

## RF MEMS とその応用

発行：ケイラボ出版 / 発売元 サイベック(株)

体裁：A4 版 / 197 頁

発刊：2004/12/20

価格：33,600 円 (本体：32,000 円 + 消費税:1,600 円)

ISBN コード：4-89808-064-2

監修 小西良弘 元東京工芸大学 教授・ケイラボラトリー取締役

執筆者 大和田邦樹 国際標準化学工研究所 所長

最近、RF MEMS 技術が低損失な RF スイッチや RF バラクタを実現できる技術として注目されている。MEMS 技術は半導体集積回路技術に独自のプロセス技術を付加することにより、各種基板上で機械的に動くデバイス構造を実現し、マイクロセンサ、マイクロアクチュエータ、光スイッチ、バイオチップ、などの分野で多くの革新的なデバイスを生み出してきた技術である。

RF MEMS はこの MEMS 技術をマイクロ波・ミリ波分野に応用したものである。RF MEMS 技術によりマイクロ波・ミリ波のスイッチ、バラクタ、インダクタ等の部品が開発され、従来の半導体技術による部品に比べ低損失、高 Q であることから注目を浴びた。さらに、RF MEMS スイッチや RF MEMS バラクタを使ったチューナブルフィルタ、フェーズシフタなどの回路も開発され、可変 RF フロントエンドシステムやフェーズドアレイレーダなどへの応用の期待が高まっている。

RF MEMS がこのように重要であるにも関わらず、わが国では今まで RF MEMS の解説書が無かった。本書はこれから RF MEMS の開発に取り組む若手開発者や RF MEMS の知識を深めたい開発担当者を対象に RF MEMS 技術とその応用についてわかりやすく説明するものである。特に、本書ではスイッチ、バラクタ、フェーズシフタ、チューナブルフィルタなどの多くの開発特性データを表にまとめて説明しており画期的な内容となっている。

### 第 1 章 MEMS の概要

- 1.1 MEMS とは
- 1.2 MEMS 開発の歴史
- 1.3 MEMS のグループ別代表デバイスと応用分野
- 1.4 MEMS 技術の特徴、技術分野と専門用語
- 1.5 MEMS の国際標準化

### 第 2 章 RF MEMS の概要

- 2.1 RF MEMS とは
- 2.2 RF MEMS 開発の歴史
- 2.3 RF MEMS の構造例
- 2.4 RF MEMS の利点
  - 2.4.1 RF MEMS と GaAs 回路、SiGe 回路、または CMOS 回路との集積化
  - 2.4.2 RF MEMS のリニアリティと相互変調歪積

## 第3章 RF MEMS の設計技術

### 3.1 RF MEMS デバイスの基本構造

### 3.2 RF MEMS の機械的設計技術

- 3.2.1 両持ち梁のばね定数 (1) 梁の硬さに起因するばね定数
- 3.2.2 両持ち梁のばね定数 (2) 残留応力、梁の伸張回復力に起因するばね定数
- 3.2.3 両持ち梁のばね定数 (3) 全体のばね定数
- 3.2.4 梁中の穴の効果
- 3.2.5 ばね定数を低下できる梁構造
- 3.2.6 片持ち梁のばね定数

### 3.3 RF MEMS の電気機械設計技術

- 3.3.1 静電駆動
- 3.3.2 梁の保持電圧
- 3.3.3 梁の周波数応答
- 3.3.4 梁のダンピングに影響する気体のパラメータ
- 3.3.5 梁のダンピング係数とクオリティファクター
- 3.3.6 梁の非線形解析
- 3.3.7 スイッチング時間
- 3.3.8 フリンジング静電容量の効果

### 3.4 MEMS 用設計解析ツール

## 第4章 RF MEMS のプロセス技術

### 4.1 MEMS プロセスの特徴

### 4.2 MEMS プロセス

- 4.2.1 表面マイクロマシニング
- 4.2.2 バルクマイクロマシニング
- 4.2.3 LIGA プロセス
- 4.2.4 UV-LIGA プロセス
- 4.2.5 SOI プロセス
- 4.2.6 ホットエンボス
- 4.2.7 光造形法

### 4.3 MEMS 用プロセス装置

- 4.3.1 超臨界流体洗浄乾燥装置
- 4.3.2 両面マスクアライナ -
- 4.3.3 DRIE 装置
- 4.3.4 陽極接合装置
- 4.3.5 ホットエンボス装置
- 4.3.6 光造形装置

### 4.4 MEMS ファンドリーサービス

- 4.4.1 MEMS ファンドリーサービスの必要性
- 4.4.2 海外の MEMS ファンドリーサービス

- 4.4.3 日本の MEMS ファンドリーサービス
- 4.4.4 MEMS ファンドリーサービスの実際例

## 第 5 章 RF MEMS のデバイス技術

- 5.1 RF MEMS スイッチ
  - 5.1.1 MEMS 静電容量型シャントスイッチ
  - 5.1.2 MEMS 静電容量型シャントスイッチの回路モデル
  - 5.1.3 MEMS 静電容量型シャントスイッチの静電容量
  - 5.1.4 MEMS インライン静電容量型シャントスイッチ
  - 5.1.5 MEMS DC コンタクト型シャントスイッチ
  - 5.1.6 MEMS シリーズスイッチ
  - 5.1.7 MEMS シリーズスイッチの回路モデル
  - 5.1.8 RF MEMS スイッチの開発例
  - 5.1.9 イリノイ大学の DC コンタクト型シャントスイッチ
  - 5.1.10 LG 電子のシャントスイッチ
  - 5.1.11 台湾国立大学のシャントスイッチ
  - 5.1.12 ミシガン大学のシャントスイッチ (低電圧駆動)
  - 5.1.13 ミシガン大学のシャントスイッチ (低背型)
  - 5.1.14 ミシガン大学のシャントスイッチ (DC コンタクト、インライン型)
  - 5.1.15 レイセオンのシャントスイッチ
  - 5.1.16 ダイムラークライスラーのシャントスイッチ
  - 5.1.17 アナログデバイスのシリーズスイッチ
  - 5.1.18 ST マイクロエレクトロニクスのシリーズスイッチ
  - 5.1.19 NEC のシリーズスイッチ
  - 5.1.20 オムロンのシリーズスイッチ
  - 5.1.21 ヒューズのシリーズスイッチ
  - 5.1.22 ミシガン大学のシリーズスイッチ
  - 5.1.23 モトローラのシリーズスイッチ
  - 5.1.24 リンカーン研究所のシリーズスイッチ
  - 5.1.25 ロックウェルのシリーズスイッチ
- 5.2 RF MEMS フェーズシフタ
  - 5.2.1 反射型フェーズシフタ
  - 5.2.2 遅延線スイッチ型フェーズシフタ
  - 5.2.3 RF MEMS フェーズシフタの開発例
  - 5.2.4 レイセオンの反射型フェーズシフタ
  - 5.2.5 ヒューズの反射スタブ型フェーズシフタ
  - 5.2.6 ロックウェルの広帯域遅延線スイッチ型フェーズシフタ
  - 5.2.7 ミシガン大学とロックウェルの遅延線スイッチ型フェーズシフタ
  - 5.2.8 レイセオンの遅延線スイッチ型フェーズシフタ
- 5.3 RF MEMS バラクタ

- 5.3.1 平行平板型 RF MEMS バラクタ
- 5.3.2 UC バークレーの平行平板型 RF MEMS バラクタ
- 5.3.3 コロンビア大学の平行平板型 RF MEMS バラクタ
- 5.3.4 ミシガン大学の平行平板型 RF MEMS バラクタ
- 5.3.5 MIT の平行平板型 RF MEMS バラクタ
- 5.3.6 ソウル国立大学の平行平板型 RF MEMS バラクタ
- 5.3.7 イリノイ大学の平行平板型 RF MEMS バラクタ
- 5.3.8 ロックウェルの交差指型 RF MEMS バラクタ
- 5.3.9 レイセオンの RF MEMS スイッチトキャパシタ
- 5.4 RF MEMS インダクタ
  - 5.4.1 厚い金属層の RF MEMS インダクタ
  - 5.4.2 基板掘込み技術による RF MEMS インダクタ
  - 5.4.3 セルフアッセンブリ技術による RF MEMS インダクタ
  - 5.4.4 ソレノイド型 RF MEMS インダクタ

## 第 6 章 RF MEMS の応用

- 6.1 可変 RF フロントエンドシステム
  - 6.1.1 可変整合ネットワーク
  - 6.1.2 可変アンテナ
- 6.2 チューナブルフィルタ
  - 6.2.1 レイセオンの VHF/UHF チューナブルフィルタ
  - 6.2.2 ロックウェルの VHF チューナブルフィルタ
  - 6.2.3 レイセオンのハイパワー VHF チューナブルフィルタ
  - 6.2.4 ソウル国立大学のミリ波チューナブルフィルタ
  - 6.2.5 ミシガン大学の連続可変型ミリ波チューナブルフィルタ
  - 6.2.6 ミシガン大学のスイッチ可変型ミリ波チューナブルフィルタ
  - 6.2.7 リモージュ大学のスイッチ可変型ミリ波チューナブルフィルタ

参考文献

索引