

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760259

研究課題名(和文) チップ内メタ物質を用いたミリ波集積回路用
小型・可変伝送線路共振器の開発研究課題名(英文) Development of small-area and tunable transmission-line oscillator
using on-chip metamaterial technique for millimeter-wave integrated circuits

研究代表者

土谷 亮 (TSUCHIYA AKIRA)

京都大学・大学院情報学研究科・助教

研究者番号：20432411

研究成果の概要(和文)：メタマテリアル技術を用いた小型・可変共振器の開発を目標に、チップ内メタマテリアルの構成方法について検討を行なった。チップ内の多層配線を活用した積層型 SRR(Split-Ring Resonator)を提案し、60GHz 以下の周波数で利用可能なメタマテリアルを開発した。さらにその SRR にトランジスタを接続することにより、共振周波数を可変にすることに成功した。提案した構造は実際にチップを試作し、実測によりその特性を確認した。

研究成果の概要(英文)：A method to realize on-chip metamaterial for small-area and tunable oscillator at 60GHz millimeter-wave band is developed. Stacked SRR (Split-Ring Resonator) that utilizes multi-layer interconnect is proposed to realize adequate resonant frequency of SRR. Then tunable SRR is developed by connecting transistors to the proposed SRR. The proposed structures are fabricated in a CMOS process and verified by chip measurement.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 21 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
平成 22 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：ミリ波集積回路, メタ物質, 伝送線路, 共振器

1. 研究開始当初の背景

集積回路の微細化が進み、CMOS 集積回路の応用範囲が急速に拡大している。中でも微細化による速度向上に立脚する高周波領域への進出はめざましく、60GHz ミリ波帯やそれ以上の高周波も CMOS で実現が可能になってきた。一方で高周波アナログ回路に必要な不可欠なインダクタやキャパシタなどの受動素子は微細化の恩恵を受けられず、トランジスタとのギャップは広がる一方である。そのため、集積回路技術のさらなる発展のために受動素子におけるブレークスルーが求め

られている。

2. 研究の目的

本研究の目的はメタ物質を集積回路内に導入することによるチップ内受動素子の超小型化や高性能化、高機能化である。メタ物質は導体を規則的に配置することで、巨視的に見たときの材料定数を変化させる技術である。屈折率などの定数を負の値にすることもでき、従来ありえないと思われてきた挙動を実現することができる。このような技術をチップ内受動素子に導入できれば、これまで

の常識を打ち破る素子を実現することができる。また、メタ物質を構成するのは規則的に配置された微小な導体である。この導体にトランジスタを接続し特性を変化させることができれば、電気的に材料定数を変化させることができる。高帯域無線通信などにおいて性能の高い可変受動素子は強く求められており、可変メタ物質の技術が確立されれば高帯域化や複数の通信方式への対応などを容易にすることができる。本研究ではまずチップ内メタ物質の構成方法の基礎技術を確立するため、信号伝送や共振器に利用される伝送線路を題材にチップ内メタ物質の実現方法および可変化の方法について研究を行う。

3. 研究の方法

本研究において重要な課題は(1)チップ内にメタ物質を構成する方法、(2)性能を可変にする方法、の2点である。(1)について、これまで集積回路内でメタ物質が議論されていない背景として周波数とサイズの不整合がある。メタ物質は常に特異な特性を示すわけではなく、ある特定の周波数において構成要素が共振することで特徴的な振る舞いをする。集積回路内に一般的なメタ物質構成要素である SRR (Split-Ring Resonator) を構成した場合、その共振周波数は 200GHz 近辺であり、現在の CMOS の応用先である 60GHz 帯よりはるかに高い。図 1 に、単純な SRR をチップ内に構成した際の共振周波数についてシミュレーション結果を示す。共振周波数

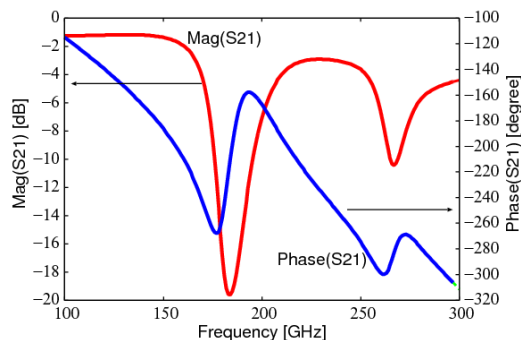


図 1. チップ内伝送線路の周辺に $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ の SRR を配置した場合の特性 (電磁界シミュレーション). 共振周波数は 180GHz.

は 180GHz であり、このままでは実用化することができない。この共振周波数を下げることが必要である。また(2)について、トランジスタを接続することで性能を可変にすることができるかと期待されるが、トランジスタをスイッチとして使うのか、可変抵抗として使うのか、可変容量として使うのかなど、ど

のような構成方法が妥当かは自明ではない。

(1)については申請時点で SRR を積層することで共振周波数を 60GHz 近辺まで下げることが可能であるという予備実験の結果を得ており、本研究においては電磁界シミュレーションを用いて SRR のサイズや構造など設計方法について詳細に検討し、実際にチップを試作・実測して評価を行う。(2)については能動素子であるトランジスタと受動素子である SRR を電磁界解析で評価することが難しいため SRR のモデルを作成し設計を行う。以上 2 点について重点的に検討し、性能可変なメタ物質を実現することで小型・性能可変な伝送線路を実現する。

4. 研究成果

(1) チップ内メタマテリアルの実現

研究期間中に得られた成果として、まずチップ内でメタ物質を実際に構成し、実測でその挙動を確認したことが挙げられる。すでに述べたように通常チップ内に SRR を配置しても共振周波数は 200GHz であり、一般的に CMOS が利用される 60GHz 帯以下で使うことはできない。本研究ではチップ内の多層配線を活用した積層型 SRR を提案した。構造模式図を図 2 に示す。積層することで全体のインダクタンスとキャパシタンスが大きくなり、共振周波数が大きく低下する。試作したチップの頭

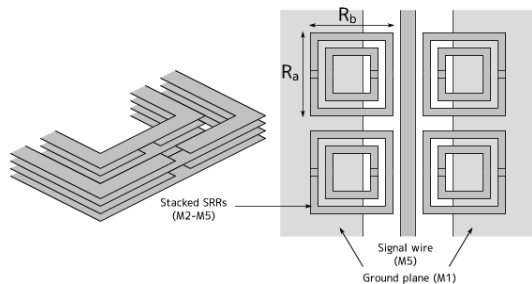


図 2. 提案する SRR の構造模式図. 左: 俯瞰図, 右: 上面図.

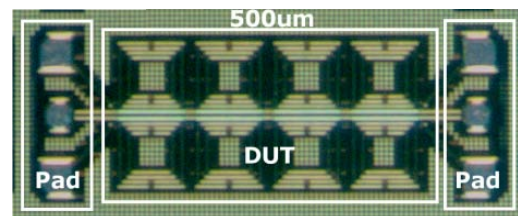


図 3. 試作したチップの顕微鏡写真 ($500\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ のテストパターン 1 つ分. 試作したチップには構造を変化させたパターンを合計 84 個搭載).

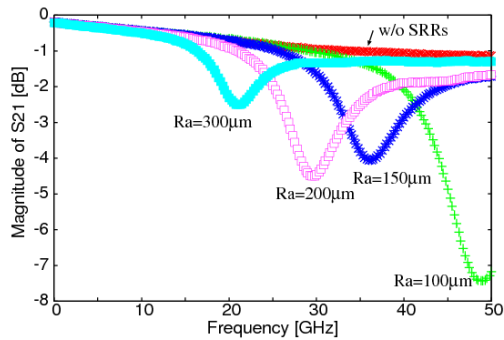


図 4. 積層型 SRR の実測結果. 曲線が大きく下に湾曲しているところが SRR の共振周波数.

微鏡写真を図 3 に示す.

測定結果を図 4 に示す. 曲線が大きく下に湾曲している部分が SRR が共振しているところであり, 50GHz 以下の共振周波数を実現できることを実測によって確認した. この成果により, これまで不可能であると考えられていた SRR によるチップ内メタマテリアルの実現が可能であることを示した.

(2) 可変メタマテリアルの実現

次の成果として, 提案する SRR にトランジスタを接続し, 共振周波数を可変にした点があげられる. SRR はループ状の導体のインダクタンスとキャパシタンスによって共振するため, トランジスタを可変容量として使用し, 外部からゲート電極の電位を調整することで共振周波数を変化させることに成功した. トランジスタを接続した SRR のレイアウト図を図 4 に示す. 右側の正方形の構造が SRR, 左側に接続されているのが制御用トランジスタである. トランジスタはチップ外から電圧を制御することにより動作状態を変化さ

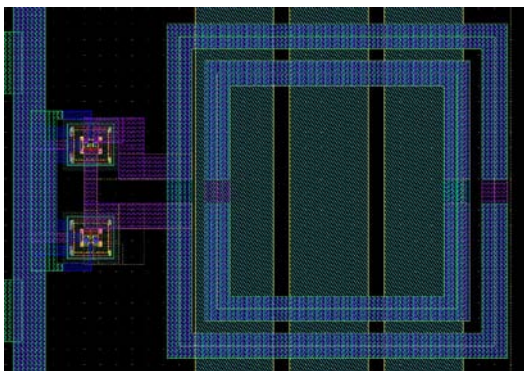


図 5. 可変 SRR のレイアウト図. 二重の正方形が SRR, 左に接続されているのが制御用トランジスタ.

せることができる. 試作したチップの顕微鏡写真を図 6 に示す. 図 3 のチップと比較して, 伝送線路の両側にトランジスタ制御用のパッドが追加されている.

試作したチップを実測し, トランジスタを接続し与える電位を調整することで共振周波数が増えることを確認した. しかし共振周波数およびその変化範囲ともに試作前に予想した値よりも小さくなっており, 原因については検証中である. SRR と制御用トランジスタを接続する配線の寄生成分および高周波でのトランジスタの動作モデルに誤差があったことが原因であると推測している.

(3) 今後の課題・展望

以上のようにチップ内メタ物質の実現および可変化を実現した. しかしなお課題も多く残されている. 最も大きな課題は SRR の損失である. チップ内の微細な配線を用いているため SRR 自身の損失が大きく, 図 4 にも示されているように設計によっては共振が弱くなってしまふ. 実用的な性能を達成するためにはこの損失を低減する技術もしくは補償する技術の開発が求められる. また, 具体的な設計を通じて可変化のために SRR とトランジスタを接続する配線の影響が無視できないことも分かった. さらなる構造の最適化などが必要である.

しかしながら本研究はチップ内受動素子へのメタ物質導入の先鞭をつけた研究であり, 今後さらなる発展が期待できる. 本研究は共振器への応用を念頭に共振周波数の可変性に着目したが, チップ内受動素子は共振器だけではなくフィルタやアンテナなどへの利用が積極的に研究されている. これらの

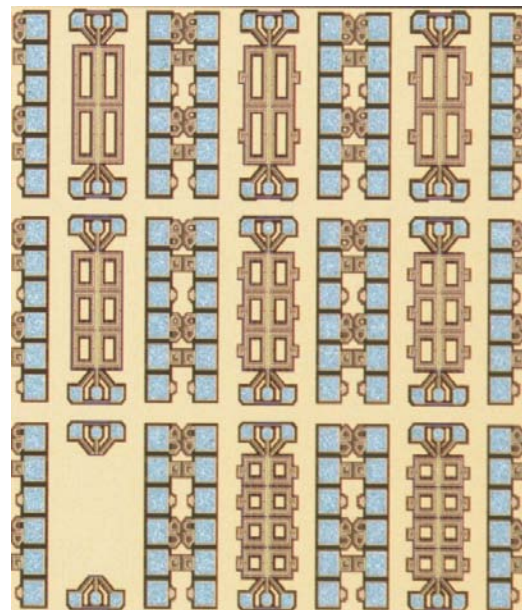


図 6. 可変 SRR のチップ写真 (一部).

分野にもメタ物質の技術を導入すればチップ内で高性能・可変なフィルタやアンテナを実現でき、例えば無線通信モジュールの超小型化などの効果が期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計3件)

- ① A. Tsuchiya and H. Onodera, "Measurement of On-Chip Transmission-Line with Stacked Split-Ring Resonators", 14th IEEE Workshop on Signal Propagation on Interconnects, pp.137-140, 10 May 2010, Germany.
- ② A. Tsuchiya and H. Onodera, "On-Chip Metamaterial Transmission-Line Based on Stacked Split-Ring Resonator for Millimeter-Wave LSIs", Asia-Pacific Microwave Conference 2009, pp.1458-1461, 9 Dec 2009, Singapore.
- ③ 土谷 亮, 小野寺 秀俊, "Split-Ring Resonator を用いたチップ内メタ物質の構成に関する検討", 電子情報通信学会 第21回 シリコンアナログRF研究会, 10 Nov 2009, Kyoto.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計0件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土谷 亮 (TSUCHIYA AKIRA)

京都大学・大学院情報学研究科・助教

研究者番号 : 20432411

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :