ミニマルファブを用いたピエゾ抵抗型加速度センサの開発（２）

Study of Piezo-resistive Accelerometer using Full Minimal Fab Process (2)

ミニマルファブ推進機構 [1], 産業技術総合研究所 [2],
○小粥 敬成 [1], 田中 宏幸 [2], 居村 史人 [2], クンプアン ソマワン [1,2], 原 史朗 [1,2]

MINIMAL[1], AIST[2],
Hiroshige Kogayu [1], Hiroyuki Tanaka[2], Fumito Imura[2] Sommawan Khumpuang[1,2], and Shiro Hara[1,2]
E-mail: hiroshige-kogayu@minimalfab.com

[背景・目的] MEMS デバイスは近年 IoT の進展に伴うセンサ市場の拡大とともに、その市場規模が拡大してきているが、MEMS デバイスは多品種少量のものが多い。MEMS の多品種少量性は、我々が開発してきたミニマルファブに適していることから、当初から装置の開発と共に MEMS デバイスの開発も進めてきた[1]。ミニマルファブで未開発のプロセスだけは既存メガ装置を用いるハイブリッドプロセスの MEMS カンチレバー試作に始まり[2]、ハイブリッドプロセスによる CMOS－MEMS ダイアフラム型圧力センサの開発[3]、ピエゾ抵抗型加速度センサ作製[4]などを行ってきた。3 年ほど前よりボッシュプロセスを適切に制御することにより深掘りエッチング技術を深化させ[5]、MEMS デバイスの意図した構造を作り込むことが出来るようになり、前回の応物発表ではピエゾ抵抗型一次元加速度センサを試作して、その基本特性を取得した[6]。そこで本稿では、試作するピエゾ抵抗素子の性能（ゲージ率）向上を目的として、ウェハ仕様やピエゾ抵抗形成プロセスが MEMS デバイスのゲージ率に及ぼす影響について実験を行ったので、その結果を報告する。

[作製、評価方法] ピエゾ抵抗素子ついて、ピエゾ抵抗係数は抵抗の電流方向や印加応力との関係で結晶方位に大きく依存することが知られており、p 型ピエゾ抵抗の場合、電流方向が結晶方位〈110〉ではピエゾ抵抗係数は最大値となるが、〈100〉では最小値となる[7]。また、文献[7]によればピエゾ抵抗係数は不純物濃度との相関もあり、ボロンの濃度が約$1\times10^{18}cm^{-3}$ 以上からはピエゾ抵抗係数は低下する傾向となっている。すなわちゲージ率も低下する。表1は p 型ピエゾ抵抗のゲージ率の定義に基づいて算出した計算値（不純物濃度は$1\times10^{18}cm^{-3}$ 以下を想定）、前回報告の測定結果より算出した測定値のゲージ率について比較した。ここで計算値では〈110〉が〈100〉より約 14 倍ゲージ率が大きい。これについては前回報告[6]おいて 14.8 倍となっており、検証できている。ただし、前回は p 型低抵抗基板に n ウェル形成後 p 型ピエゾ抵抗を形成しており、リン／ボロンのドーパントが注入過多であった。今回は、n 型基板に p 型ピエゾ抵抗を作製することでゲージ率と不純物濃度について検討を行なった。なお、評価方法については図 1 に示す通り、プローブのついたマイクロメータでカンチレバーのおもりに強制変位を加え、ホイートストンブリッジ回路によりカンチレバー上のピエゾ抵抗（カンチレバー長手方向に平行に配置）の変化を電圧の変化として測定した。さらに片持ち梁を仮定して、強制変位から歪を計算し、測定結果の変位－出力電圧の傾きよりゲージ率を算出した。

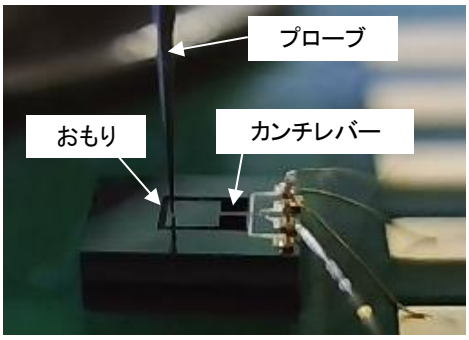

図１．基板実装後の MEMS 外観

[結果と考察] 表1に今回試作したカンチレバーのゲージ率を記載した。カンチレバーの長手方向結晶方位〈100〉においてゲージ率は 0.50 と大きく低下した。文献[7]によれば不純物濃度約$1\times10^{20}cm^{-3}$ はピエゾ抵抗係数が 20%まで低下する濃度であり、これが一因と考えられる。発表当日までには〈110〉でのゲージ率を確認し、計算値との差について報告する予定である。

表１． p 型ピエゾ抵抗のゲージ率比較

		計算値	測定値	
			前回報告 [6]	今回試作
試作したカンチレバーの長手方向の結晶方位	〈100〉	8.63	1.83	0.50
	〈110〉	121.8	27.1	確認中
p 型ピエゾ抵抗の推定不純物濃度		ボロン$1\times10^{18}cm^{-3}$ 以下想定	ボロン $10^{17}cm^{-3}$ のオーダーと推定 ただし、リン/ボロンのドーパント注入過多	ボロン 約$1\times10^{20}cm^{-3}$
備考		各結晶方位のヤング率、ピエゾ抵抗係数より算出	ピエゾ抵抗 ρs =1.05kΩ/□	ピエゾ抵抗 ρs =105Ω/□

＜参考文献＞
[1] 原史朗, クンプアンソマワン,「ミニマルファブの開発とそのデバイスプロセス」, 応用物理, 83(5), 380 (2014).
[2] クンプアンソマワン,「ミニマルファブにおけるデバイスプロセス開発事例」, クリーンテクノロジー, Vol.23. No.12 (2014).
[3] Y. X. Liu et al., Jpn. J. Appl. Phys. 57, 06HD03-1-6, 2018.
[4] Tuan Anh Phan, 他, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 6p-C21-13(2017).
[5] 田中宏幸, 他, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会 21p-233-7(2018).
[6] 小粥敬成, 他, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会 19p-Z24-5(2021).
[7] Y. Kanda, IEEE *Trans., ED-29 (1982).*
謝辞：この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の助成事業（JPNP12004）の結果得られたものです。

© 2021年 応用物理学会