

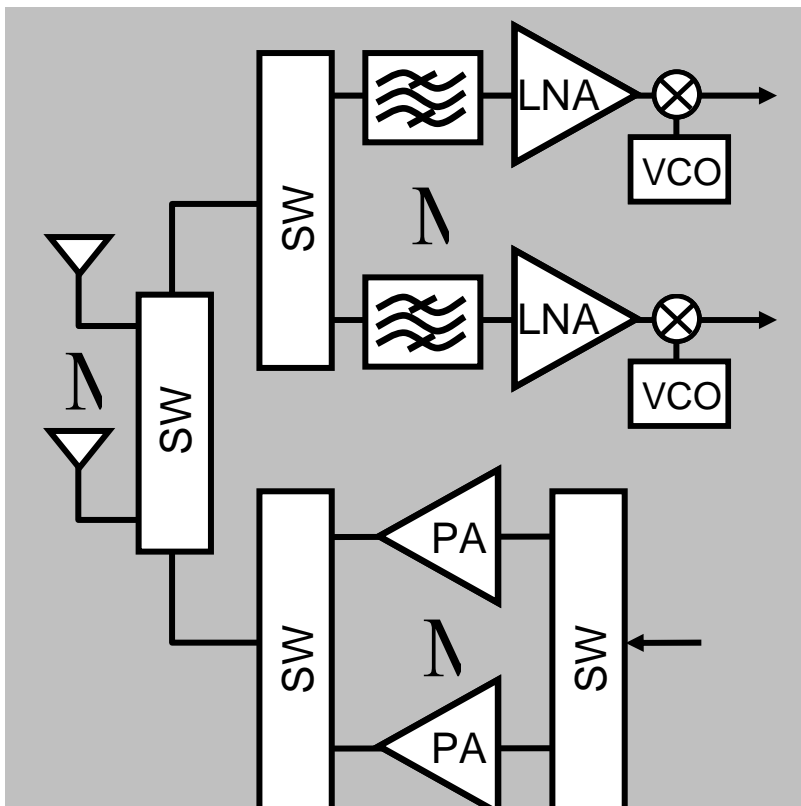
インテリジェントバイポーラ駆動(IBA) を用いたRF-MEMS可変容量

株式会社東芝 セミコンダクター社
半導体研究開発センター

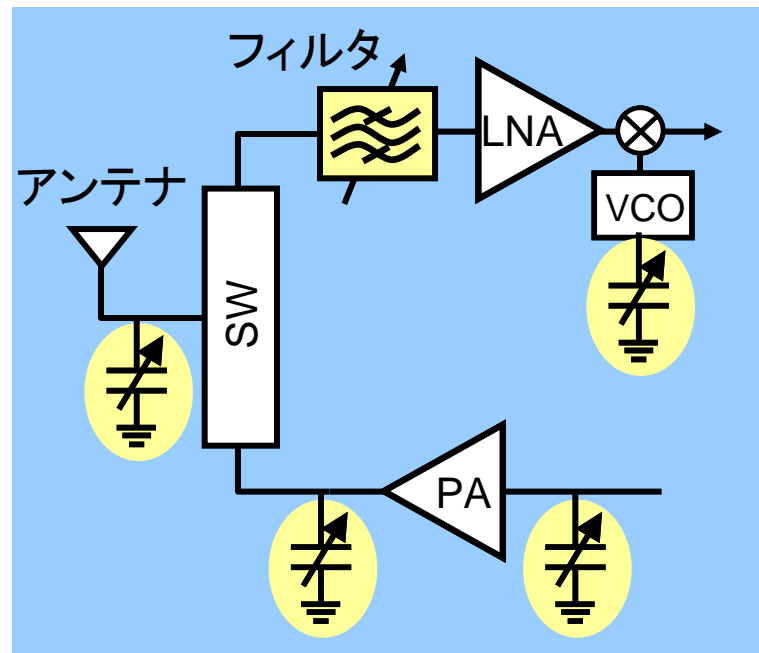
IBA: Intelligent Bipolar Actuation
RF-MEMS: Radio Frequency-Micro Electro Mechanical Systems

RF-MEMS可変容量の適用分野

無線システム (MEMSなし)



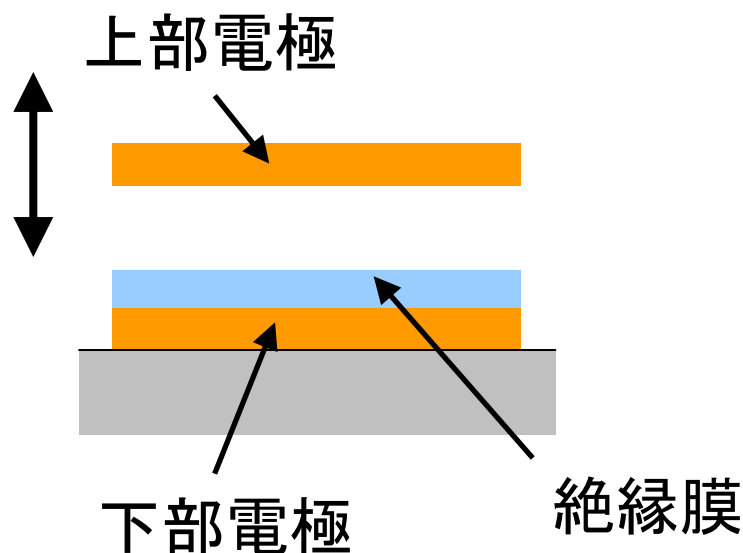
無線システム (MEMSあり)



: RF-MEMS可変容量が使える部分

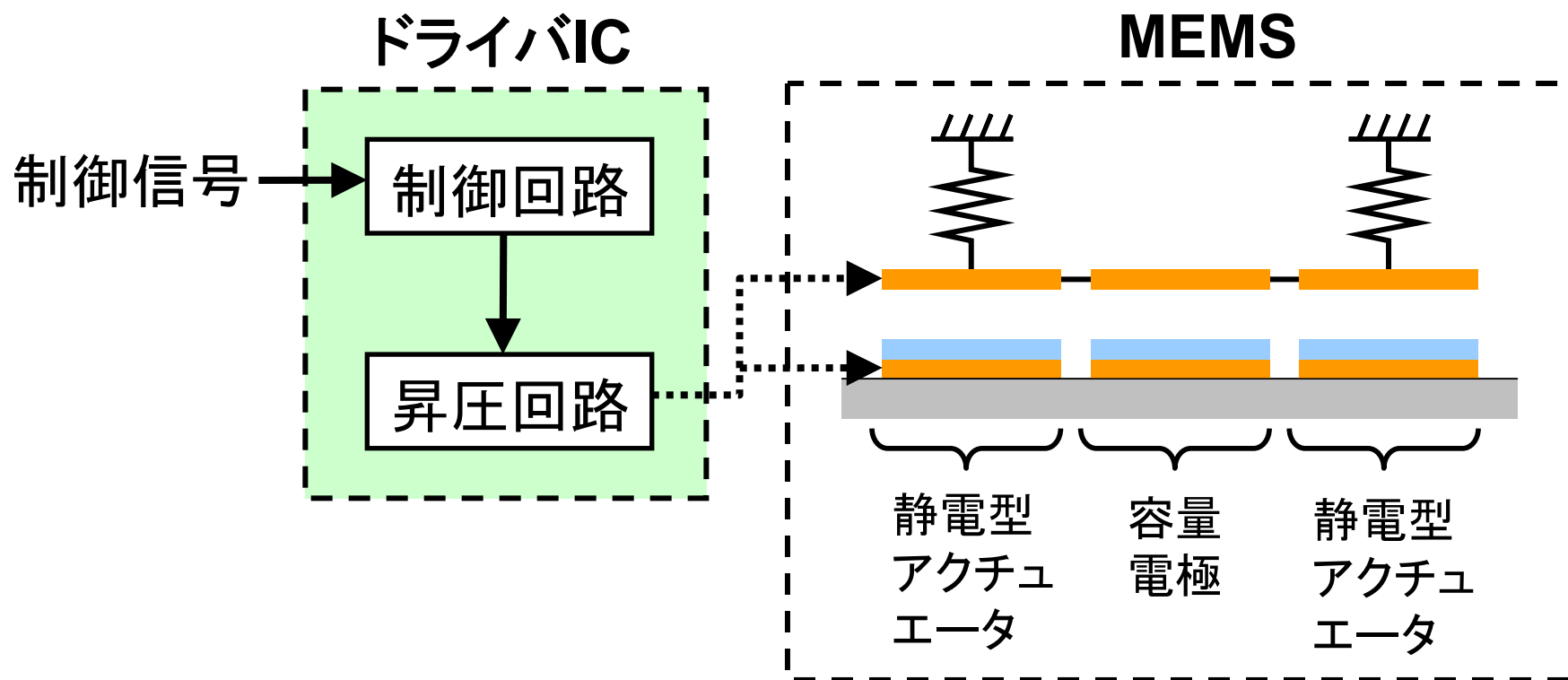
- 近年、マルチバンド化に伴い携帯端末の無線システムは複雑化
- RF-MEMS可変容量を用いたチューナブル整合素子の導入により、部品数の削減とシステムのスリム化が可能になる

RF-MEMS可変容量の特徴



- 低抵抗のメタル電極が動く構造
→ 低ロス(高Q値)
- アクチュエータにより数 μm の変位が実現可能
→ 高可変比
- 機械的共振周波数～数10kHz(高周波に追従せず)
→ 低歪み(線形性がよい)

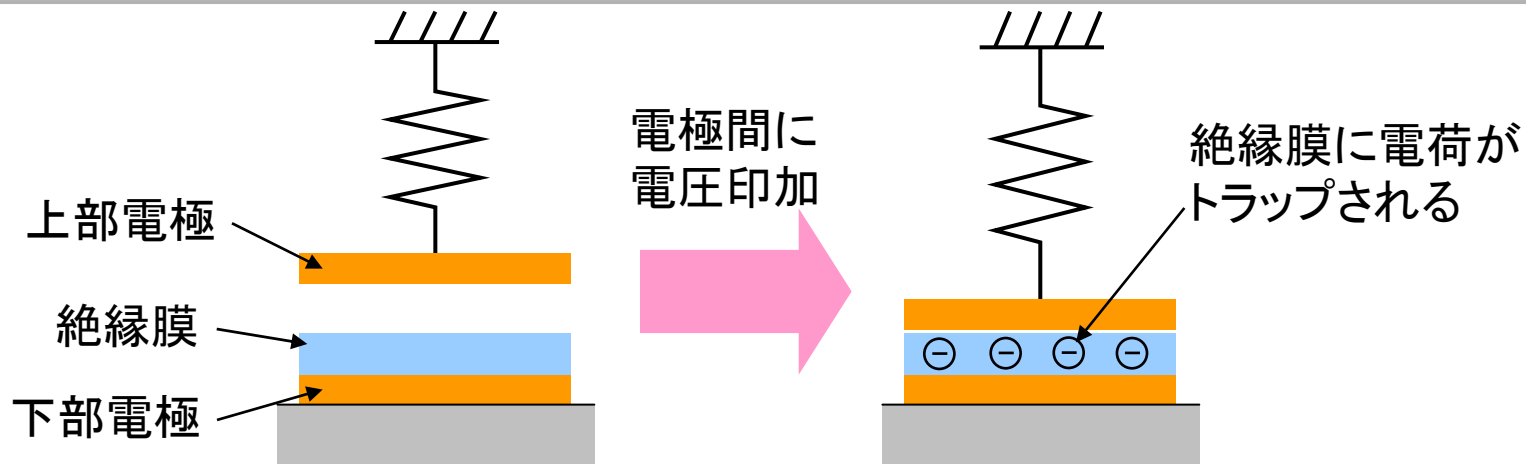
可変容量モジュールの構成



低コストモジュールの設計コンセプト:

- シンプルなMEMS構造 → 静電型アクチュエータの採用
- 「インテリジェント」なドライバIC

チャージング現象とは

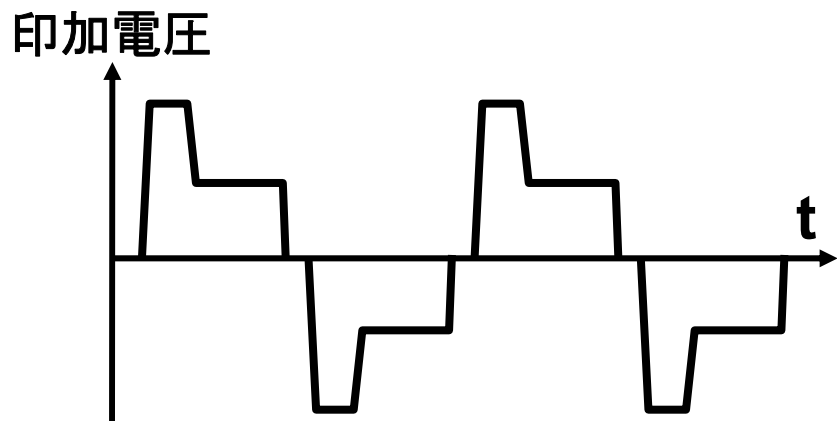


静電アクチュエータの動作とチャージング

- 静電アクチュエータの駆動を繰り返すと、絶縁膜中に徐々に電荷が蓄積される。
- 蓄積電荷量があるレベル以上になると、上部電極が離れなくなる「スティクション不良」が起こる。

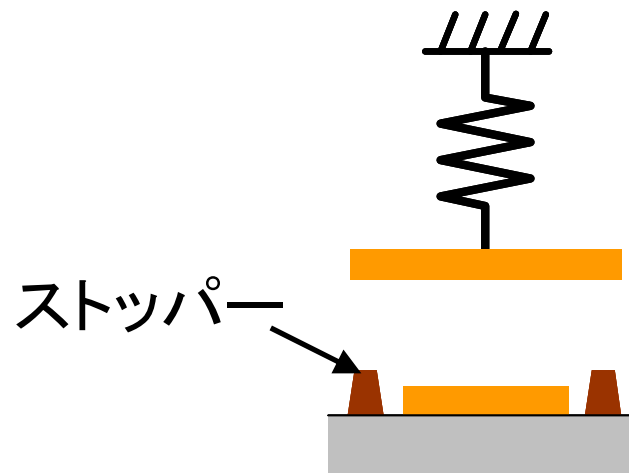
従来のチャージング回避方法

バイポーラ駆動



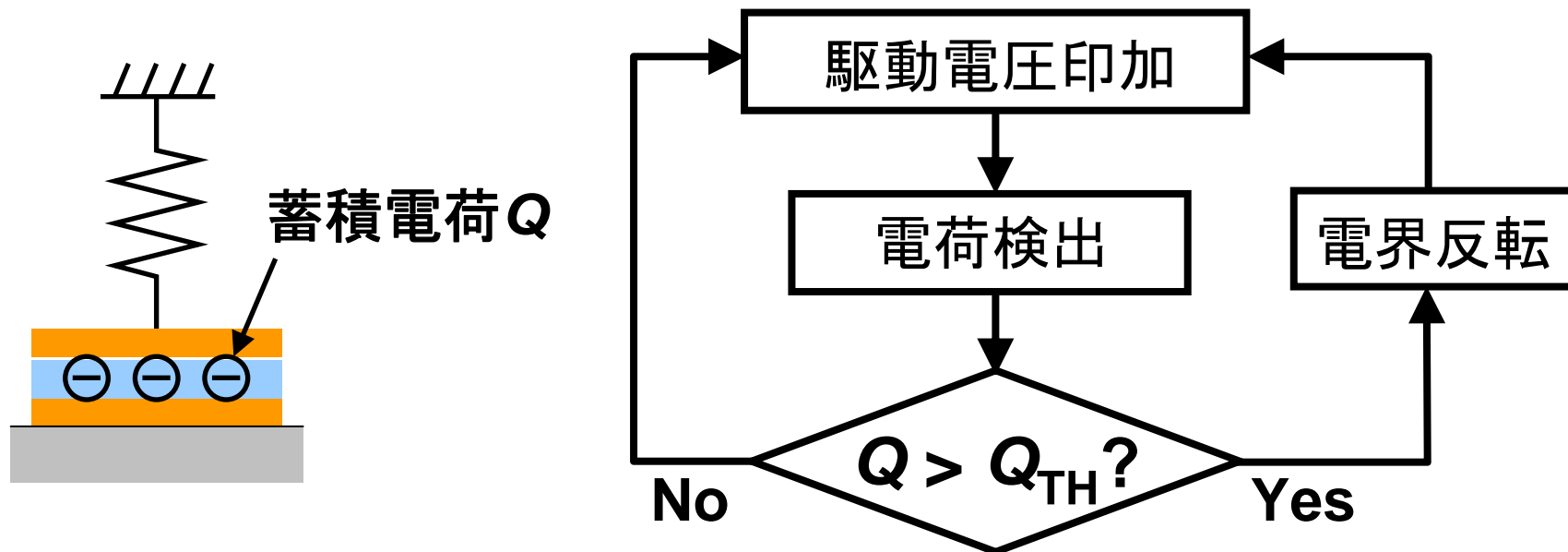
- 電界の向きを毎回反転させる
 - 電荷の注入レートは電界の向きに依存
- チャージングを完全に回避できない

絶縁膜のない構造



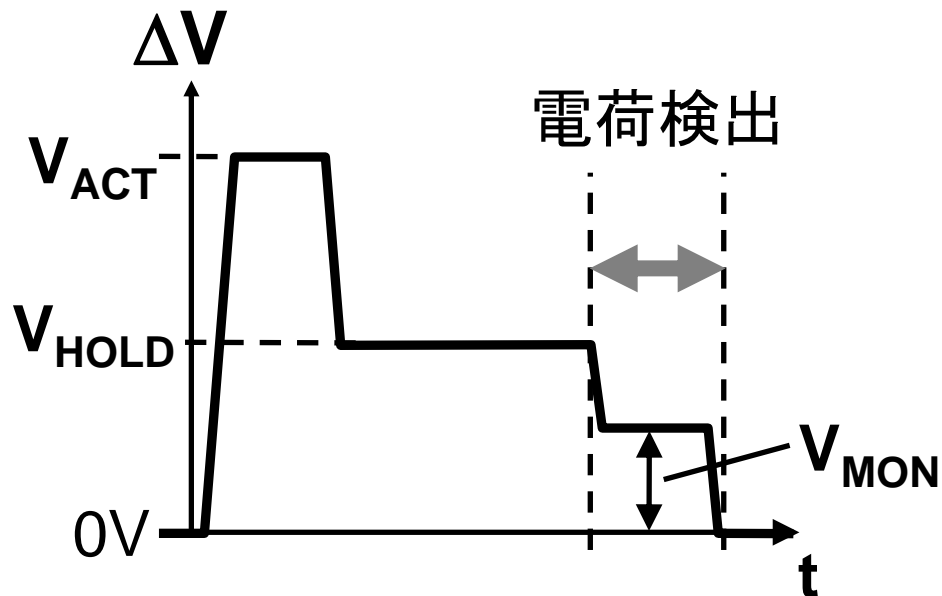
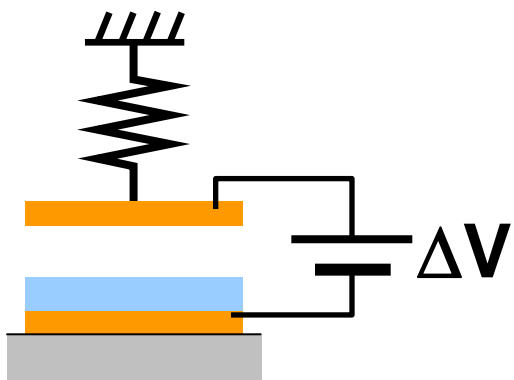
- チャージングはない
 - 高いホールド電圧が必要
- 消費電力が大きい
- 大きな容量比が実現できない

IBAのコンセプト



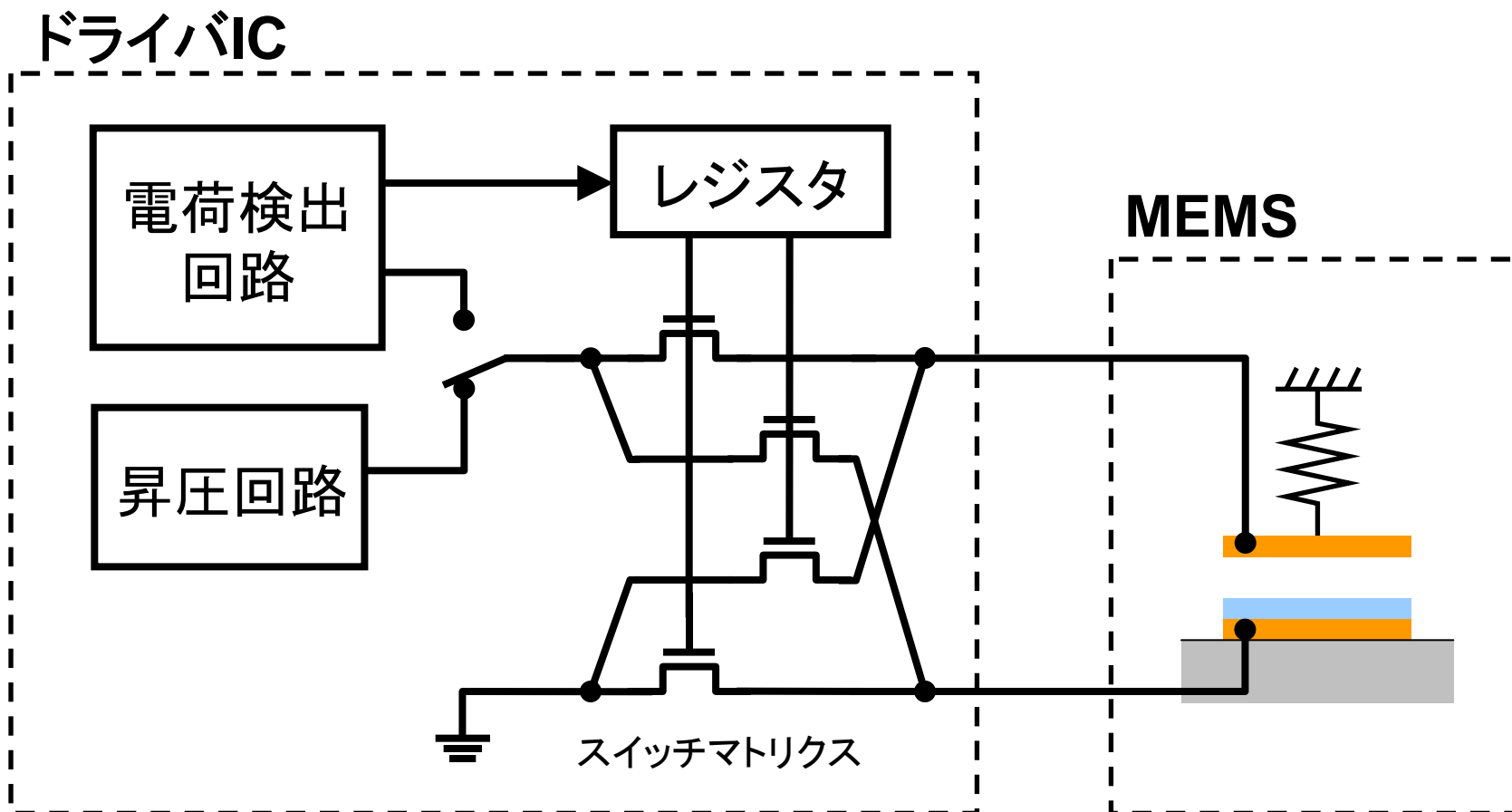
- 絶縁膜中の蓄積電荷を回路的に検出する
- 蓄積電荷量に応じて、次回駆動時の電界の向きを決定する

電荷検出の方法



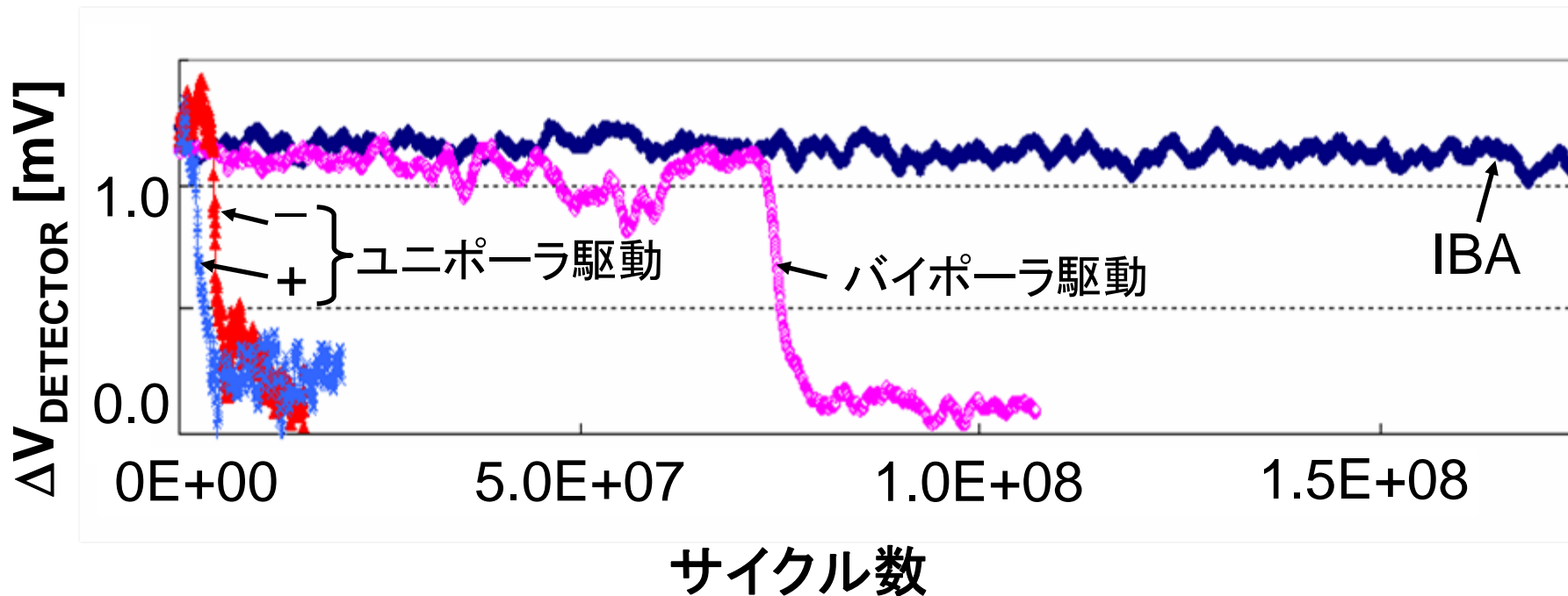
- 電荷量は、印加電圧 ΔV を中間電圧 V_{MON} に落としたときに、上部電極が離れるか否かから見積もる。
- 上部電極が離れるかどうかは、上部電極・下部電極間の容量値から判定する。

駆動電圧生成回路



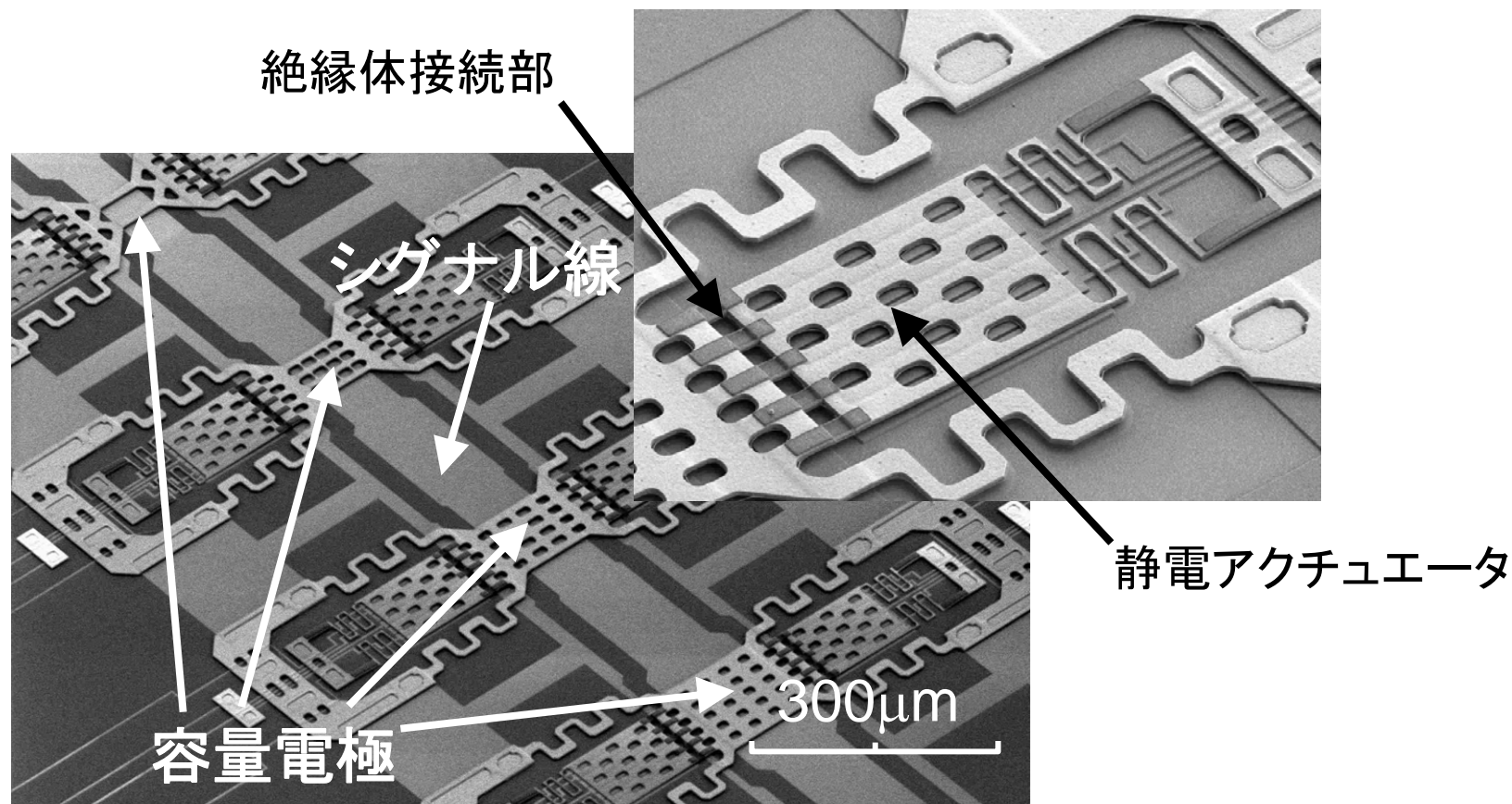
- 検出結果はレジスタを介して電界の向きに反映される。
- 正の高電圧のみで上向き・下向きの電界を生成できる。

85°Cにおけるサイクル試験結果



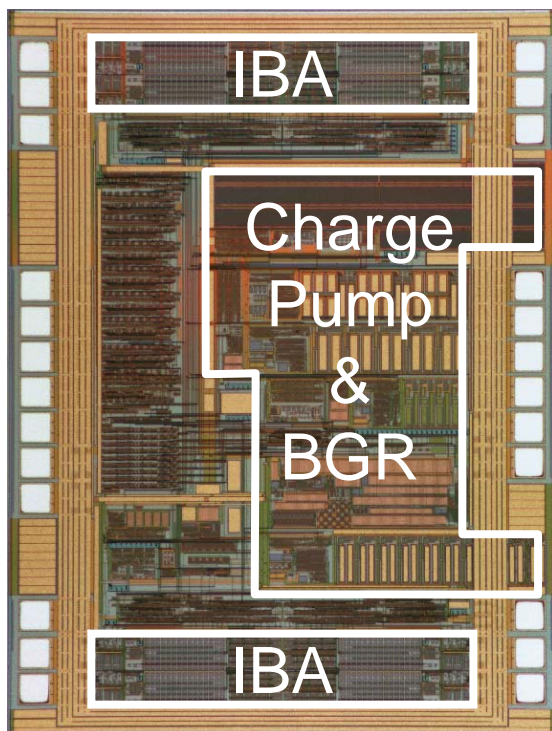
- ユニポーラ駆動およびバイポーラ駆動はチャージングを抑制できないため、スティクション不良を起こす
- IBAを採用すると、チャージングによるスティクション不良をなくすことができる。

MEMS可変容量の構造



- 4つのデジタル可変容量素子で16通りの容量値を実現
- 容量素子のQ値=50@3GHz
- In-Line-WLPで可動部を密封封止

ドライバIC



2.00mm x 2.64mm

- テクノロジー: 0.35 μ m CMOS with HV-NMOS
- 供給電圧: 2.7~3.3V
- 出力電圧: $V_{ACT}=12V$, $V_{HOLD}=7V$, $V_{MON}=3.5V$
- 消費電流: $I_{ACT}=9mA$, $I_{HOLD}=18\mu A@3V$

まとめ

1. IBAは、絶縁膜中の電荷量を回路的に検出し制限するチャージング抑制方法。
→ 特殊なMEMSプロセスが不要なため、低コスト化が可能。
2. 今回、IBAアルゴリズムを実装したドライバIC及びRF-MEMS可変容量を試作
3. 85°Cのチャージング加速条件でも1億回を超えるスイッチングが可能であることを実証