

回路設計の観点からのMEMS研究への取り組み

小林 春夫 光野正志 木村圭吾 田浦哲也 鈴木孝秀

群馬大学 電気電子工学科 小林研究室

1. 小林研究室の紹介

- アナログを中心にアナログデジタル混載回路の研究開発が中心
- 理論的なLSI設計基礎研究から実践的な試作まで幅広い研究
- 学会・論文発表だけではなく特許出願も行う

この3年間で 特許出願9件、国際学会発表13件、論文発表9件、IPアワード受賞

2. 研究背景・目的



- ◆ 近未来の携帯通信機器のキーコンポーネント 可変インダクタ
- ◆ 携帯機器用インダクタ 全体×1% 将来:年間8千万個の市場

携帯機器用インダクタの市場動向
1998年 27億3800万個
2002年 57億3300万個
[年平均成長率:20.3%]

既存のシリコン集積回路では出来ない
高機能・高性能アナログ回路の実現

MEMS技術を用いて
可変インダクタを作成する

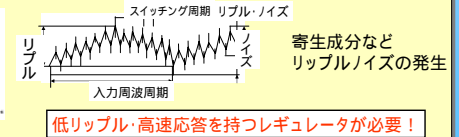
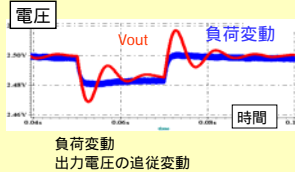
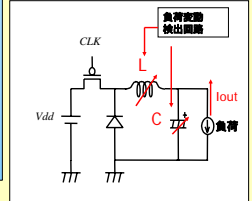
- ・マイクロプロセッサの性能向上
- ・電源回路への要求
 - 負荷電流大 低リップルの要求
 - 負荷電流変動大 高速応答の要求

低リップル(安定)と高速応答 相反する技術課題
両方を同時に改善する方式を開発

インダクタンス可変

インダクタ	リップル	応答
大	小	遅い
小	大	速い

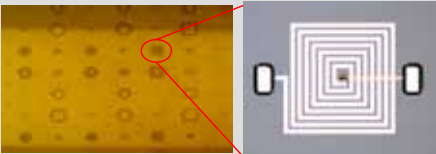
キャパシタンス可変
負荷での電圧ドロップ低減&効率のアップ
電源の誤作動防止
[電荷放電時:出力電圧減少が避けられる]



低リップル・高速応答を持つレギュレータが必要!

3. スパイラルインダクタの設計・試作

MEMSファナダリにより、設計したMEMSの作成が可能

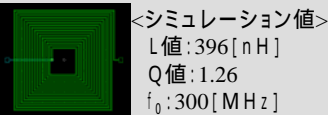


- ・パッドの両端引出し
- ・パッド面積を約1/18
- ・配線間絶縁層を厚く
- ・低誘電率絶縁材料
- ・ガラス基板を用いる
- ・メタル配線の低抵抗化
- ・内径サイズを大きくとる
- ・線幅、線間幅の最適化
- ・巻数の最適化
- ・レイアウト形状

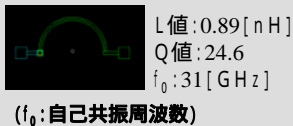
測定 目標性能値との比較

ファナダリ:富士電機システムズ

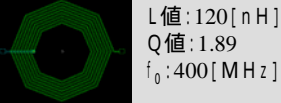
L値重視の設計



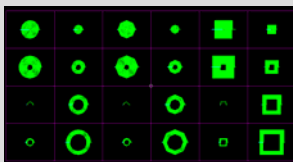
Q値重視の設計



L値、Q値のバランス設計



その他、21パターンを試作
実測値により特性を確認する



シミュレーター:

CoventorWare2005,S-NAP/Field

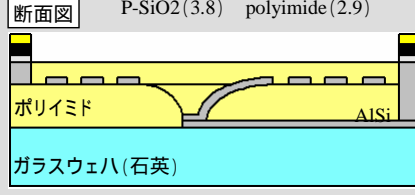
表. 各層の材料と厚さ

層番号	名前	材料	厚さ(μm)
0	ガラスウェハ	石英	500
1	配線層1	AlSi	2&0.5&0.1
2	絶縁層	polyimide	10
3	配線層2	AlSi	2&0.5&0.1
4	保護層	polyimide	2
5	電極1	Al	1
6	電極2	Ni	1
7	電極3	Au	0.1

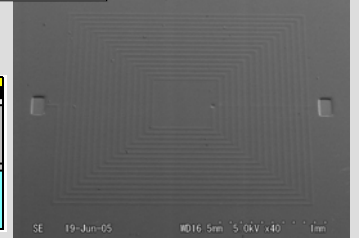
図. 層の構成順

7	電極3(Au)
6	電極2(Ni)
5	電極1(Al)
4	保護膜(polyimide)
3	配線層2(AlSi)
2	絶縁層(polyimide)
1	配線層1(AlSi)
0	ガラスウェハ(石英)

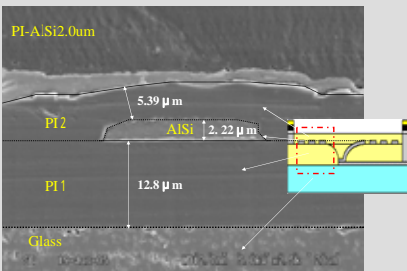
誘電率
P-SiO2(3.8) polyimide(2.9)



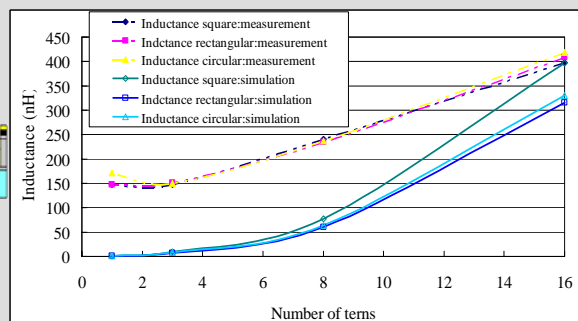
SEM写真



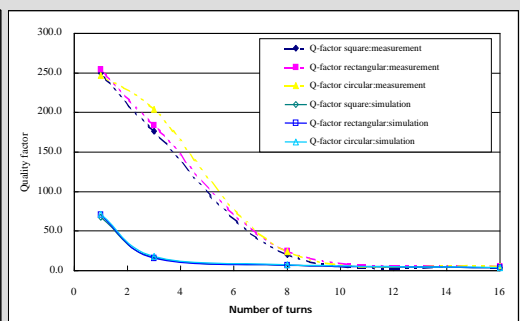
SEM写真:断面図2000倍



Simulation, Measurement results
- Inductance, # of turns, shape -

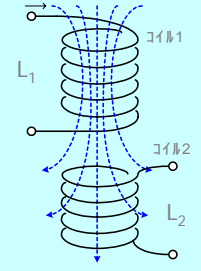


Simulation, Measurement results
- Q, # of turns, shape -



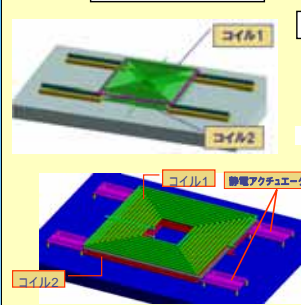
4. 可変インダクタの設計

<相互インダクタンスの可変原理>



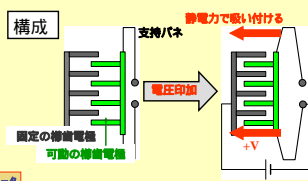
アクチュエータによって
2つのコイル間の距離を変化
↓
相互インダクタンス値を可変

<構成> CoventorWare

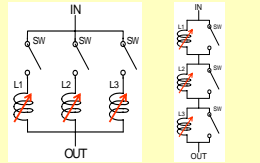


スイッチと
提案可変インダクタ
連続的に値を制御

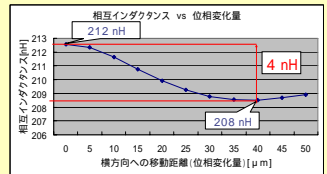
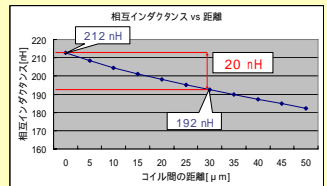
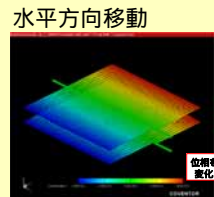
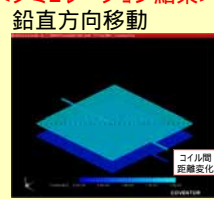
<櫛歯型静電アクチュエータ>



<スイッチによる大きな値の制御>



<シミュレーション結果> <相互インダクタンスの変化量>



5. 適用例

スイッチング電源の高性能化

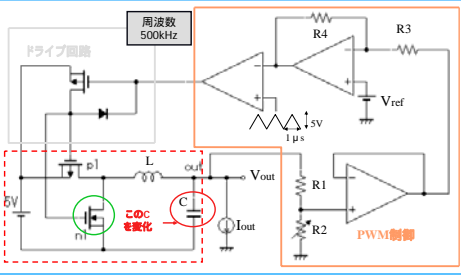
負荷電流変動 大 Lを小さく 高速応答
負荷電流変動 小 Lを大きく 低リップル
MEMS技術を用いた可変インダクタを利用
可変インダクタを電源回路に適用!

負荷変動に応じて、
物理的にインダクタンスを可変する

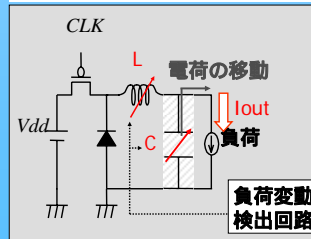
インダクタンス可変率: 10%

▶ 新たな課題:
負荷電流変動時に
Lを小さくすると
高速応答であるが
このときリップル大。

解決手段
・負荷電流変動時に容量を可変にすることで負荷
への電荷の供給、吸収を行い、出力への影響を小
さくする。(可変容量の利用)
MEMS技術を用いた可変容量の実現

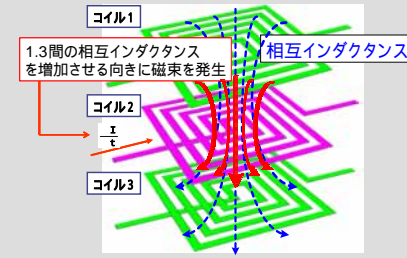


<提案する可変容量の原理>



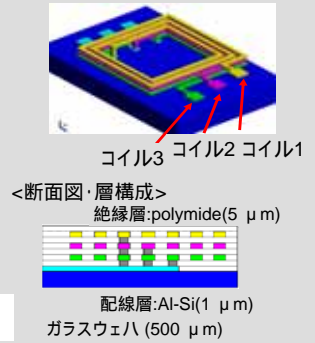
<3重コイル型可変相互インダクタンス>

<コイル1、3間での相互インダクタンスを可変する>



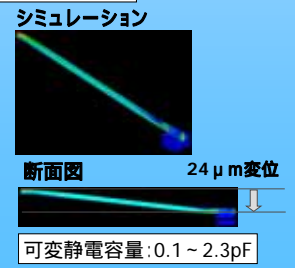
真ん中のインダクタの電流制御によって、上下間の相互
インダクタンス(貫く磁束の数)を変化させる

<提案・設計した可変インダクタ>



基板間距離dをMEMS技術で可変にし、容量を変化させる 負荷変動による出力電圧のリップルを低減

負荷電流 I_{out} 急激に増大
Cを小さく 負荷へ電荷を供給
負荷電流 I_{out} 急激に減少
Cを大きく 負荷からの電荷を吸収
容量を可変
負荷での電圧ドロップ低減&効率のアップ
電源の誤動作防止
[電荷放電時: 出力電圧減少が避けられる]



6. アナログ回路の重要性

なぜ回路・システム設計技術が

プロセス、デバイス技術

技術者・研究者の能力のみならず、莫大な設備投資が必要
コスト競争、装置産業の側面あり。
台湾、韓国、中国に移りつつある。

回路・システム設計技術

技術者・研究者の能力のみで勝負できる。
現在の日本のエレクトロニクス産業界の要請が強い
「高い教育レベルが日本の発展の原動力」

デジタルはメインの技術

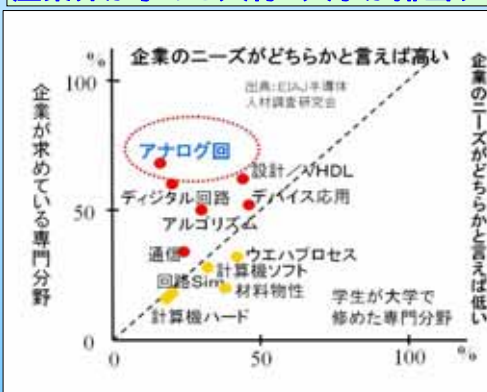
アナログはキーの技術

製品を差別化するのはアナログ技術

携帯電話の電波の送信・受信部
デジタルのマイクロ・プロセッサの
クロック周波数がGHz オーダー

動作させるためにはアナログ技術が必須

産業界が求める人材と大学が排出する人材の乖離



<現在行っている研究>

- 逐次比較形ADCの研究
車載応用、高信頼性
- AD変調器の研究
通信応用、高周波・広帯域化
- デジタル電源の研究
PWM回路方式、制御方式
- HDDモーター制御回路
変調方式によりデジタルリッチ化
低コスト・高精度
- MEMS技術を用いたアナログ回路の研究
- 高精度測定用回路の研究
- 非同期サンプリング信号処理技術の研究

<これまでの産学協同研究先>

- 三洋電機(株)
- (株)ルネサステクノロジ
- アジレント・テクノロジー(株)
- 半導体理工学研究所(STARC)
- 東京測器研究所
- アナログチップデザイン
- シャープ(株)
- 東芝LSIシステムサポート(株)
- 群馬県産業技術センター

関連NPO、企業OBとの連携

日立製作所アナログ技術者のOBが中心となり
NPOを設立(アナログ技術ネットワーク)
アナログ技術の教育・伝承、コンサルティング等为目标
連携して活動を行っている。
三洋電機OB
非常勤講師、講演会講師等で群馬大の研究教育支援

・小林研究室 <http://www.el.gunma-u.ac.jp/~kobaweb/>

・群馬アナログ立国<アナログ集積回路研究会> <http://www.el.gunma-u.ac.jp/analog/>

趣旨: 群馬アナログ立国の趣旨の基づき、群馬大学にアナログ集積回路の教育研究拠点を構築することを目的として、特に研究を実質的に担う若手研究者(教官、大学院生)の教育、研究の場を作る。