

「弾性波デバイス 徹底解説」目次

第1章 圧電基板(固体)を伝わる波

1. バルク波
2. 弾性表面波(Surface Acoustic Wave : SAW)
 - 2.1 圧電基板単板を伝わる弾性表面波
 - 2.1.1 レイリー波、LSAW、LLSAW
 - 2.1.2 BGS 波
 - 2.2 LSAW における漏洩成分の消去
 - 2.2.1 Love 波
 - 2.2.2 他の下地基板と組み合わせることによる漏洩成分の消去
 - 2.3 層状構造
 - 2.3.1 レイリー波とセザワ波、およびその高次モード
 - 2.3.2 境界波
 - 2.3.3 異基板層状構造 SAW (Hetero Acoustic Layer SAW)
3. 板波

第2章 弾性体の基礎

1. 結晶構造
2. 結晶内の面の位置と方向(ミラー定数)
3. 弾性体における応力と歪
 - 3.1 歪と変位
 - 3.2 応力と歪
4. 立方晶系基板における運動方程式
5. 立方晶系基板における[100] (x)方向のバルク波縦波
6. 立方晶系基板におけるバルク波横波
7. 立方晶系基板におけるレイリー波の解析

第3章 圧電方程式を用いた解析

1. 圧電方程式
 - 1.1 圧電方程式と材料定数
 - 1.2 電気機械結合係数
2. バルク波の振動
 - 2.1 薄板の厚み縦振動
 - 2.2 薄板の厚みすべり振動
 - 2.3 メイソンの等価回路
 - 2.3.1 矩形板上の長さ振動
 - 2.3.2 薄板の厚み縦振動
 - 2.4 高次モード(オーバートーン)の励振
3. 圧電基板における SAW の解析(Campbell-Jone の方法)
 - 3.1 圧電基板上の SAW
 - 3.2 2層構造(圧電膜/基板)における SAW
4. 共振子の等価回路
5. オイラー角

第4章 SAW デバイスの基本原理と構造

- 【4.1】 SAW デバイスの種類と構造
1. SAW の基礎
 2. SAW 共振子
 - 2.1 1ポート SAW 共振子
 - 2.2 2ポート SAW 共振子
 3. SAW フィルタ
 - 3.1 トランスバーサル型 SAW フィルタ
 - 3.2 共振子型多重モード SAW フィルタ
 - 3.3 SAW ラダーフィルタ

【4.2】 SAW センサ

1. はじめに
2. SAW センサの基本構造
3. SAW センサの分類
4. SAW センサの特徴と相対測定の必要性
5. SAW センサの測定系
6. SAW センサの測定原理
7. SAW センサの測定例
 - 7.1 温度の影響の低減
 - 7.2 SAW バイオセンサの例～阻害反応を利用した残留農薬測定～
 - 7.3 SAW を用いた液体の連続測定
 - 7.4 インピーダンス負荷 SAW センサ
8. あとがき

【4.3】 SAW アクチュエータ

1. はじめに
2. モータの構成と摩擦駆動
 - 2.1 モータの構成
 - 2.2 スライダ
 - 2.3 摩擦駆動
3. 波動の駆動方法と弾性表面波素子
 - 3.1 電極の基本構成
 - 3.2 受波電極での整合負荷条件
 - 3.3 励振波動
4. 出力特性
 - 4.1 モータの無負荷速度応答
 - 4.2 モータの推力
 - 4.3 予圧変化による応答の変化
5. 摩擦駆動モデルとシミュレーション
6. その他の試作例
 - 6.1 エネルギー環流駆動
 - 6.2 高周波化
 - 6.3 平面2軸モータ
7. まとめ

【4.4】 弾性波材料

第5章 SAW デバイス作製プロセス

1. エッチング方法による電極作製プロセス
2. リフトオフによる電極形成
3. 後(加工工程)工程

第6章 SAW の特性向上

【6.1】 SAW 特性に必要とされる特性

【6.2】 Q特性の向上

1. 漏洩成分の削除
2. 低抵抗 Al 電極
3. IDT 形状
4. Hetero Acoustic Layer (HAL) SAW
5. SAW の電極設計

【6.3】 温度特性の改善された SAW デバイス

【6.4】 LSAW 共振子からの弾性波漏洩(要約)

【6.4】 Acoustic leakages from LSAW resonators

1. Analysis of LSAW side radiation
2. Suppression of LSAW side radiation by narrow finger electrodes
3. Suppression of LSAW side radiation by thick busbars
4. Analysis of Rayleigh wave radiation

【6.5】 デュプレクサにおけるアイソレーション(要約)

【6.5】 Enhancement of isolation in acoustic duplexers

1. Importance of isolation in acoustic duplexers
2. Duplexer isolation
3. Enhancement of duplexer isolation
 - 3.1 Example.1
 - 3.2 Example.2

【6.6】 耐電力特性

1. 合金Al 電極
2. 積層電極
3. エピタキシャルAl 電極

【6.7】 横モードの抑制(要約)

【6.7】 Suppression of transverse modes

1. Apodization
2. Piston mode
3. Vertical slowness curve

【6.8】 フィルタカットオフの急峻化(要約)

【6.8】 Steep cut-off filters

1. Coupling reduction for ladder filters
2. Reactance effect for DMS filters

第7章 注目されるSAW技術

【7.1】 異基板層状構造(Hetero Acoustic Layer)SAW デバイス

1. ZnO 膜/基板
2. SiO₂ 膜/電極/圧電基板
3. LT, LN 薄板と線膨張係数の小さな基板との組み合わせ
 - 3.1 LT 薄板/サファイア
 - 3.2 LT 薄板/Si 基板
 - 3.3 LT, LN/スピネル基板
 - 3.4 LT, LN/ガラス基板
4. LT/SiO₂/Si 基板
5. LT, LN/水晶構造
6. MEMS 構造(空洞型)板波デバイス
 - 6.1 高音速板波
 - 6.2 広帯域板波

【7.2】 音響多層膜 SAW

1. X LN 薄板と音響多層膜を組み合わせた LLSAW 共振子
2. 25~30° YX-LN 薄板と音響多層膜を組み合わせた広帯域 SAW デバイス

【7.3】 高音速・高周波数化

1. はじめに
2. 高音速 LLSAW を用いた高周波化
3. 高次モード SAW
4. ハーモニック SAW
 - 4.1 IDT の MR を 0.8 にしたハーモニック SAW
 - 4.2 基板中に IDT 電極を埋め込んだ構造
5. 高音速板波

- 5.1 LN 薄板
- 5.2 LT 薄板
- 5.3 AlN 薄膜
6. むすび

【7.4】 圧電単結晶基板(ウエハ)の製造技術

1. はじめに
2. 圧電単結晶ウエハの製造工程
3. 精密研削加工技術

第8章 SAW デバイスの設計

【8.1】 FEM のよる SAW の解析

1. 有限要素法(Finite Element Method)の概略
 - 1.1 無限領域の扱い
 - 1.2 Perfectly matched layer
2. Finite element method の SAW への応用
 - 2.1 変分原理
 - 2.2 不連続領域 Ω_2 の離散化
 - 2.3 半無限基板領域 Ω_1 の離散化
 - 2.4 半無限真空領域 Ω_3 の離散化
 - 2.5 有限要素モデルの行列方程式
 - 2.6 分散曲線の算出
 - 2.7 無限長 IDT の周波数特性
3. モード結合理論
 - 3.1 弾性表面波
 - 3.1.1 結合係数と変換係数の決定
 - 3.2 漏洩弾性表面波
 - 3.3 デバイス特性の計算
4. 等価回路
 - 4.1 短絡グレーティングの等価回路を用いた r と b_s の決定
 - 4.2 開放グレーティングの等価回路を用いた変成比の決定
 - 4.3 アドミタンス行列を用いるデバイス特性計算
 - 4.3.1 アドミタンス行列
 - 4.3.2 アドミタンス行列の数値計算上の注意
 - 4.3.3 IDT, 一端子対共振器の入力アドミタンス
 - 4.3.4 二端子対デバイスのアドミタンス行列と挿入損失

【8.2】 トランスバーサルフィルタ

1. SAW トランスバーサルフィルタの基本原理解
2. IDT の構造と重み付け方法
3. IDT の電気的特性と外部回路の影響
4. その他のスプリアス
5. 一方向性 IDT
6. 周波数特性の解析方法
 - 6.1 デルタ関数モデル
 - 6.2 等価回路モデル
 - 6.3 P マトリクスモデル
 - 6.4 モード結合理論による解析
7. トランスバーサルフィルタの設計法
 - 7.1 窓関数法
 - 7.2 ビルディングブロック法
 - 7.3 レメッツ交換法
 - 7.4 線形計画法および非線形計画法
 - 7.5 確率論的アルゴリズム
 - 7.6 TV 用 VIF フィルタの設計
8. トランスバーサルフィルタの応用例

【8.3】 共振子型多重モード SAW フィルタ

1. SAW 共振子と共振モード
 - 1.1 SAW 共振子の基本構成
 - 1.2 グレーディング反射器と1ポート共振子の等価回路
 - 1.3 縦モード共振
 - 1.4 横モード共振
2. 共振子型多重モード SAW フィルタの原理
 - 2.1 共振子型 SAW フィルタと共振モードの結合
 - 2.2 共振子型多重モード SAW フィルタの実現方法
 - 2.3 共振子型多重モード SAW フィルタの等価回路
 - 2.4 フィルタの縦続接続
3. 縦結合多重モード SAW フィルタの設計
 - 3.1 IDT の反射の影響
 - 3.2 2-IDT 構成の設計
 - 3.3 3-IDT 構成の設計
 - 3.4 5-IDT 構成の設計
 - 3.5 エネルギー蓄積効果と QARP 構造
 - 3.6 分散ギャップ構造
 - 3.7 ピッチ変調構造
 - 3.8 電氣的結合による広帯域化
 - 3.9 減衰特性の改善とスプリアス抑圧
4. 横結合多重モード SAW フィルタの設計
 - 4.1 導波路モードの周波数とフィルタ特性解析
 - 4.2 広帯域化
 - 4.2.1 高次横モードを用いる方法
 - 4.2.2 横モードと縦モードを組み合わせる方法
 - 4.2.3 結合ギャップの SAW 音速を IDT 部の音速に近づける方法
5. SH 波を用いた多重モードフィルタの小型化
 - 5.1 端面反射型 SAW 多重モードフィルタ
 - 5.1.1 端面反射型縦結合多重モード SAW フィルタ
 - 5.1.2 端面反射型横結合多重モード SAW フィルタ
 - 5.2 重い金属を用いた電極による SH 波多重モードフィルタ

【8.4】 ラダー型 SAW フィルタ

1. 1ポート SAW 共振子
2. ラダー型 SAW フィルタの構成
3. ラダー型 SAW フィルタの動作原理
4. ラダー型 SAW フィルタの設計方法と特性向上
 - 4.1 インピーダンス整合
 - 4.2 帯域外抑圧度
 - 4.3 広帯域化
 - 4.4 最適化手法によるフィルタの設計方法
 - 4.5 実用化例
 - 4.6 高周波化
 - 4.7 共振子型多重モードフィルタ (DMS 型フィルタ) との比較および特徴
5. ラダー型 SAW フィルタを用いたアンテナデュプレクサの設計
 - 5.1 アンテナデュプレクサとは
 - 5.2 アンテナデュプレクサの設計方法と特性
6. ラダー型 SAW フィルタのさらなる改善について —特に横モードスプリアス解析について—
 - 6.1 COMSOL PDE による 2 次元 COM の解析
 - 6.2 スカラーポテンシャル法による解析

第9章 BAW デバイス

【9.1】 基本原理と特性

1. 構造と動作原理
2. 材料と構成

3. 基本性能
 - 3.1 フィルタ設計手法, SAW との比較
 - 3.2 BAW 共振器を使用したラダー型フィルタの基本動作
 - 3.3 BAW フィルタ特性

【9.2】 製作プロセス・成膜技術

【9.3】 フィルタ・マルチプレクサの設計

1. ラダーフィルタの設計
2. デュプレクサ・マルチプレクサ

【9.4】 性能改善技術

1. 温度特性の改善
 - 1.1 基板の放熱について
 - 1.2 TCF の改善手法
2. ドーピングによる結合係数の改善
3. 単結晶薄膜の利用
 - 3.1 LN を使用した FBAR
 - 3.2 LT を使用した SMR 型 BAW
4. Q 値の改善

【9.5】 弾性波のエネルギー閉じ込め

1. 分散特性
 - 1.1 支配方程式
 - 1.2 材料定数
 - 1.3 境界条件
 - 1.4 振動解の仮定
2. エネルギー閉じ込め理論
3. スプリアスの抑制とピストンモード
4. 分散特性のデザイン

【9.6】 耐電力および非線形特性

【9.7】 実装とパッケージ

1. ウエハレベルパッケージ (WLP)
2. 境界波
3. Active 素子との集積化

【9.8】 今後の開発動向

1. 高周波領域への展開
2. 発振器への応用
3. BAW センサー

第10章 5G/ポスト5Gに向けたデジタルRF技術とマイクロ波/ミリ波フィルタへの期待

第11章 SAW デバイス実用化例

1. まえがき
2. 圧電セラミックを用いた TV 用 SAW フィルタの実用化
3. ZnO/ガラス構造 TV 用フィルタ
 - 3.1 ガラスの割れや反り
 - 3.2 ワックスぬけ不良
 - 3.3 吸音剤の改善
 - 3.4 部分的に段差を持つ金属マスクの考案
 - 3.5 ターゲット研磨
 - 3.6 ガラス基板に起因した周波数ばらつき
 - 3.7 有機高分子樹脂による周波数調整方法の開発
 - 3.8 ZnO 膜表面研磨による特性ばらつきの低減
 - 3.9 ZnO 膜クラック