

Title	3次元構造によるMMICの高集積化・高機能化に関する研究
Author(s)	西川, 健二郎
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/2706">https://hdl.handle.net/11094/2706</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	西川健二郎
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 18229 号
学位授与年月日	平成 16 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	3次元構造による MMIC の高集積化・高機能化に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 小牧 省三
	(副査) 教授 塩澤 俊之    教授 河崎善一郎    教授 馬場口 登 教授 元田 浩    教授 北山 研一

#### 論文内容の要旨

本論文は、3次元構造を用いた超小型、高集積ミリ波帯モノリシックマイクロ波集積回路(MMIC)及びSiMMICの高周波化、高機能化に関する研究をまとめたものであり、全文は以下の8章で構成されている。

第1章は序論であり、超小型、高集積ミリ波帯モノリシックマイクロ波集積回路に関し研究の背景と課題について述べ、本研究の位置づけならびに目的を明らかにしている。

第2章では、半導体基板上に誘電体薄膜を多層に積層し、その上にマイクロ波回路を形成する3次元MMICの基本的構成法を提案し、3次元MMICが小型、高集積化に極めて有効であることを明らかにしている。また、3次元MMICを実現するために開発したプロセス技術の概要を示している。

第3章では、3次元構造を活かした超小型基本受動回路を提案し、その設計法及び特性を示している。初めに、3次元MMICの基本素子である薄膜マイクロストリップ線路(TFMS線路)の特徴を明らかにし、高密度レイアウトを実現するための設計手法を提案している。次に、基本受動回路である90度及び180度信号分配合成回路、同相信号合成分配回路について、3次元構造を適用した新たな構成法を提案し、その特性を明らかにしている。

第4章では、3次元構造を適用した化合物系デバイスを用いた各種の基本能動回路について、それらの小型化のための設計法を提案するとともに、提案RF回路を1チップに集積化した高集積20GHz帯3次元MMIC1チップ受信機を実現し、3次元MMICの小型化、高集積化の有効性を明らかにしている。

第5章では、ミリ波帯、特に60GHz帯への3次元MMICの適用に焦点を当て、3次元MMIC技術がミリ波帯MMICの小型化高集積化に極めて有効であることをTFMS線路の特性及び高集積MMICの実現により明らかにしている。

第6章では、3次元MMIC技術をSi基板に適用したSi3次元MMICを提案し、高周波化と低電圧化を同時に実現している。また、低抵抗Si基板とマイクロ波線路をSi基板上に形成する接地導体により分離できる構造を提案し、Si基板上のマイクロ波線路損失の大幅な低減を実現している。

第7章では、MMIC開発期間の大幅な短縮を実現するマスタスライス型3次元MMIC設計法を新たに提案し、その特徴を示している。さらに提案手法を元にしたCADソフトウェアを開発し、その概要と利点を述べている。

第8章では、本研究で得られた3次元構造によるMMICの高集積化・高機能化に関する研究成果を総括し、結論を述べている。

## 論文審査の結果の要旨

近年、携帯電話・無線 LAN をはじめとするワイアレス機器の利用が急速に世の中に進展してきている。このような機器では、小型化、高周波化と同時に低消費電力化、低価格化が要求されている。本研究では、これらの要求に資するため3次元構造を用いた超小型・高集積化されたミリ波帯モノリシックマイクロ波集積回路に関する検討を加え、各種の基本構成回路に対する種々の新しい考案を行い、集積回路化された回路を実現してその効果を明らかにしている。本論文はこれらの結果をまとめたものであり、得られた成果は次の通りである。

- (1) 3次元 MMIC を提案し、その特徴を示すとともに3次元 MMIC が小型、高集積化に極めて有効であることを示している。さらに3次元構造を実現する誘電体膜（ポリイミド/BCB）多層配線プロセス技術を開発し、多層配線プロセス技術はマイクロ波、ミリ波 MMIC の小型化を実現するための十分な加工精度、信頼性があることを示している。
- (2) 3次元 MMIC のキーコンポーネントである薄膜マイクロストリップ (TFMS) 線路について、その特性を示し、かつ TFMS 線路の最小隣接配置線路間隔を明確にし、小型、高集積化を実現するための回路レイアウトの指針を示し、3次元構造を応用した超小型受動回路を提案し、その特性を明らかにしている。また、配線、接地導体の多層化により実現できる層間結合と層間アイソレーションを応用したブロードサイドカプラおよび積層化ウィルキンソンディバイダについてその設計法と特性を示している。さらにブロードサイドカプラを適用した広帯域バランを提案しその設計法および特性を示している。
- (3) 3次元構造を応用した基本能動回路（増幅器、周波数変換器、発振器等）の構成法及びその設計法を示した。可変利得増幅器として、新たにドレイン接地 FET を帰還回路に配置したアクティブ帰還型可変利得増幅器を提案し、その低歪み特性を明らかにしている。さらに発振器までを含めた能動回路を1チップに集積した 20 GHz 帯1チップ受信機 MMIC を初めて実現し、その特性を確認している。これらの結果は3次元 MMIC 技術が MMIC の小型化、高集積化実現に極めて有効である。
- (4) 小型化、高集積化、設計の簡易化の点において、TFMS 線路のミリ波帯での優位性を示すとともに、3次元 MMIC 技術を用いた超小型ミリ波能動回路を実現している。さらに高集積 V 帯1チップダウンコンバータ MMIC を実現している。これらの集積度は平面構成の MMIC と比較しても数倍以上であり、ミリ波帯 MMIC の小型化、高集積化において3次元 MMIC 技術が極めて有効であることを明らかにしている。この結果により、ミリ波 MMIC の大幅な経済化を実現している。
- (5) Si 基板に3次元 MMIC 技術を適用することを提案し、標準的な SiIC プロセスを用いた SiMMIC の高周波動作、低電圧動作を初めて実現している。また、3次元 MMIC 技術により、Si 基板の導電性とマイクロ波回路を分離することを実現し、低損失なマイクロ波受動素子を実現している。これにより、リアクティブ整合回路を実現し、SiMMIC の高周波化を達成している。さらに駆動電圧が 1 V という低電圧動作を実現している。これらの結果より、Si 3次元 MMIC による X-Ka 帯 MMIC の大幅な経済化と低電圧化を実現している。さらに RF 部の高集積化を実現し、IF、ベースバンド一体の1チップトランシーバ実現の見通しを得ている。
- (6) MMIC 開発期間の短縮と経済化を実現するマスタスライス MMIC 設計法を提案すると共に、その有効性を示すとともに、マスタスライス設計法を基にした CAD ソフトウェアを実現し、MMIC 開発の一層の短 TAT 化、経済化を実現できる見通しを得ている。

以上のように本論文では、3次元構造による MMIC の高集積化・高機能化に対する検討を加え、各種の基本回路に関し新しい提案を行なうとともに、実際に3次元構造による MMIC を実現しその特性を把握している。これらの成果は、今後のワイアレス機器の高周波化・小型化に資するのみでなく、低消費電力化、低コスト化へのインパクトも極めて強く、通信工学の発展に寄与するところが極めて大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。