

微小物体可視化センサLSIの設計

著者	Nakae Satoshi, Kitagawa Akio, Akita Junichi
雑誌名	映像情報メディア学会技術報告
巻	29
号	34
ページ	13-16
発行年	2005-06-23
URL	http://hdl.handle.net/2297/3535

微小物体可視化センサ LSI の設計

中江 智[†] 北川 章夫[‡] 秋田 純一[‡]

[†] 金沢大学 〒920-1192 石川県金沢市角間町

E-mail: [†] nakae@merl.ec.t.kanazawa-u.ac.jp, [‡] {kitagawa, akita}@is.t.kanazawa-u.ac.jp

あらまし センサ LSI 上に物体を乗せることにより拡大画像を得る微小物体可視化センサ LSI の設計を行う。可視化センサのチップ上部にセンサプレート格子を配置し、物体との距離を測るのにセンサプレート-物体間で生まれる容量を用いて各センサプレート上の物体との距離を測定する。得られた容量は発振器の発振周波数に変換され、距離情報として出力される。この原理に基づくセンサ LSI の回路構成を検討し、発振器の配置によって検出精度が変わること、および得られた容量により発振周波数が変化することを確認し、微小物体可視化センサ LSI とテスト回路の設計を行った。

キーワード 微小物体可視化センサ 発振器 センサプレート

The design of the Microscopic Object Visualization Sensor LSI

Satoshi NAKAE[†] Akio KITAGAWA[‡] and Junichi AKITA[‡]

[†] Kanazawa University Kakuma-machi Kanazawa-shi Ishikawa 920-1192

E-mail: [†] nakae@merl.ec.t.kanazawa-u.ac.jp, [‡] {kitagawa, akita}@is.t.kanazawa-u.ac.jp

Abstract This paper describes the design of the microscopic object visualization sensor LSI. Electrodes as sensor plates are placed on the surface of the chip in lattice, and distance are measured as the capacitance between the sensor plate and the object. The obtained capacitance is converted to the frequency, and is output as distance information for each sensor plate. We discussed the architecture of the sensory system, and we found that the accuracy of measurement is depend on the arrangement of the oscillator, as well as the oscillator frequency is modulated according to the capacitances. We also designed the sensor plate array with oscillator in each sensor plate,

Keyword microscopic object visualization sensor, oscillator, sensor plate

1. まえがき

顕微鏡の中で身近なものに光学顕微鏡が挙げられるが、装置が大掛かりであり、また精密光学系を必要とするためにシステムコストが問題となる場面が多い。本研究では、物体との距離情報に依存する容量情報に基づく、光学系を必要としない微小物体可視化センサ LSI の検討および開発を行う。このような物体との距離に依存する容量情報を距離情報に変換するセンサとしては指紋センサに関する研究がある [1][2] が、これらは距離情報を電圧値や出力するまでの時間として表す点が本研究とは異なる。

2. 微小物体可視化センサの原理

2.1. 動作原理

本研究で設計する微小物体可視化センサはチップ上に対象となる物体を乗せることにより拡大画像を得る。そのため、チップ上にはチップとその上部にある

物体との距離を測るためのセンサプレートが敷き詰められている。本センサの回路の構成を図 1 に示す。図中の四角で囲まれた部分はセンサプレートの下に配置され、センサプレートの数だけ存在する。その他の、

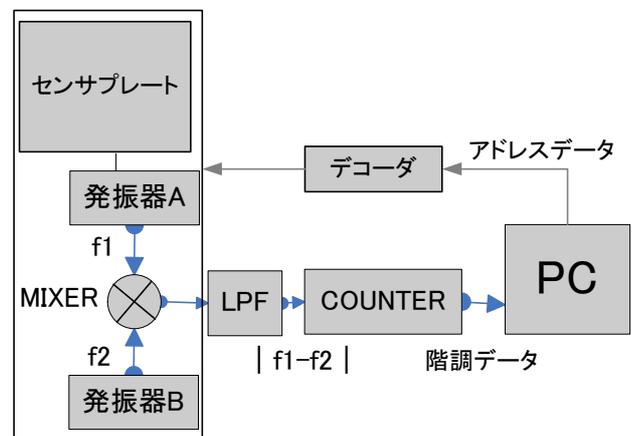


図 1 センサのシステム構成

センサプレート選択用のデコーダ、LPF (Low Pass Filter) およびカウンタは、センサシステム全体で1組のみ配置される。デコーダによってセンサプレートを順次選択し、選択されたセンサプレートの発振信号を取り出してLPFに入力する。物体とセンサプレート間の距離情報は実際にはそれらの間に生まれる容量 C_f として検出される。すなわち検知用発振器 A はセンサプレートで検出された容量により発振周波数 f_1 が変化することになるが、参照用発振器 B は常に一定の参照周波数 f_2 で発振しているため、ミキサによってこれらの周波数の差をとることにより、周波数変化の検出精度を高めることができる。このミキサの出力に対してLPFによって不必要な高調波成分を除去し、カウンタによって周波数 $|f_1 - f_2|$ を測定する。この操作を全セルに対して順次行うことにより、対象物体の拡大画像を得ることができる。

2.2. 発振器

各センサプレートに配置する発振器にはリングオシレータを用いる。リングオシレータはインバータを奇数段並べ、入力と出力をつないだものであり、LC発振器のように大きな面積が必要な構成要素を必要としないため、面積を小さくすることができる。このように各センサプレートに発振器を配置する構成により、発振器の出力が駆動する配線が短くすることができ、検出感度を高めることができる。すなわち、配線の付加容量 C_1 はセンサプレートの検出容量に付加されることになるが、検出用発振器につながる容量 C は $C=C_1+C_f$ で表されるため、発振器につながる容量の変化の割合が C_f だけのときよりも少なくなる。表1にセンサプレートと発振器を4mm離し、配線でつないだ場合(場合1)とセンサプレート下に発振器を置いた場合(場合2)の周波数変化のシミュレーション結果を示す。検出容量0fFはセンサプレート上に物体が乗っていない状態であり、46.5fFはセンサプレート上の物体がもっとも近いときである。

センサ検出容量	発振器の周波数変化		
	0fF	46.5fF	周波数差
場合1	480MHz	476MHz	4MHz
場合2	683MHz	646MHz	37MHz

表1 発振器を置く位置による周波数変化の違い

このようにセンサプレート下に発振器を置いたときと比べ、センサプレートと発振器を離れたほうが、周波数変化が小さくなり、距離の検出精度が低下することがわかる。

また、センサプレート下に発振器を置くことにより、

発振器からセンサプレートの配列外にあるLPFまでの長い配線には発振器の振幅が送られることになる。配線の付加容量は周波数の変化に影響を与えないので周波数を正確に送ることを可能にする。

図2はセンサプレートの検出容量に対する発振周波数の変化である。リングオシレータはセンサプレート上に物体が乗っていない状態683MHzで発振するものを用いた。センサプレートサイズは $38.5\mu\text{m} \times 38.5\mu\text{m}$ と

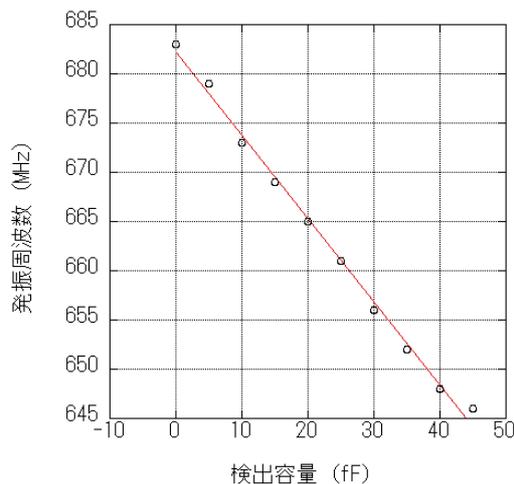


図2 検出容量に対する周波数変化

仮定をしている。この結果から、検出容量に対する周波数変化はこのようにほぼ線形とみなすことができることがわかる。

図3は物体-チップ間の距離に対する周波数変化である。物体-チップ間の距離が離れているときはほとんど周波数変化しないが近づくにつれ変化が大きくなっていくことがわかる。

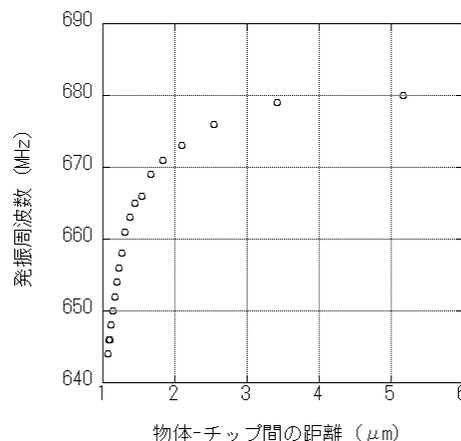


図3 物体-チップ間の距離に対する周波数変化

物体-チップ間の距離に対する感度をシミュレーションした結果を図4に示す。物体-チップ間の距離が小さくなるほど感度が高くなり、一番近いところでは6.2

$\times 10^{-12} \text{m/Hz}$ となる。これは 1 MHz あたり $0.0062 \mu\text{m}$ となる。

図 5 に検出容量および発振器の周波数変化とテクノロジーの関係を示す。加工寸法が縮小すると微細化が進み、センサプレートのサイズが小さくなり検出容量が小さくなり、検出できる距離が短くなるが、寄生容量の減少により発振器の発振周波数差は大きくなる。また、拡大倍率はセンサプレートサイズに依存するので、微細化が進むほど拡大倍率を高くすることができる。

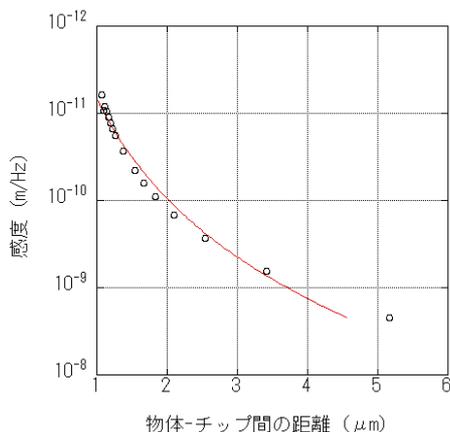


図 4 物体-チップ間の距離に対する感度

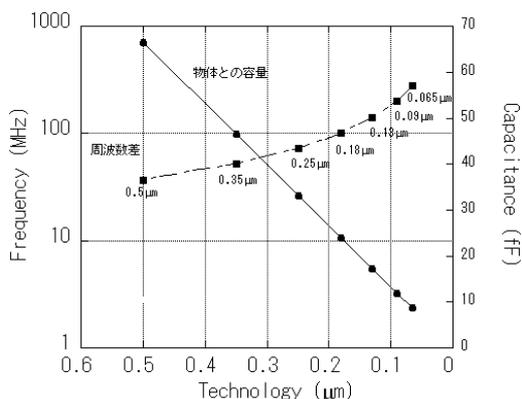


図 5 検出容量、周波数変化とテクノロジーの関係

2.3. ミキサ、LPF

ミキサは一般の無線用などの RF 回路で使用するミキサのように高精度を要求されないため、センサプレート下に配置できるようにトランジスタ 1 つで構成する。

ローパスフィルタは発振器の周波数とミキサの出力である 2 つの差の周波数に大きな差があるため、複雑なものは使用せずに 1 次のものを使用することにする。

3. シミュレーション結果

図 7、図 8 に、ミキサおよび LPF の動作を HSPICE を用いてシミュレーションした結果を示す。図 6 はシミュレーション回路図である。図 7 は検出容量が 0 fF でチップ上に物体がのっていない場合であり、検知用発振器の周波数は 683MHz、参照発振器の周波数は

振器の周波数は 683MHz、参照発振器の周波数は

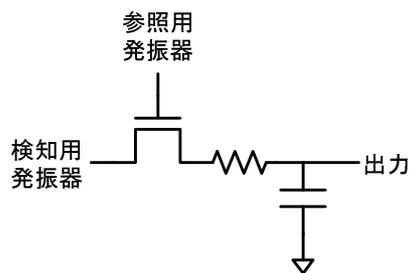


図 6 シミュレーション回路図

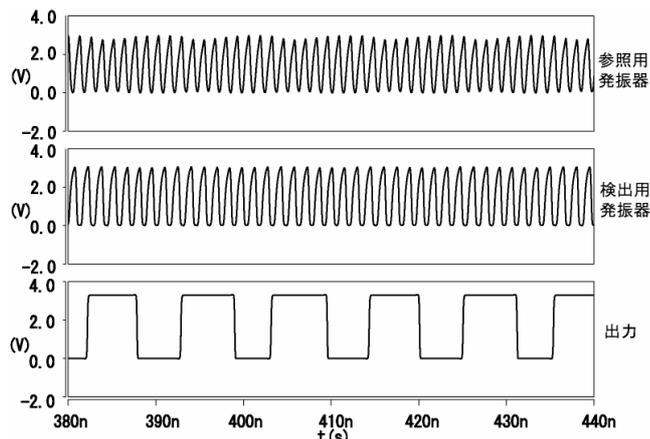


図 7 LPF 後の出力波形 (0 fF)

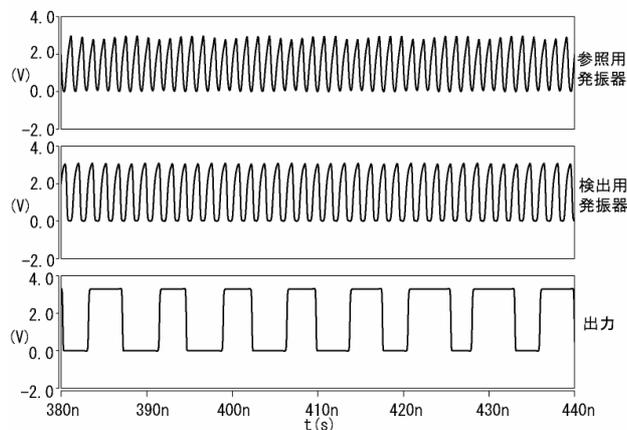


図 8 LPF 後の出力波形(46.5fF)

776MHz、LPF 後の周波数は 93MHz となった。図 8 は検出容量が 46.5fF でチップ上の物体がもっともセンサプレートと近い場合であり、このときの検知用発振器の周波数は 644MHz、参照発振器の周波数は 776MHz、LPF 後の周波数は 132MHz となった。このようにチップ上の物体との距離が変わるとその変化が周波数の変化として読み取れることを確認した。

4. レイアウト設計

ローム CMOS0.35 μm プロセスで回路設計を行った(注)。図 9 が可視化センサ LSI、図 10 が要素回路の

テスト回路のチップ写真である。可視化センサ回路は電源電圧 3.3V、チップサイズ 4.9mm×4.9mm、センサエリア 3.6mm×3.6mm、センサプレートサイズ 38.5 μ m×38.5 μ m、センサプレート数 80×80 となっている。テスト回路は電源電圧 3.3V、チップサイズ 2.4mm×2.4mm で、発振器の発振周波数を変えたときの感度の変化、ばらつきを調べる回路、電源投入時の過渡特性を調べる回路、スペクトル測定用回路からなる。これらの測定結果は直ちに実行する予定である。

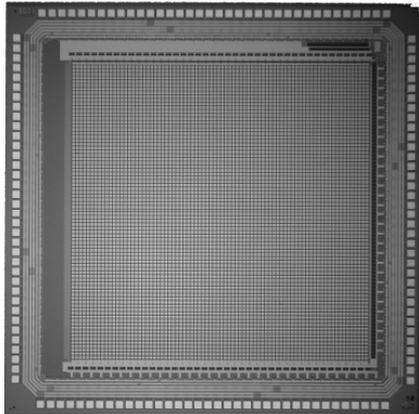


図 9 可視化センサチップ写真

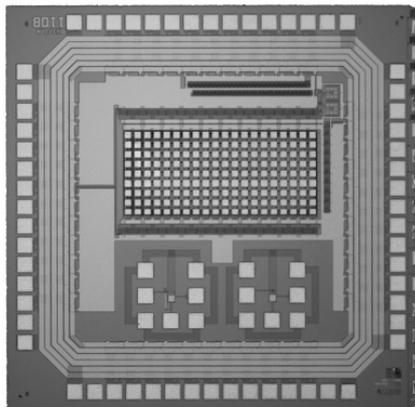


図 10 TEG チップ写真

5. むすび

インピーダンスを検知し、周波数に変換し物体チップ間の距離情報を伝える微小物体可視化センサのシステムを考案した。発振器をセンサプレート下に置く必要性を確認し、発振器の発振周波数が検知された容量によって変化するのを確かめた。ローム CMOS0.35 μ m プロセスで可視化センサ回路と TEG を作成した。チップの測定と評価は今後の課題である。

6. 文献

[1]Jeong-Woo, Dong-Jin Min, Jiyoung Kim, and Wonchan Kim: "A 600-dpi Capacitive Fingerprint Sensor Chip and Image-Synthesis Technique", IEEE JOURNAL OF

SOLID-STATE CIRCUITS, VOL.34, NO.4, APRIL 1999, pp469-475

[2]Hiroki Morimura, Satoshi Shigematsu, Toshishige Shimamura, Katsuyuki Machida and Hakaru Kyuragi: "A Pixel-Level Automatic Calibration Circuit Scheme for Capacitive Fingerprint Sensor LSIs" IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL.37, NO.10, OCTOBER 2002, pp1300-1306

(注)「本チップ試作は東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し ローム(株)および凸版印刷(株)の協力で行われたものである。」

"The VLSI chip in this study has been fabricated in the chip fabrication program of VLSI Design and Education Center(VDEC), the University of Tokyo in collaboration with Rohm Corporation and Toppan Printing Corporation."