われる。

いずれにせよ、今まさに高周波LSIのビジネス・チャンスが到来しているわけだが、「過去から現在まで連続と繰り返されてきた『技術カースト、ビジネス三流』からの脱却」と「最初から世界のプラットフォーム化と標準化を念頭に入れた取り組み」とが成功の鍵であることを忘れてはならない。

ご意見を論説委員会 [ronsatsu@ssis.or.jp](mailto:ronsatsu@ssis.or.jp) までお寄せ下さい。

論説委員： 鈴木五郎(委員長) 渡壁弥一郎(副委員長)  
井入正博 川端章夫 長尾繁雄 吉岡信行