

MOM容量の容量設定精度と ばらつきの測定

◎角川 佳弘、宮原 正也、松澤 昭、李 賢義

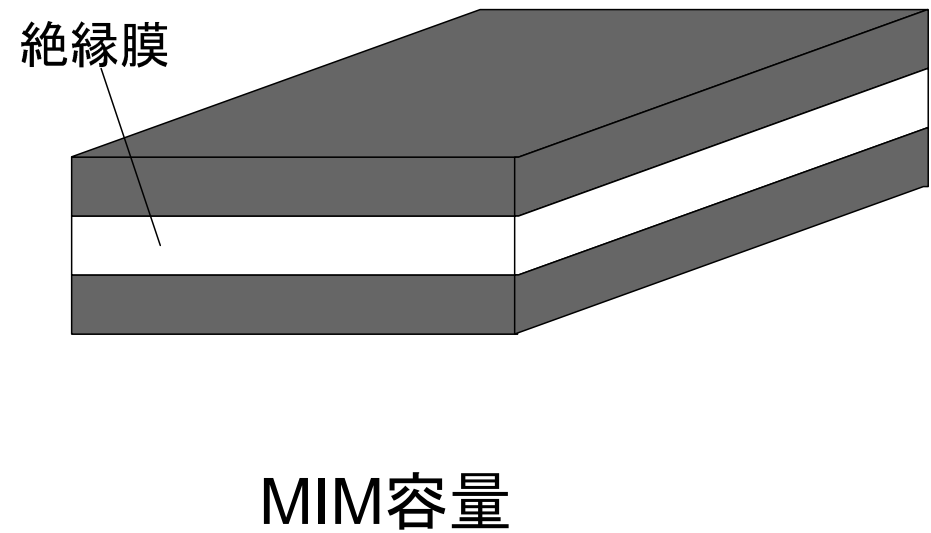
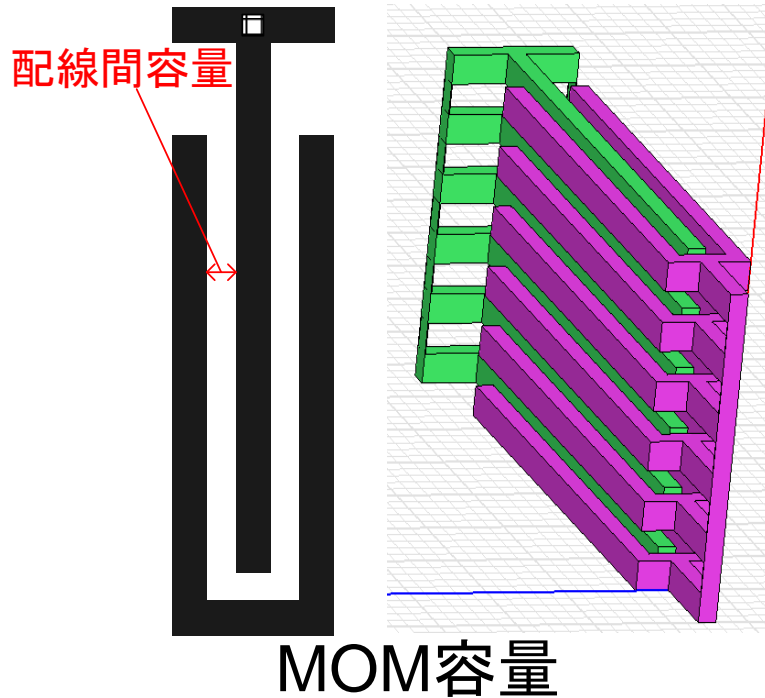
東京工業大学 大学院 理工学研究科
電子物理工学専攻 松澤・岡田研究室

- 概要
- MOM容量とその特徴
- 研究目的
- MOM容量の容量値、ばらつきの測定
- 補正用容量の作成
- まとめ

- Metal-Oxide-Metal (MOM)容量を使用することにはMetal-Insulator-Metal (MIM)容量を使用すること比べて、微小容量を作れる、高い容量密度をだせる、など幾つかの利点がある。そこで、今回測定用TEGを作成し90nmプロセスでのMOM容量の容量値やばらつき、メタルを使ったシールドの効果調べた。
- 測定方法はCharge-Based Capacitance Measurement (CBCM)を使用した。
- 容量の設定値からの差をシールドのあるときとないときで比較し、シールドによる容量設定精度の改善を確認した。
- ばらつきは100[fF]以上では0.1[%]程度となることを確認した。
- MOM容量の長さを調整し微小な容量の作成をした。

MOM容量とその特徴

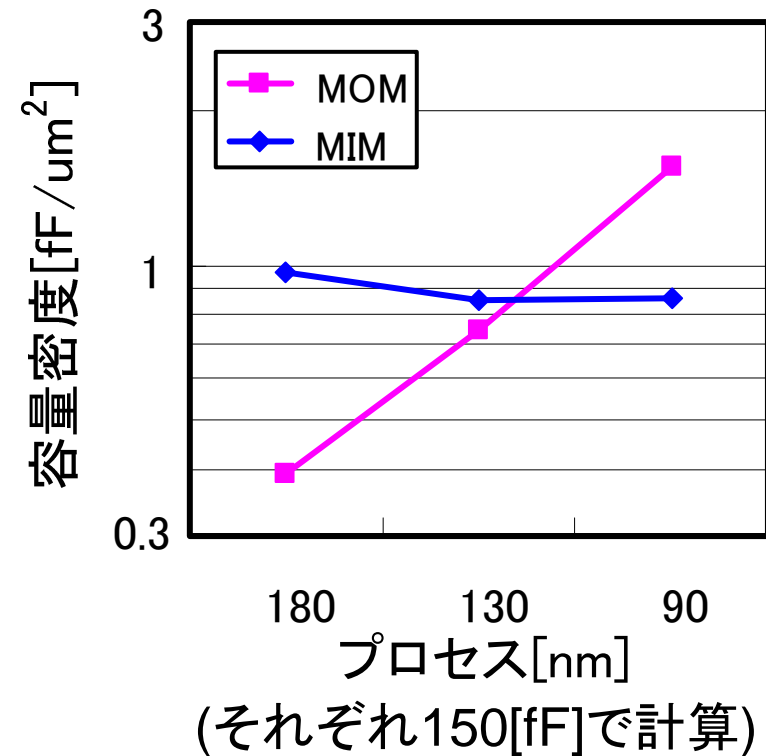
- MOM容量とは配線間容量を利用したもの。



- MOM容量のメリット
 - 微小容量を作れる
 - 小面積化
 - コスト削減

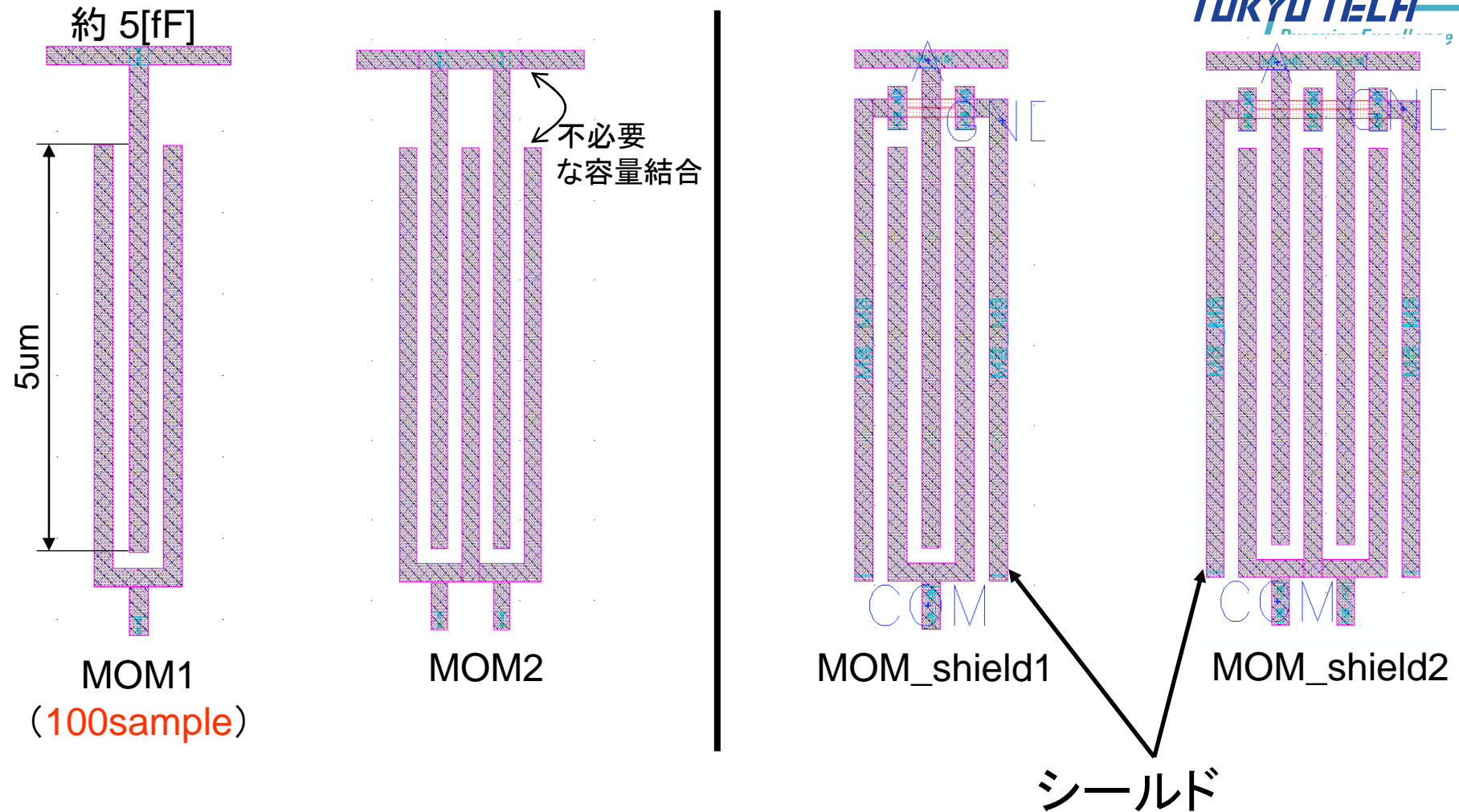
- MOM容量のデメリット
 - 対地容量が大きい
 - ばらつきが大きい

- MOM容量の容量密度はプロセスの微細化に伴って大きくなる。
- MOM容量を使用することで小面積など、幾つかのメリットが得られるが、MOM容量の容量値やばらつきはプロセスによって異なり、データが揃っていない。



- 本研究の目的
 - 90nmプロセスでMOM容量を作成し、容量値やばらつきがどの程度になるかを測定して調べる。

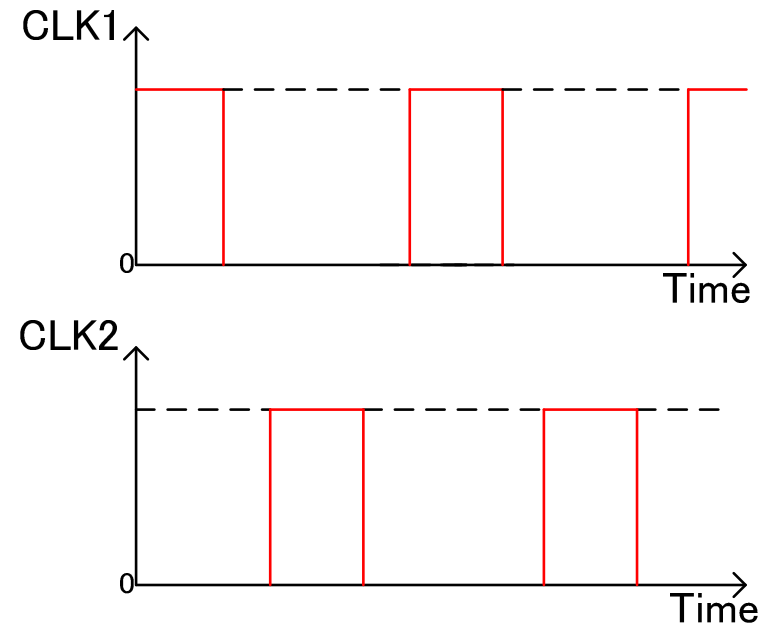
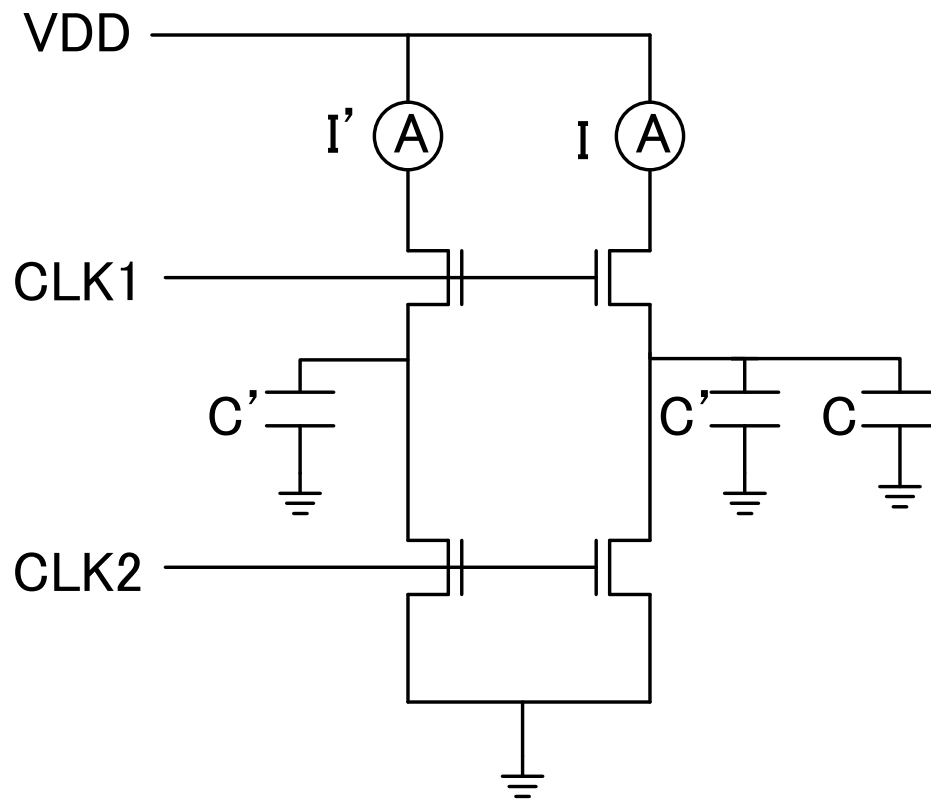
測定したMOM容量



MOM1,2,4,8,16,32,64,128と、それぞれにシールドを挟み込んだもの、ばらつきを調べるためMOM1、MOM16、MOM32は100サンプル作成。また、補正用の微小容量を作るためMOM1の長さを変えたものを作成した。

測定方法 (CBCM[1])

- 容量に充電、放電を繰り返し、そのときの電流を測定する。
- 0.0017[fF]の分解能で容量を測定可能。



C: 測定したい容量 (MOM)
C': 寄生容量

$$I - I' = C \cdot V_{DD} \cdot f$$
$$C = \frac{I - I'}{V_{DD} \cdot f}$$

[1] Chen, J.C. et al, "An on-chip, attofarad interconnect charge-based capacitance measurement (CBCM) technique" Electron Devices Meeting, Dec1996. IEDM 'pp.69-72

測定結果（容量値）

- 容量値の測定結果を示す。
- 単位容量(MOM1)との比を示す。

容量値

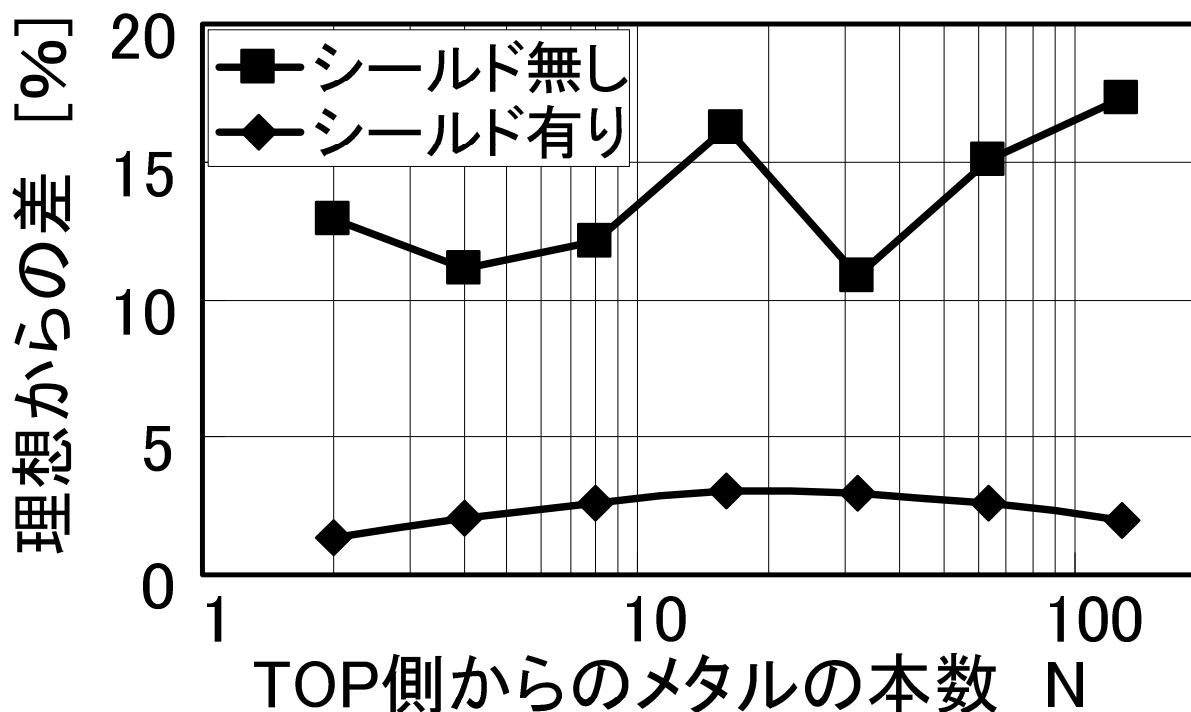
	No shield [fF]	With shield [fF]
MOM1	6.31	5.15
MOM2	11.92	10.16
MOM4	23.03	20.16
MOM8	44.44	40.13
MOM16	86.91	79.90
MOM32	169.84	159.83
MOM64	332.35	320.85
MOM128	652.22	645.89

単位容量との比

	No shield [fF]	With shield [fF]
MOM1	1.00	1.00
MOM2	1.89	1.97
MOM4	3.65	3.92
MOM8	7.05	7.79
MOM16	13.78	15.52
MOM32	26.92	31.05
MOM64	52.68	62.32
MOM128	103.39	125.46

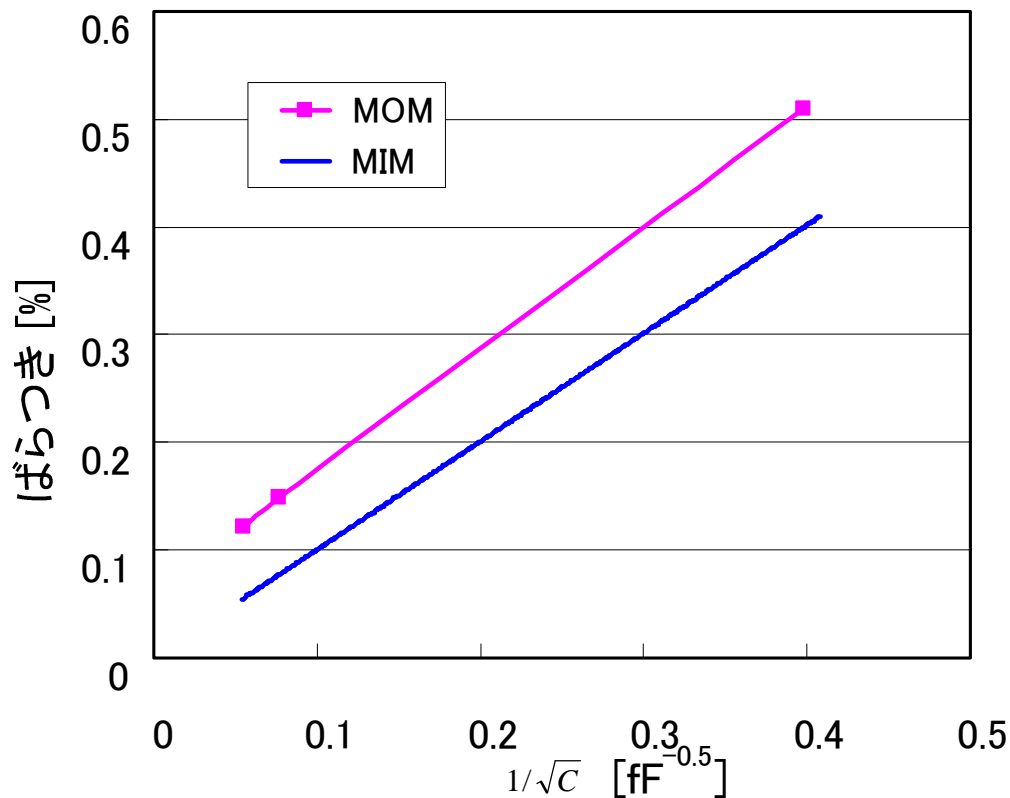
測定結果（容量値）

- 単位容量からバイナリの関係で増加したものを理想とし、理想からの差を比較。
 - シールドを挟んでいる方が理想的な比に近い。
 - シールド無しでは理想からの差が10[%]から20[%]になっている。
 - シールド有りでは理想からの差が3[%]以下に抑えられている。



測定結果(ばらつき)

- MOM1 (6.3[fF])、MOM16 (170.3[fF])、MOM32 (333.5[fF])の三点でばらつきを調べた。
- MIM容量と比べるとばらつきが大きい。



容量値 [fF]	ばらつき[%]	
	MOM	MIM
6.3	0.50937	0.39934
170.3	0.14858	0.07708
333.5	0.12216	0.05494

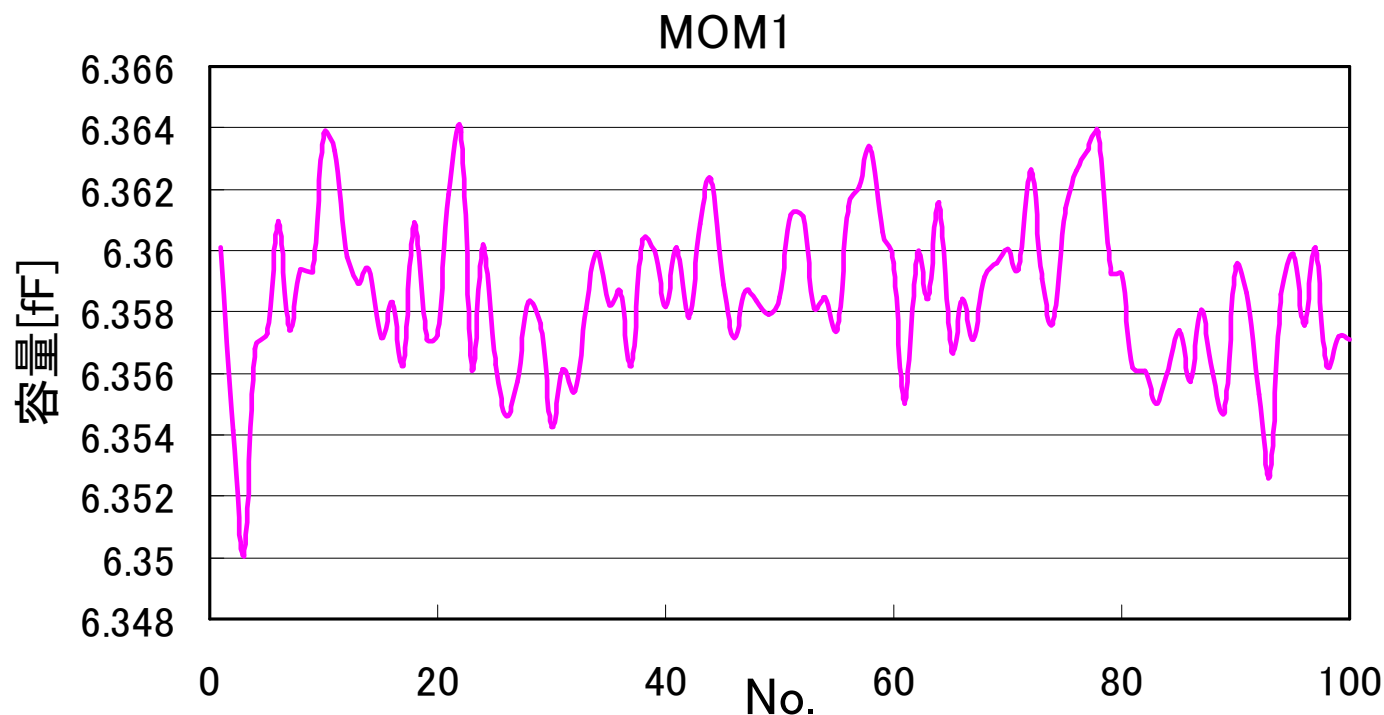
$$\text{MOM: } \sigma[\%] = 1.127 \frac{1}{\sqrt{C}} [\text{fF}^{-0.5}] + 0.061$$
$$\text{MIM: } \sigma[\%] = 1.070 \frac{1}{\sqrt{C}} [\text{fF}^{-0.5}]$$

MIM容量のばらつきはシミュレーションから求められたプロセスのデータを参照した。

- 同じ容量を100回測定

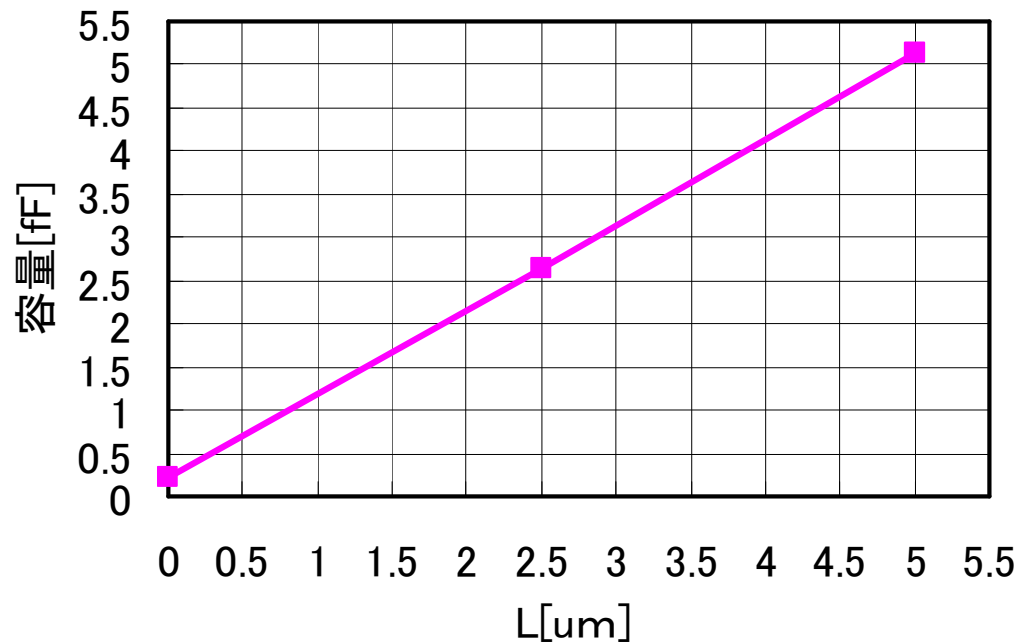
	σ	σ (error margin)
MOM1	0.03223[fF]	0.00252[fF]
MOM32	0.25308[fF]	0.01444[fF]
MOM64	0.40742[fF]	0.01833[fF]

測定によるばらつきは
容量のばらつきの10%以下

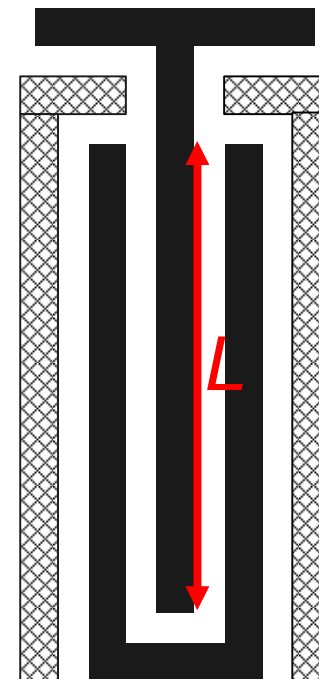


補正用容量の作成

- 補正用容量として単位容量以下の微小容量を作成した。
- $L=0[\mu\text{m}], L=2.5[\mu\text{m}], L=5[\mu\text{m}]$ の三点で測定。
- $L=0$ のオフセットを除けばほぼ線形的に増加。



$$C[\text{fF}] = 0.98L[\mu\text{m}] + 0.23$$



- 90nmプロセスでのMOM容量の測定用TEGを作り容量値やばらつきの測定を行った。
 - シールドによる設定精度改善の効果を確認した
 - シールド無しでは設定値からの差が10[%]から20[%]であったのに対し、シールド有りでは理想からの差は3[%]以下であった
 - 高精度なADCでは誤差は1%以下が求められ、実際には同じ容量を複数個作成する必要がある。
 - ばらつきは100[fF]以上では0.1[%]程度を示した
 - MOM容量の長さを調整することで微小な容量を作成することができた

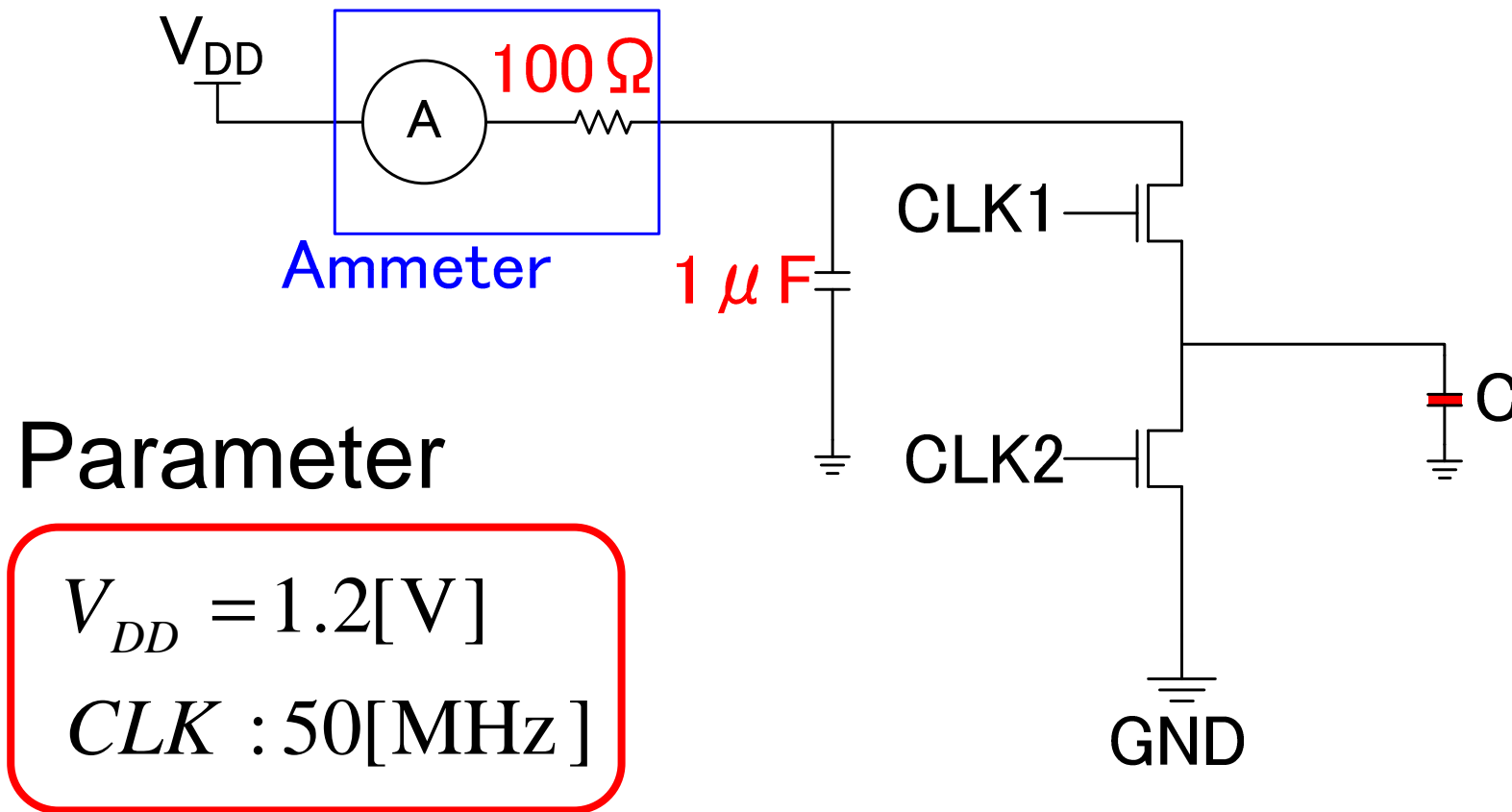
ご清聴ありがとうございました。

- シールド無しで対地容量を考慮したもの
 - シールド間の寄生容量も引いてしまっているため、容量値が小さくなっている。

	No shield [fF]	With shield [fF]
MOM1	4.44	5.15
MOM2	8.85	10.16
MOM4	17.93	20.16
MOM8	35.26	40.13
MOM16	66.91	79.90
MOM32	142.54	159.83
MOM64	272.65	320.85
MOM128	534.24	645.89

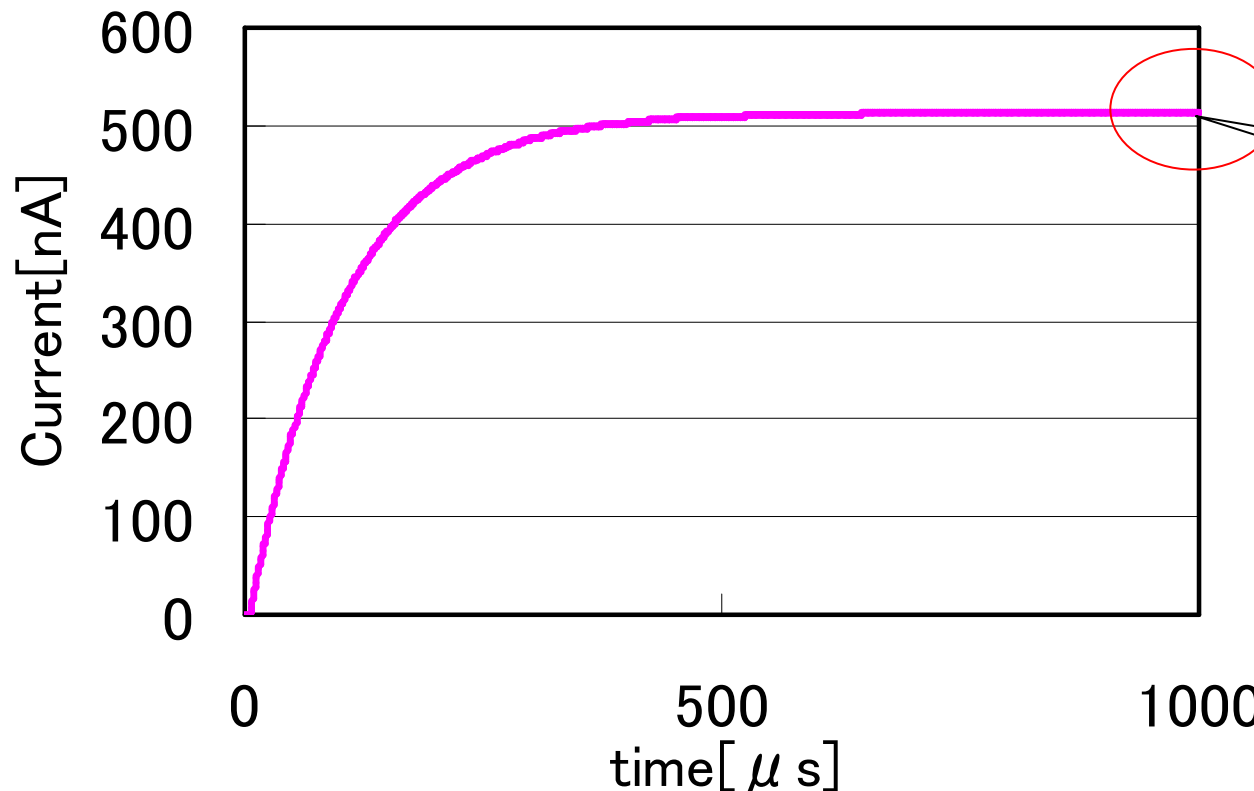
Actual measurement setup

- To average the current, big capacitor ($1[\mu F]$) is connected.



Simulation results (C=5[fF])

- The current is averaged around 1ms.
- Capacitance is calculated from the value of the current.



Vibrating.
In the capacity conversion
 $\pm 0.006\text{fF}$

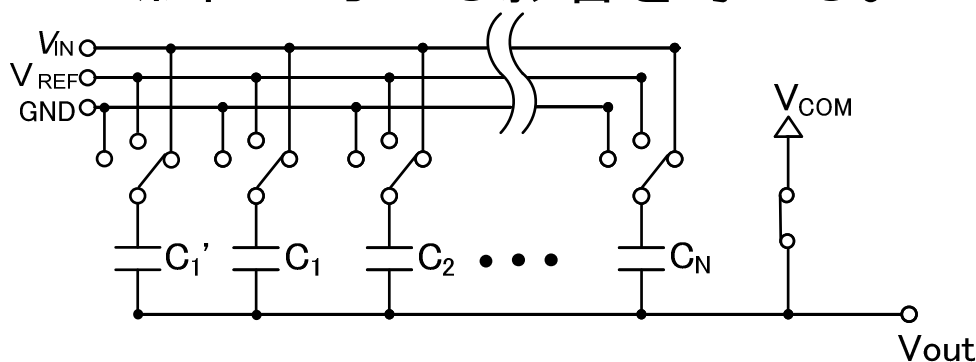
$$V_{DD} = 1.2[\text{V}]$$

$$C = 5[\text{fF}]$$

$$CLK : 50[\text{MHz}]$$

ばらつきと線形性の劣化(SAR)

- 分解能Nビットの一般的なSARADCにおいてばらつきが線形性に与える影響を考える。



$$C_1' = C_1 = C$$

$$C_i = 2^{i-1} C$$

C_1 から C_N までのスイッチが同時に切り替わったとき V_{OUT} の変化量 V_X の標準偏差は容量のばらつきを用いて

$$\Delta V_X (\sigma) \approx \frac{1}{\sqrt{2^N}} \sigma V_{REF} = \sqrt{2^N} \sigma \times LSB$$

0.25LSB劣化を想定

