

1つの素子で温度と応力ひずみが  
同時計測可能な  
MOSFET型センサチップ

山形大学

山崎 義人

貝和 航陽

原田 知親

# 目次

- 背景
- 目的
- 作製したチップの概要
  - 8角形MOSFET
  - アレイ化した多端子MOSFET
- 測定結果
- まとめ

# 背景

センサは家電、自動車など日常的に利用されている

ライフケア・ヘルスケア分野への  
センサ応用が期待



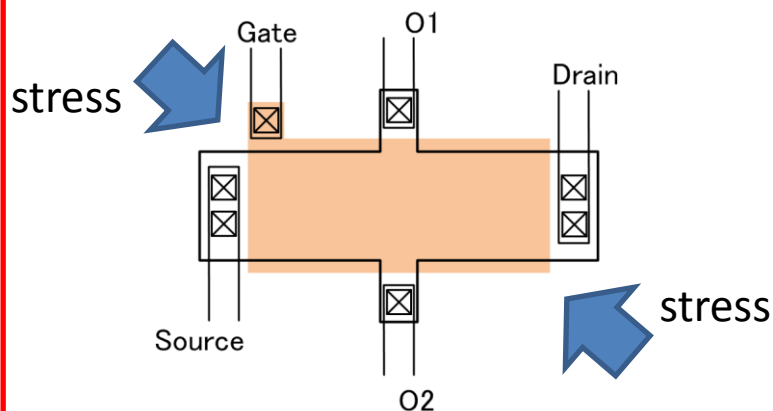
- ・電子回路におけるセンサの規模が大きいため場所を取る
- ・所望の回路とセンサ用の回路が独立しているため、別々の回路によってシステムを構築する必要がある

- ・MOSFETをベースにした集積化センサ
- ・回路機能とセンサ機能の兼用によるセンサの小型化、高機能化

# MOSFETを利用したセンサの研究

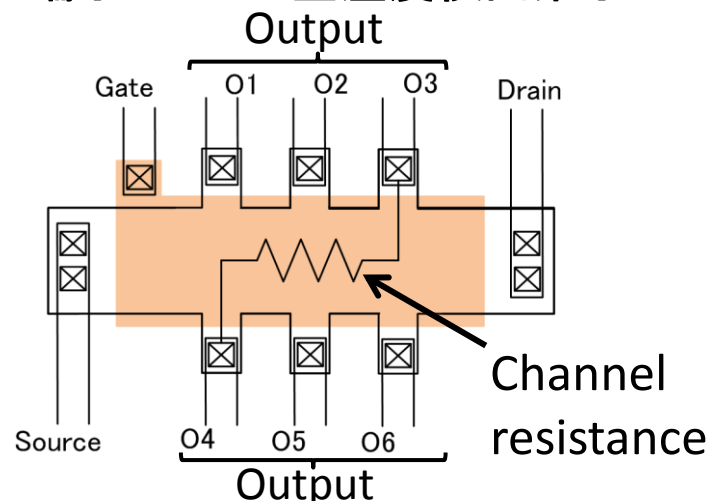
- ・それぞれのOutput端子はGate,Source,Drainと独立
- ・回路を構成するMOSFETを多端子MOSFETに置き換えることで、回路動作をしながらセンシングが可能

## 5端子MOSFET型応力検出素子



- ・Drain-Source方向に対して45°方向に応力印加でOutput端子間の電位差測定
- ・飽和領域で応力印加を行ったときOutput端子間の感度が一定

## 9端子MOSFET型温度検出素子



- ・端子間の距離が離れているほど感度が良い
- ・飽和領域で熱印加を行ったときOutput端子間の感度が一定

5端子MOSFET型応力検出素子  
9端子MOSFET型温度検出素子

センサ検出と回路動作の並列化が可能

# 目的

- ・応力検出素子と温度検出素子の構造は非常に似ている
- ・熱と応力を同時に測定できる素子を利用することで、小型化、高機能化を両立したフレキシブルなセンサとなる



- ・熱と応力の2つの物理量を測定することが可能な素子の作製と評価
- ・デジタル的にセンサを制御することが可能なアレイ化したセンサの作製と評価



**8角形MOSFET、アレイ化したMOSFETの作製**

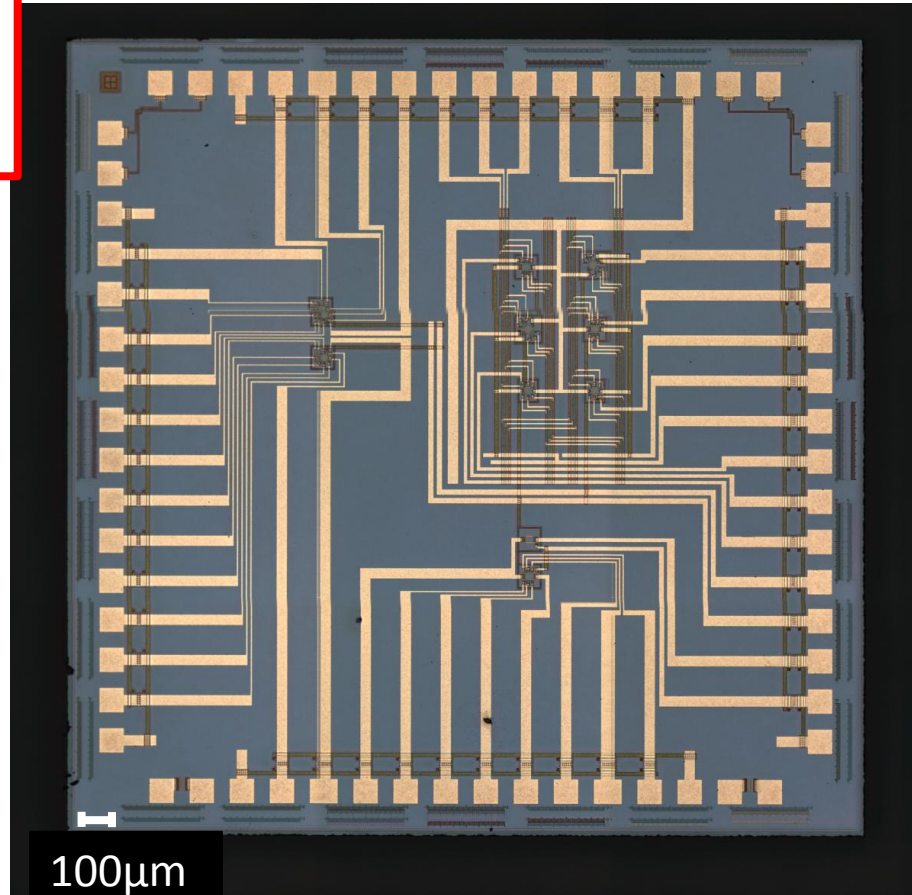
# 作製したチップ

ケイデンス・デザイン・システム社のCAD(Virtuso)  
Tanner EDA Software Toolsを使用

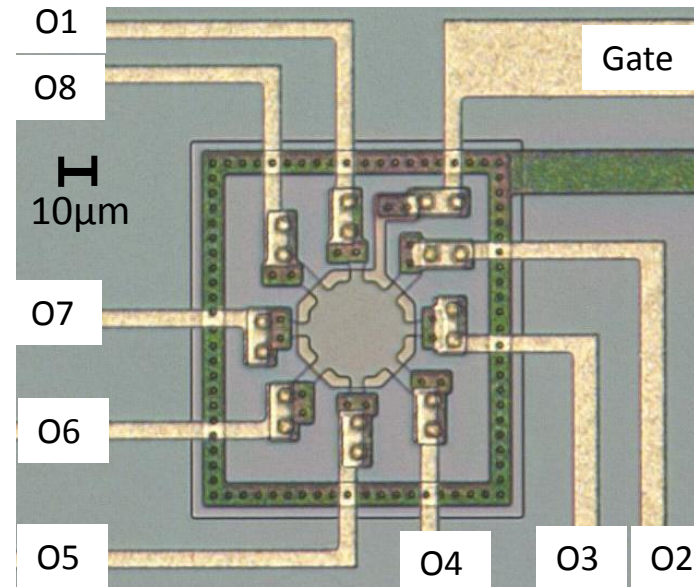
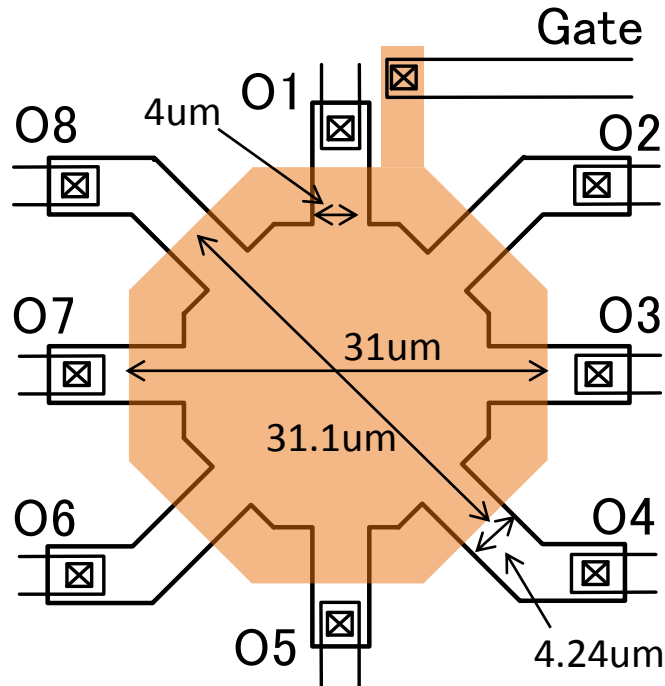
①8角形 MOSFET  
(nMOSとpMOS)

②アレイ化した  
MOSFET  
(nMOSとpMOS)

チップ動作  
確認用の  
nMOSFET



# ①8角形MOSFET



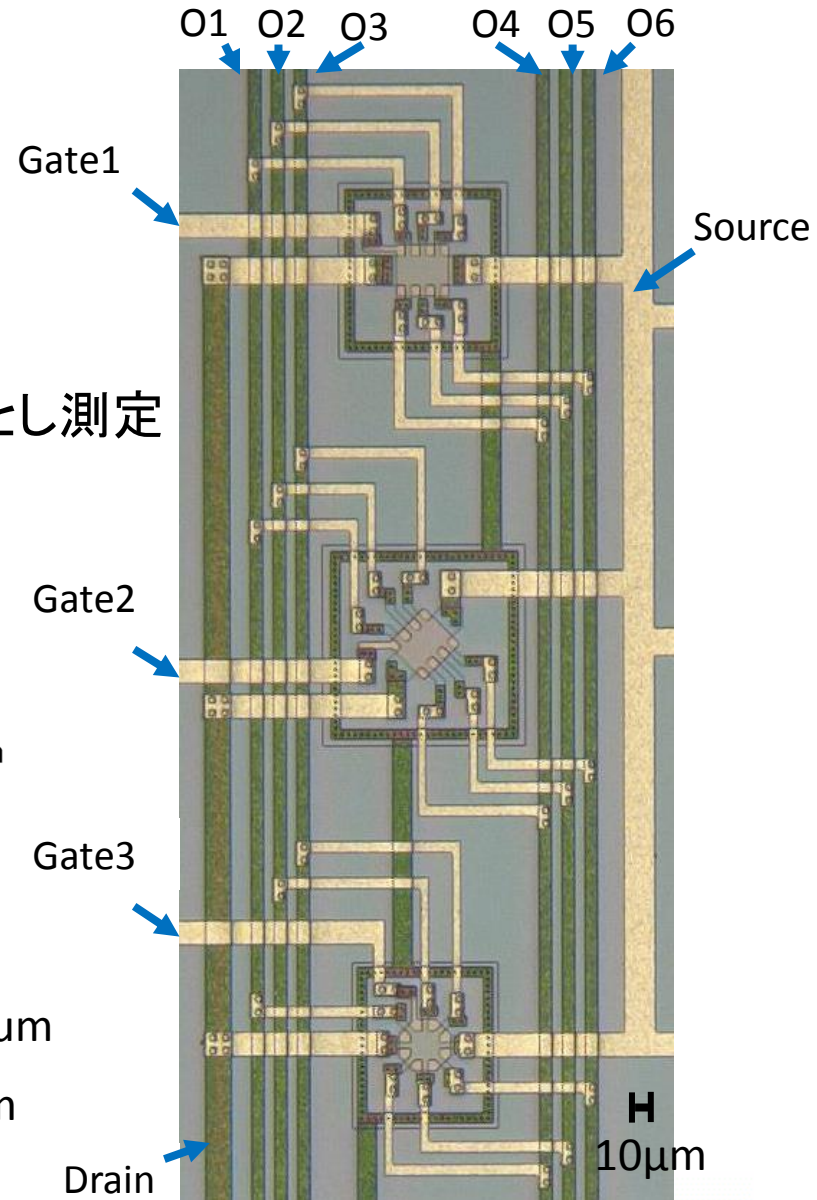
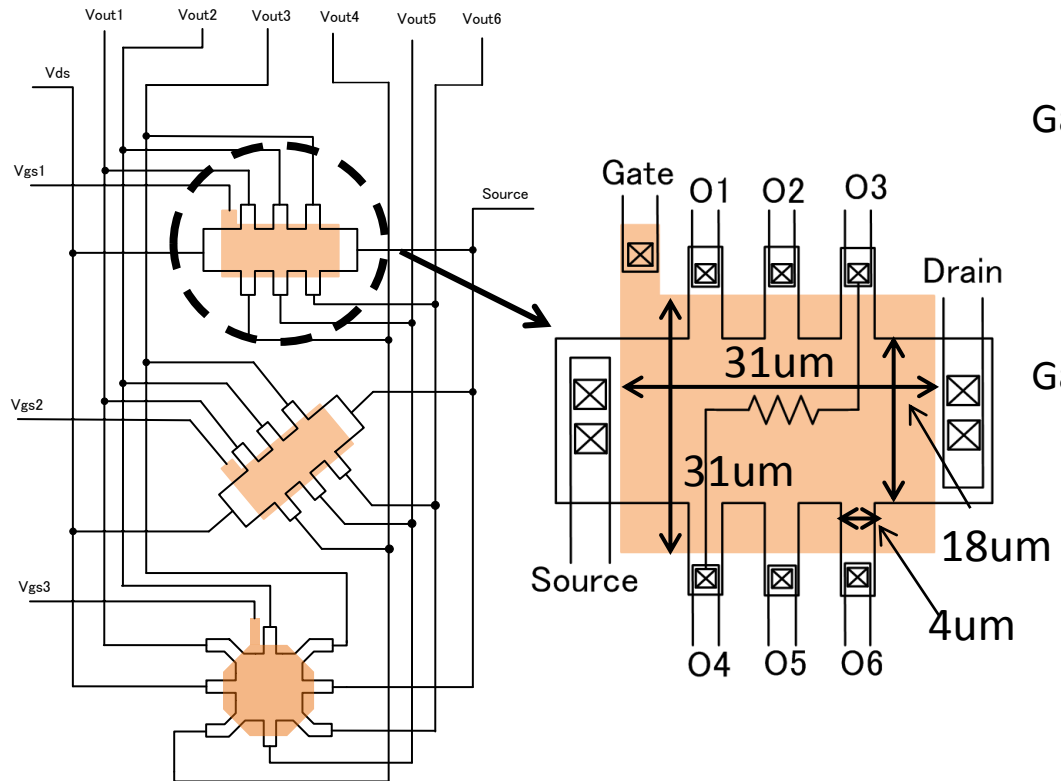
- Drain-Sourceを任意に決定することができる
- 応力をDrain-Source方向に対して0°、45°、90°方向に応力を印加したときに応力特性が測定でき、応力印加方向がわかる
- 温度特性はOutput端子間のチャネル抵抗によって測定可能



# ②アレイ化したMOSFET

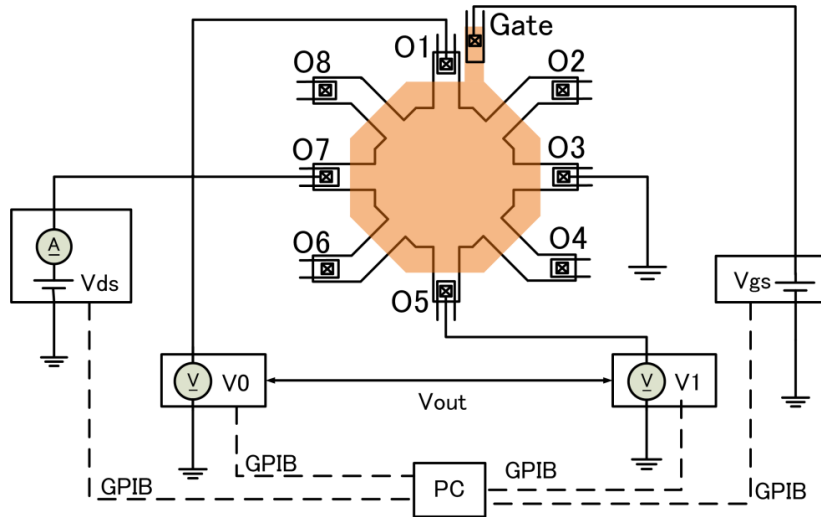
素子を多数接続し、センサ動作を制御する

- ・個々の静特性を測定
  - ・0°方向
  - ・45°方向
  - ・8角形MOSFET
- ・3つ中2つの素子のGateをGND(OFF状態)におとし測定





# 測定方法

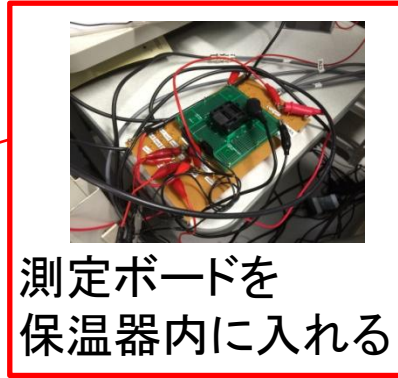


## 評価方法

- Gate 電圧  $V_{GS}$  を印加し、Drain 電圧  $V_{DS}$  を変化させる
- Output 端子の電圧を  $V_0, V_1$  として測定し電位差  $V_{out} = V_0 - V_1$  を求める

## 温度検出

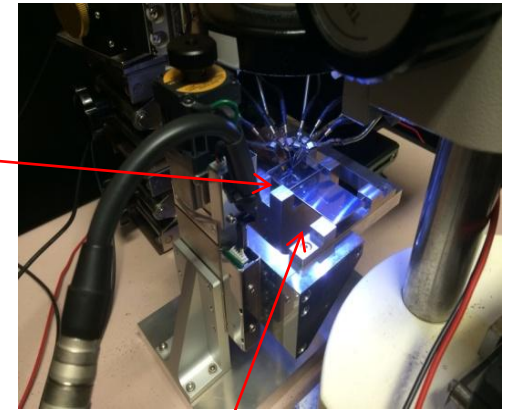
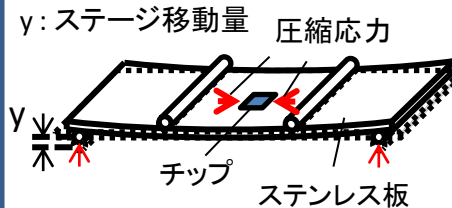
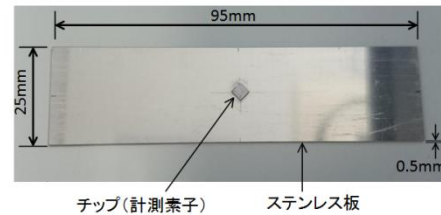
保温器の中にチップを入れ、温度を  $10^\circ\text{C}$  間隔で  $30^\circ\text{C}$  から  $100^\circ\text{C}$  まで変化させる



測定ボードを保温器内に入れる

## 応力検出

ステージを初期状態から  $100\text{mm}$  まで移動させて測定する

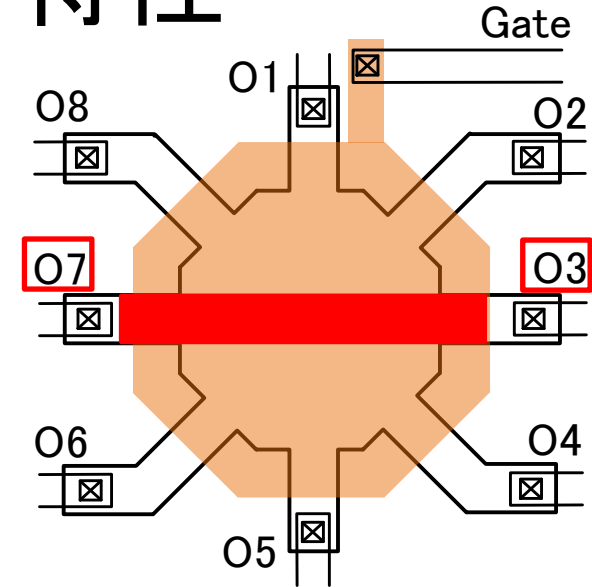
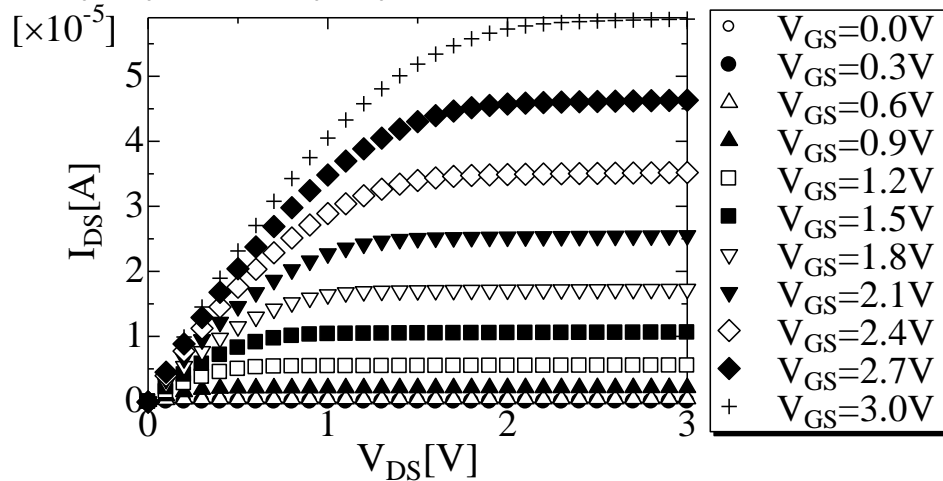


ステージ

温度、応力同時測定時は、応力印加装置のステンレス板の下にペルチェ素子を設置し、銅柱を通して熱を伝えながら、応力を印加

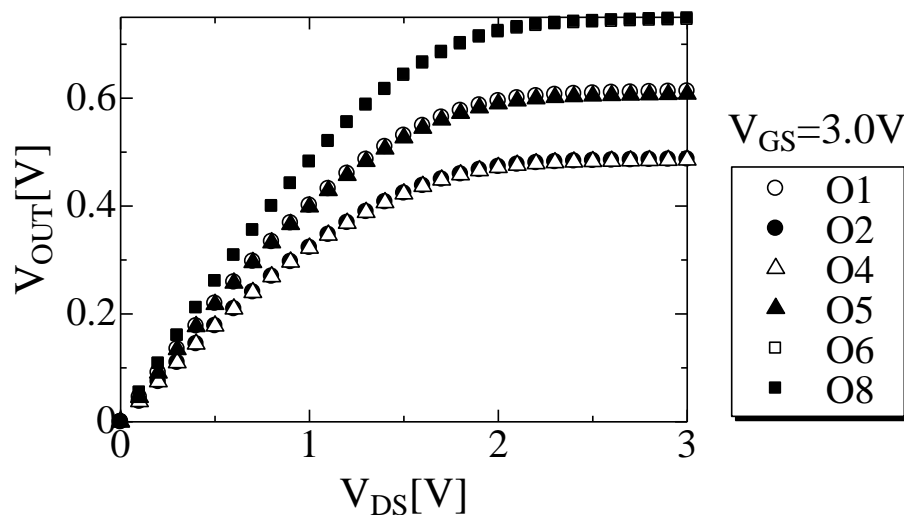
# 8角形MOSFETの静特性と Output端子の特性

Drain(O7)-Source(O3)の $V_{DS}$ - $I_D$



Drain(O7)-Source(O3)

Gate電圧 $V_{GS}=3.0V$  時におけるOutput端子の電位 $V_{out}$

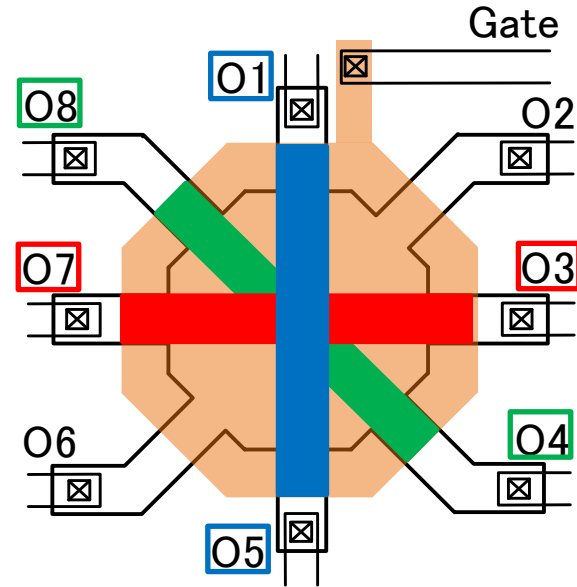
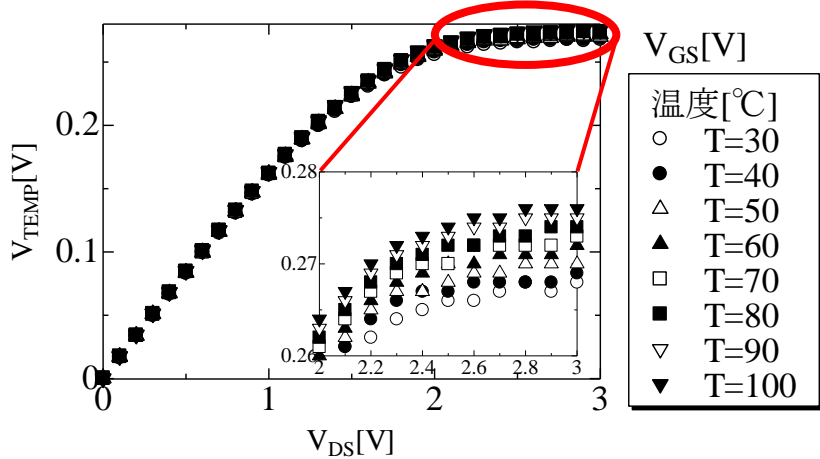


・8角形MOSFETは  
MOSFETとして動作する  
・端子間の距離によって  
電位差が変化する

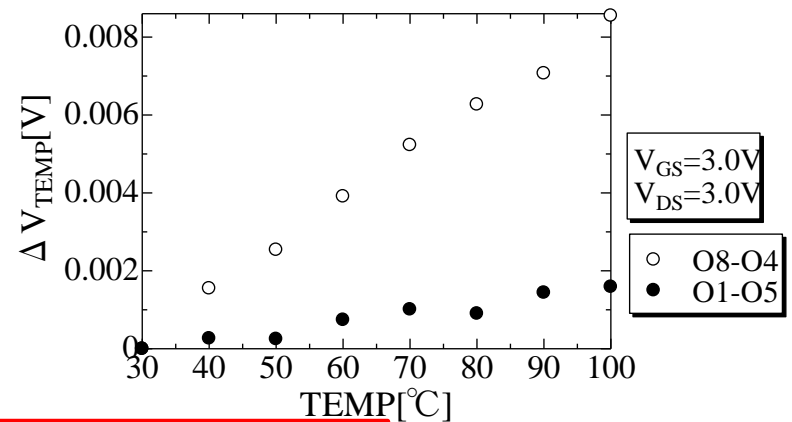
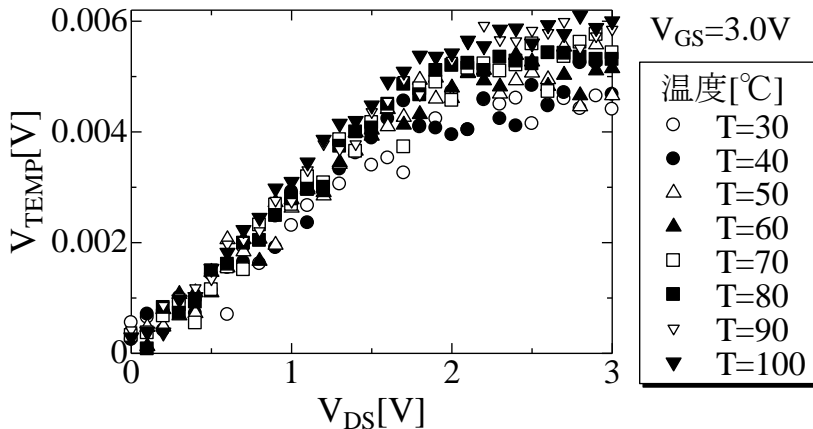
# 八角形MOSFETの温度センサ評価

温度印加による電位差を $V_{TEMP}$ とする  
 測定された電位差の変化量を $\Delta V_{TEMP}$ とする

・ Drain(07)-Source(03) 08-04の $V_{TEMP}$



・ Drain(07)-Source(03) 01-05の $V_{TEMP}$



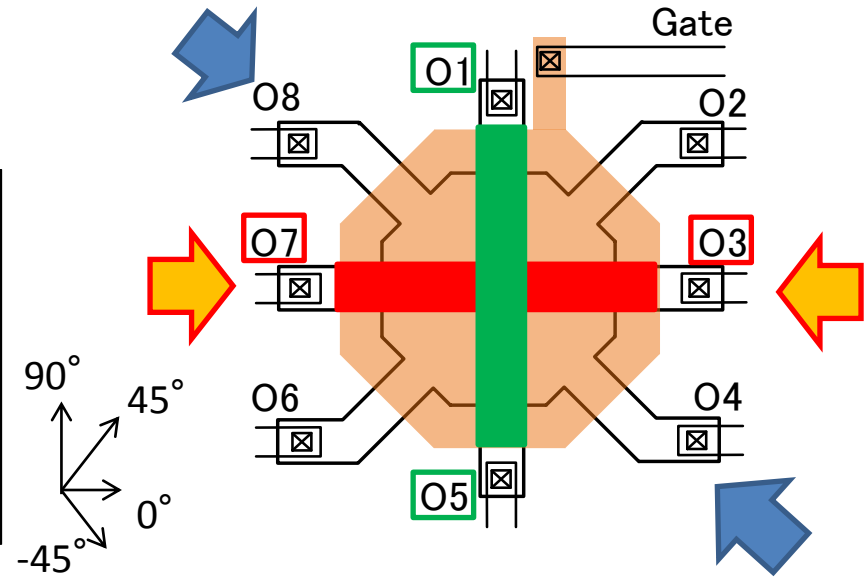
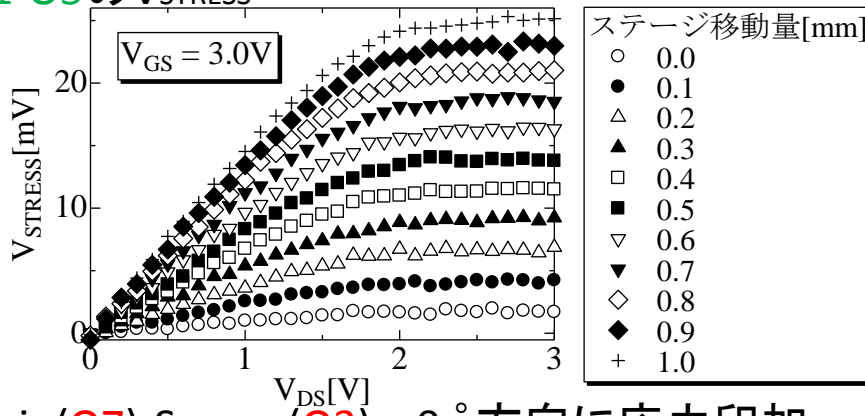
- ・ 端子間の距離によって $V_{TEMP}$ の値が変化
- ・ Drain-Source端子に斜め方向の端子間の電位差が大きい

# 8角形MOSFETの応力センサ評価

ステージ移動による圧縮応力で発生する電位差を $V_{STRESS}$ とする  
測定された電位差の変化量を $\Delta V_{STRESS}$ とする

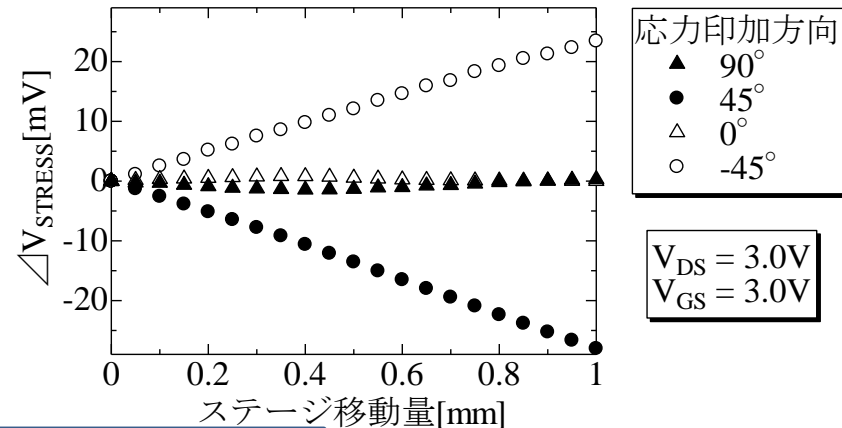
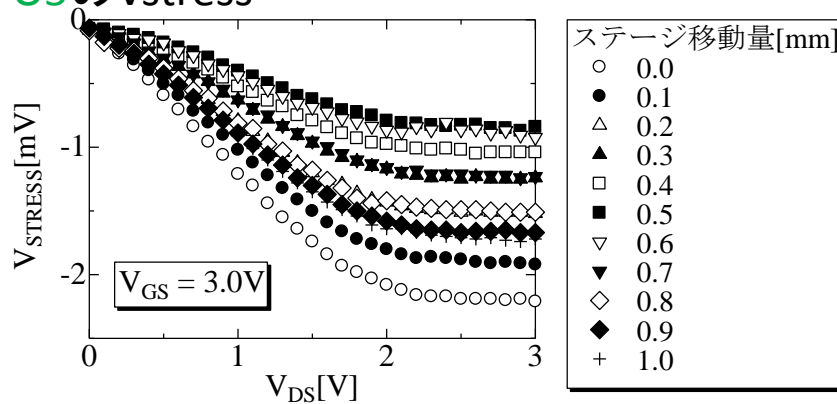
・Drain(O7)-Source(O3) -45°方向に応力印加

01-05の $V_{STRESS}$



・Drain(O7)-Source(O3) 0°方向に応力印加

01-05の $V_{stress}$



・8角形MOSFETは応力検出素子としても利用可能  
・1つの素子で2方向の判別が可能

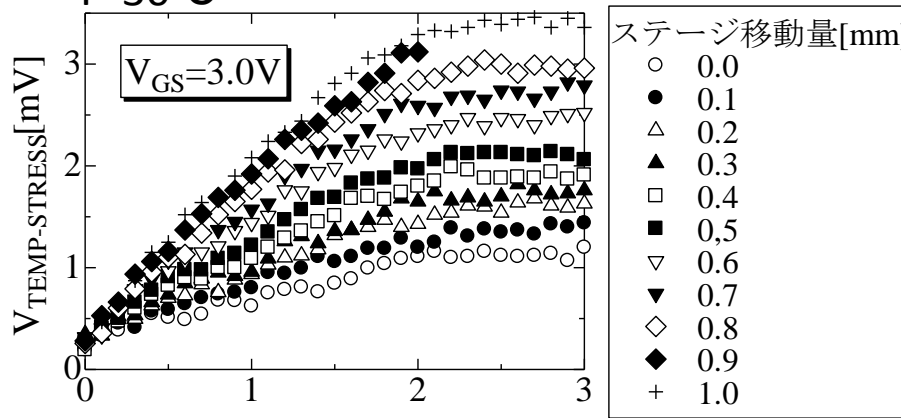
# 8角形MOSFETの温度、応力センサ評価

Drain(O7)-Source(O3)とする

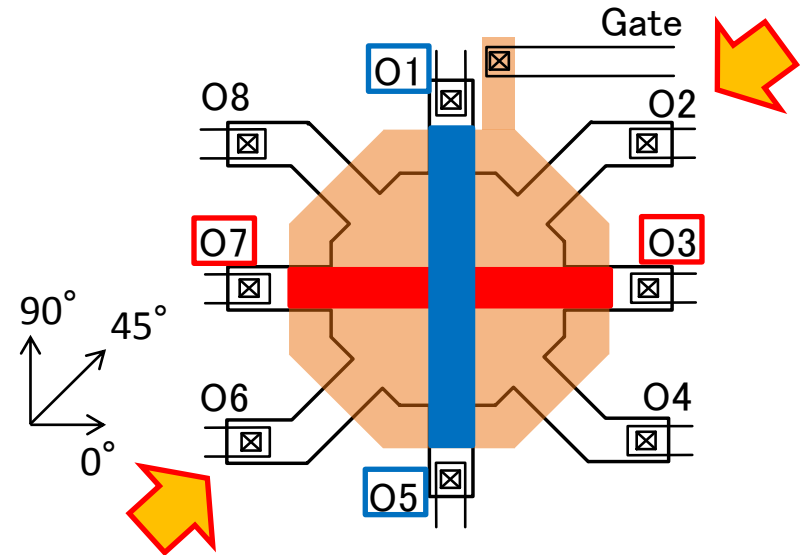
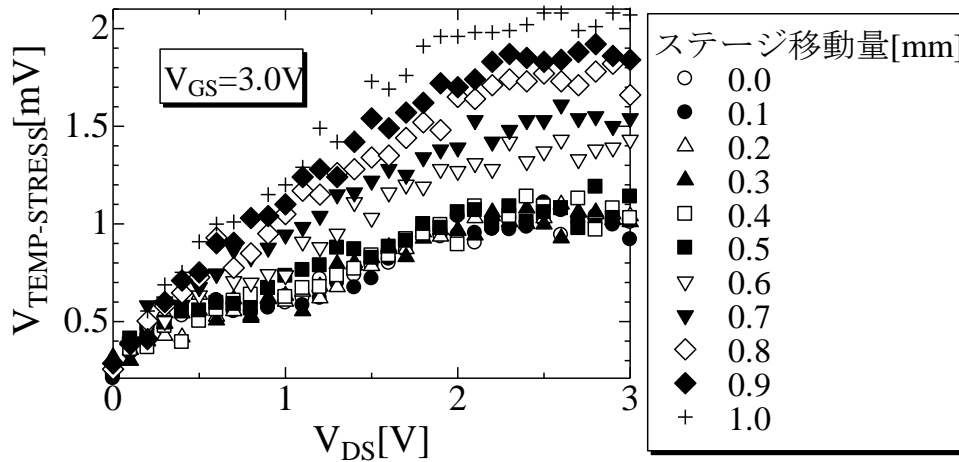
45°方向に応力印加

Output端子(O1-O5)の電位差 $V_{TEMP-STRESS}$ を測定

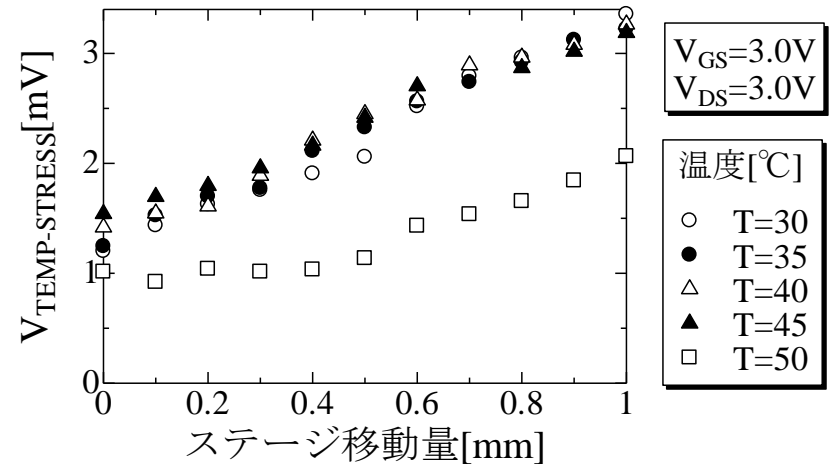
・ $T=30^{\circ}C$



・ $T=50^{\circ}C$



・ステージ移動に対する $V_{TEMP-STRESS}$

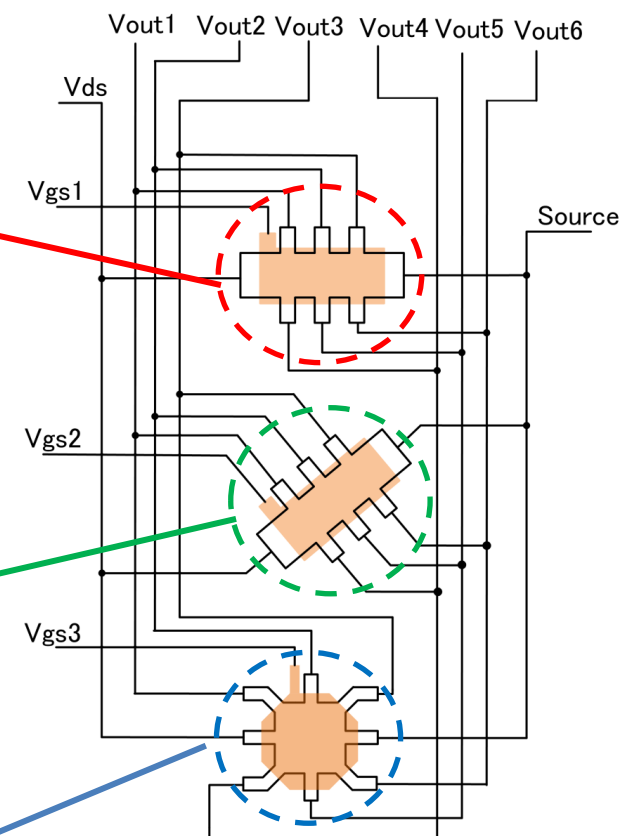
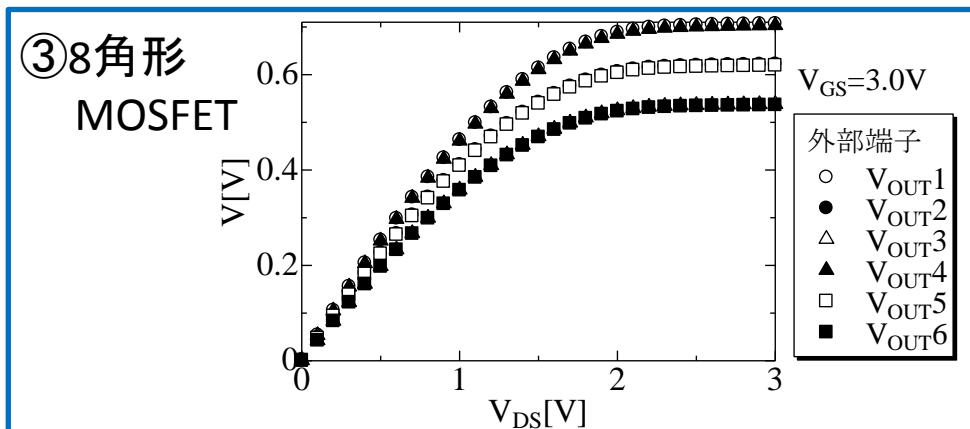
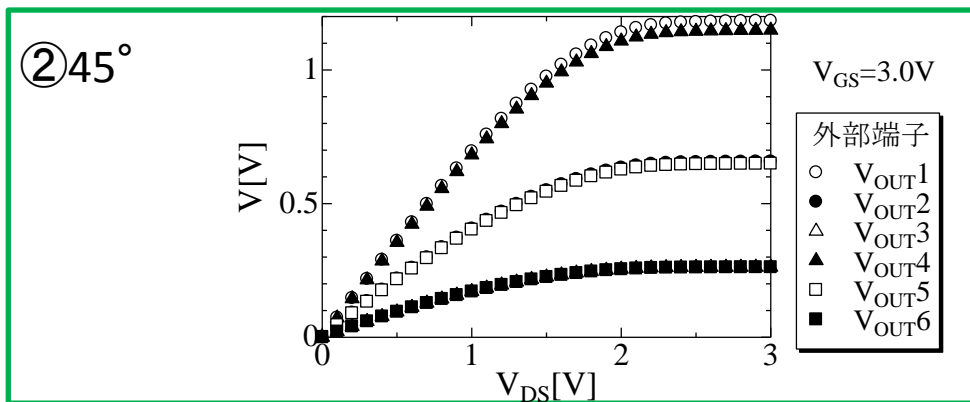
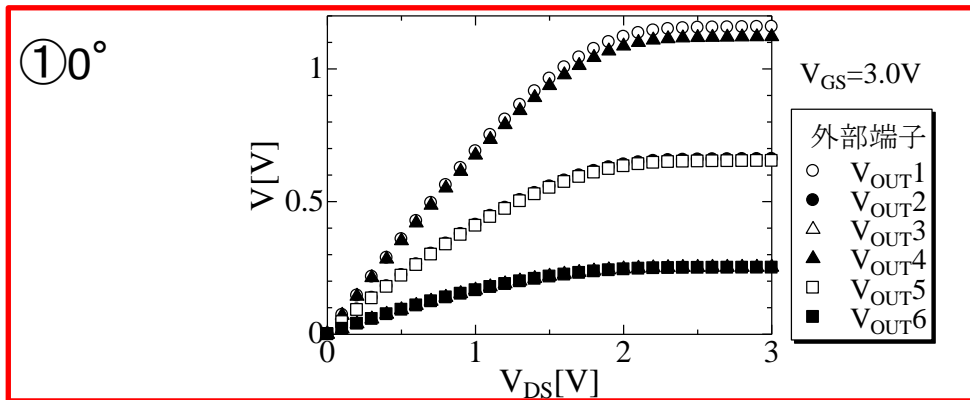


応力印加時、 $V_{DS}-V_{TEMP-STRESS}$ 特性に大きな変化がみられない



温度のみ、応力だけの物理量の測定が可能

# アレイ化したMOSFETの特性



・MOSFETはアレイ化による  
並列接続でも動作可能

・デジタル制御によって  
個々のセンサを管理可能

# まとめ

- ・8角形MOSFETの温度特性、応力特性を測定した
- ・MOSFETは並列接続しても素子の動作に影響は見られない



- ・8角形MOSFETは温度、応力測定可能
- ・並列接続時にデジタル制御による個々のセンサの管理が可能

## 今後の課題

- ・8角形MOSFETにおける温度、応力の同時測定の再試験
- ・アレイ化された素子の温度特性、応力特性評価と素子の制御システムの考察