

ภาคผนวก ก.

ค่าคงที่ทางฟิสิกส์

ตารางที่ ก1 ค่าคงที่ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ มีดังต่อไปนี้

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
ค่าคงที่ของพลังค์	h	6.63×10^{-34}	J.s
ประจุอิเล็กตรอน	q	1.60×10^{-19}	C
ค่าคงที่ของโบสท์มานด์	k	1.38×10^{-23}	J/K
เปอร์มิติวิตีในสุญญากาศ	ϵ_0	8.85×10^{-14}	F/cm

ภาคผนวก ข.

ตารางมาตรฐานการวัดเครื่องอิลลิปโซมิเตอร์

FE III FOCUS ELLIPSOMETER

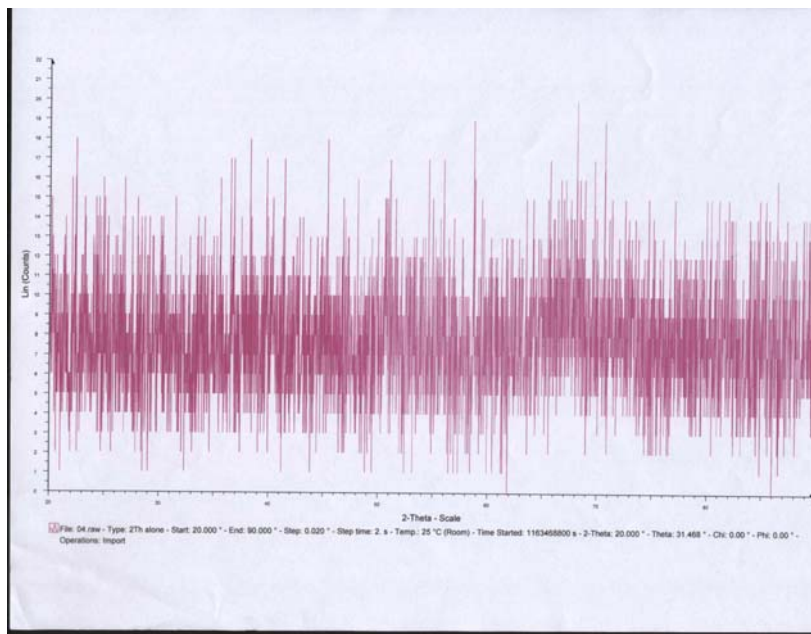
SOFTWARE SPECIFICATIONS

Mapping:	2D and 3D color & black/ white.
Recipe Creator:	Software for creating a wafer recipe. User can choose film stack and parameter for result.
Interactive Mode:	Provides semi-automatic operation of the FOCUS Ellipsometer.
Operator Program:	Allows the user to run recipes and monitor the data in real time.

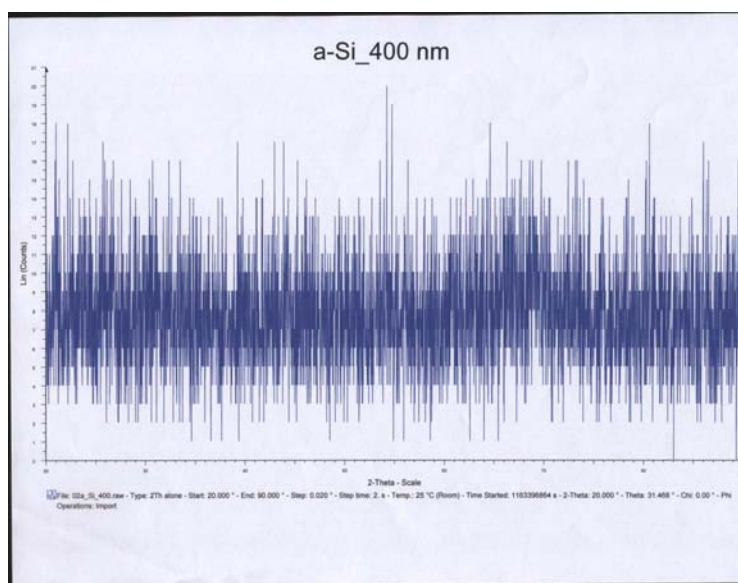
FOCUS ELLIPSOMETER MATERIAL SPECTRA LIBRARY VALUES

MATERIAL	N(633)	K(633)	dN(780)	K2(780)
A-Si	4.5180	0.2320	-0.3870	0.0380
A-Si EMA	4.5170	0.2320	-0.3868	0.0380
AIR	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
AL	0.9800	6.4900	0.9700	7.4700
AL2O3	1.7600	0.0000	-0.0060	0.0000
ALCU	1.1390	5.9910	0.8480	6.5450
CARBIDE	2.6100	0.0000	-0.0670	0.0000
CARBON	2.0000	0.6000		
E-RESIST	1.5300	0.0000	-0.0050	0.0000
GAAS	3.8560	0.1960		
GAAS-OX	1.8500	0.0000		
I-TIN-OX	1.8000	0.0000		
N-RESIST	1.6200	0.0000	-0.0090	0.0000
OXINTER	2.8000	0.0000	-0.0890	0.0000
OXYNITRD	1.7500	0.0000	-0.0080	0.0000
P-RESIST	1.6400	0.0000	-0.0090	0.0000
POLY-SI	4.0000	0.0580	-0.2100	0.0250
POLY-EMA	3.9870	0.0590	-0.2185	0.0124
POLYIMID	1.6900	0.0000	-0.0150	0.0000
POLYINTR	3.3800	0.0500	-0.1600	0.0200
PT-SI	4.7430	0.8730		
SI	3.8580	0.0180	-0.1780	0.0063
Si3N4	2.0000	0.0000	-0.0120	0.0000
SiO2	1.4620	0.0000	-0.0030	0.0000
TA2O5	2.1000	0.0000		
TEOS	1.4500	0.0000	-0.0030	0.0000
TI	2.1600	2.9300	0.7100	3.3300
TIN	1.2100	2.6630	0.2050	3.5780
TIN-Seed	0.8580	2.5380	-0.0030	3.6360
TiO2	2.8800	0.0000		
TiS2	2.6930	2.6060	0.2950	2.7660
TiS2-Den	2.6930	2.3550	0.2950	2.4570
W-SI	3.8930	2.4160		

ภาคผนวก ค.
ผลการวัด a-Si จากเครื่อง XRD



ค่ามาตรฐาน a-Si จากเครื่อง XRD



ผลการวัด a-Si จากเครื่อง XRD

ภาคผนวก ง.

ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสารเจือ กับ ความหนาแน่นอะตอม
สารเจือ กับ พลังงานการยิงฝังประจุ

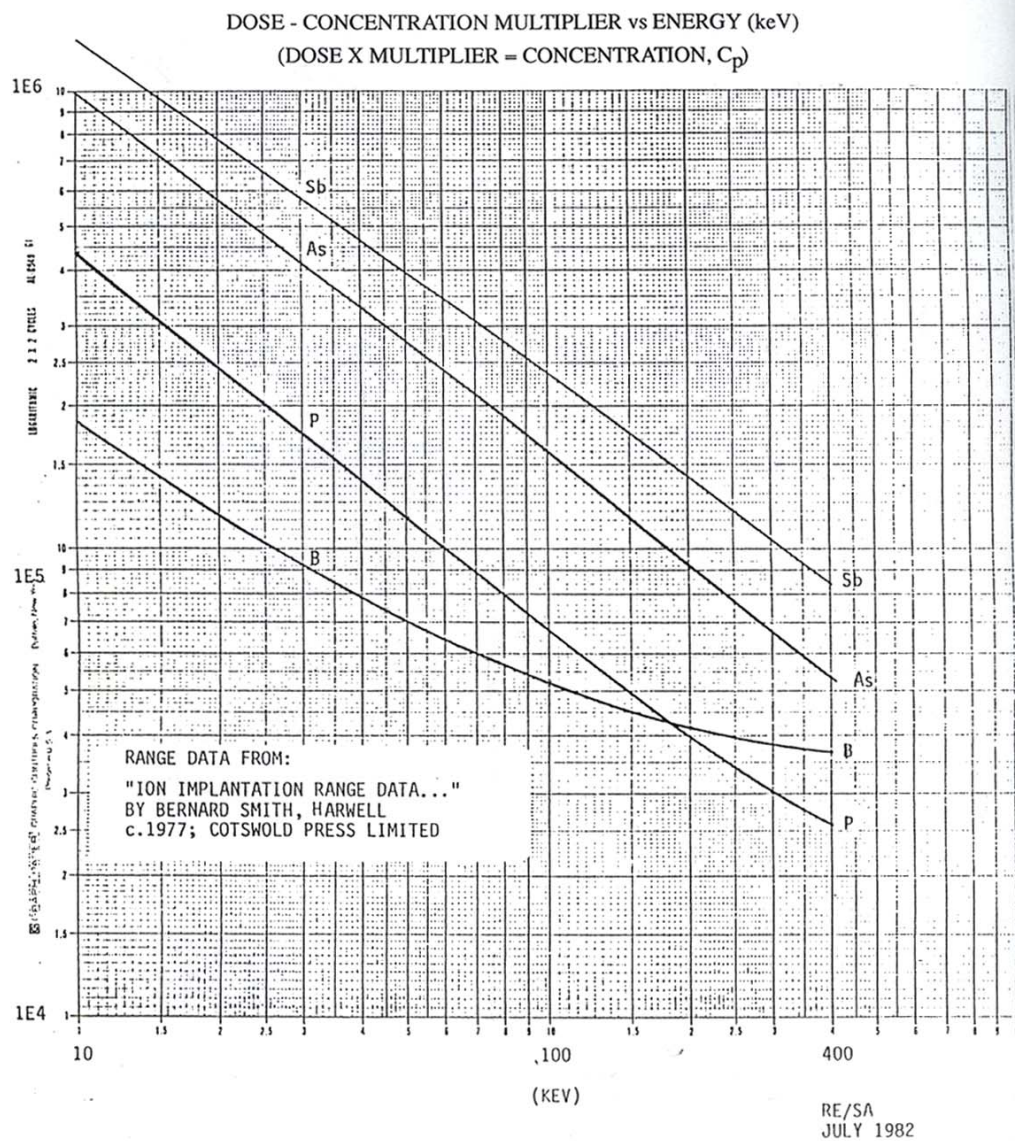


Table 3-2
Dose - Concentration Multiplier

ภาคผนวก จ.

ตารางความลึกในการยิงฝังประจุ

Energy (keV)	Boron		Phosphorus		Arsenic		Antimony	
	R _p	ΔR _p	R _p	ΔR _p	R _p	ΔR _p	R _p	ΔR _p
10	0.034	0.021	0.015	0.009	0.010	0.004	0.009	0.003
20	0.062	0.034	0.026	0.016	0.016	0.007	0.014	0.005
30	0.100	0.043	0.038	0.022	0.022	0.009	0.019	0.007
40	0.131	0.051	0.050	0.028	0.027	0.012	0.023	0.008
50	0.162	0.057	0.062	0.033	0.032	0.014	0.027	0.010
60	0.191	0.062	0.074	0.039	0.037	0.016	0.031	0.011
70	0.220	0.066	0.087	0.044	0.043	0.018	0.035	0.012
80	0.248	0.070	0.099	0.050	0.048	0.020	0.038	0.013
90	0.274	0.073	0.112	0.055	0.053	0.022	0.042	0.015
100	0.299	0.076	0.125	0.059	0.058	0.024	0.046	0.016
120	0.348	0.081	0.151	0.069	0.068	0.028	0.053	0.018
140	0.394	0.085	0.177	0.078	0.078	0.032	0.060	0.021
160	0.438	0.088	0.204	0.086	0.088	0.036	0.067	0.023
180	0.479	0.091	0.230	0.094	0.099	0.039	0.074	0.025
200	0.519	0.093	0.256	0.101	0.109	0.043	0.081	0.028
240	0.595	0.097	0.309	0.114	0.130	0.050	0.094	0.032
280	0.665	0.101	0.362	0.126	0.141	0.054	0.108	0.036
300	0.699	0.102	0.389	0.132	0.152	0.058	0.115	0.038
320	0.732	0.103	0.415	0.137	0.163	0.061	0.122	0.040
360	0.795	0.105	0.467	0.147	0.174	0.065	0.135	0.045
400	0.855	0.107	0.518	0.156	0.218	0.078	0.149	0.049
500	0.955	0.111	0.638	0.174	0.274	0.094	-----	-----
750	1.329	0.118	0.916	0.206	0.417	0.130	-----	-----
1000	1.647	0.124	1.165	0.228	0.561	0.160	-----	-----
2000	2.846	0.139	1.980	0.270	1.129	0.250	-----	-----

Ref: Smith, B.: "Ion Implantation Range Data..."
Cotswald Press. 1977. (Harwell)

Range Data for Common Dopants into Silicon
(in microns, multiply by 10,000 for Å)

ภาคผนวก จ
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่



ISSN 1905-6702

Laos Journal on Applied Science

Vol.1 No.1 November 2006

SPECIAL ISSUE



Co-Sponsored by : ICTP

1st International Conference On Applied Science (ICAS 2006)
5-7 November 2006
Vientiane, Laos

Organizers : Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Faculty of Science, National University of Laos

Study of Polycrystalline and Amorphous Silicon Film Resistance as Resistor in Piezoresistive Pressure Sensor

Karoorn Saejok^{1,2}, Ekalak Chaowicharat¹, Montree Saenlamool¹, Kowit Sowsuwan¹,
Chamdet Hruanun¹, Surasak Niemcharoen² and Amporn Poyai¹

¹ Thai Microelectronics Center (TMEC),
National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC),
51/4 Moo 1, Wangtakien District, Amphur Mueang, Chachoengsao 24000, Thailand
Tel: +66-3885700 to 9, Fax: +66-3885-7175, Email: karoorn.saejok@nectec.or.th

²Electronic Research Center, Department of Electronics, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Chalongkrung Road, Ladkrabang
Bangkok 10520, Thailand

ABSTRACT

This paper focuses on improving the properties of polysilicon based resistor in piezoresistive pressure sensor (poly-resistor) by examining various properties. The first experiment examines the difference between two types of silicon film namely: polycrystalline silicon and amorphous silicon. The examination concentrated on sheet resistance after ion implantation and annealing. The measurement using four point probe showed that sheet resistance of amorphous silicon is lower than polysilicon by 34.38%. The difference was attributed to the grain size after annealing of amorphous silicon which is significantly larger than the polysilicon. The next experiment concerned the relationship between contact resistance, film types, and sheet resistance. The Crossed Bridge Kelvin (CBK) structure was used to measure the contact resistance. It will be shown that contact resistance is strongly related to sheet resistance. However, silicon film type is indirectly related to the contact resistance. The final experiment found that the Temperature Coefficient of Resistance of amorphous silicon is positive and consistently higher than polysilicon for all of the implantation doses used.

A pressure sensor was fabricated using this condition of low sheet resistance for piezoresistor has sensitivity of 0.12 mV/V/kgf/cm². This paper will be useful for choosing film type and annealing technique for sensors which need low sheet resistance because it can reduce contact resistance and increase sensitivity while keeping the dose of ion implantation at manageable level.

KEYWORDS: Polysilicon, amorphous silicon, ion implantation, sheet resistance, contact resistance, temperature coefficient

1. INTRODUCTION

This research investigates the fabrication of polysilicon based resistor (poly-resistor) to support our integrated circuit and MEMS fabrication technologies. For example, CMOS transistors require polysilicon to be used as gate electrodes, likewise, certain type of MEMS pressure sensor also used poly-resistor as strain gauge.

Poly-resistors are normally fabricated from two types of film: polysilicon and amorphous silicon. After which, the film will be doped to the desired level using an ion implantation technique. There are other doping techniques, such as spin dope [3], that are less time consuming. However, the resulting doping level is less controllable than the ion implantation. Therefore, in this study, the ion implantation technique was chosen, because it can control the resistance more accurately. After the implantation, the doped film will need to be annealed to activate the doping ions. The resistance of poly-resistor will depend on the doping concentration.

The fabrication of poly-resistor with low resistance will need to control the temperature coefficient of resistance (TCR) to be higher than zero, otherwise the property of the resistor will be similar to Schottky barrier. As a result, the response of the pressure sensor will be nonlinear [4].

To achieve a low resistance value, it is necessarily to use high level of doping concentration, hence, requiring a long period of time and also high ion current [5]. In this study, it is essential that an appropriate annealing conditions and thin film selection be chosen, so that a low resistance poly-resistor can be fabricated without over usage of the ion implanter. Furthermore, contact resistance can also affect a piezoresistive pressure sensor. This study will achieve low contact resistance by reducing the sheet resistance of the poly-resistor.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 The study of sheet resistance of poly-resistor fabricated from polysilicon and amorphous silicon

The process flow for this experiment is shown in figure 1. The experiment started with n-type <100> silicon wafers with $6\ \Omega\text{-cm}$ resistivity. Silicon dioxide of 100 nm was then thermally grown. After that, LPCVD Si_3N_4 was deposited to the thickness of 70 nm. The experiment was then splitted into two parts:

2.1.1 The first part (wafer no.1) involved the deposition of 400 nm polysilicon film using LPCVD technique at $625\ ^\circ\text{C}$.

2.1.2 The second part (wafer no.2) involved the deposition of 400 nm amorphous silicon film using LPCVD technique at $560\ ^\circ\text{C}$.

The two parts of experiment will be combined for the rest of this experiment.

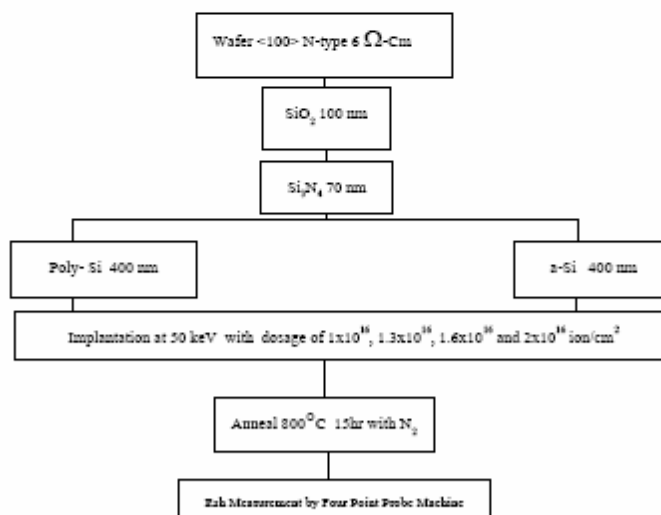


Figure 1. The process flow for this experiment.

2.1.3 Both wafers were then ion implanted with Boron ($^{11}\text{B}^+$) at 50 keV. The dosages were 1.0×10^{16} , 1.30×10^{16} , 1.6×10^{16} and 2.0×10^{16} ion/cm² with the dosage mapping as shown in

figure 2. This was achieved by photolithography technique to mask the appropriate sections of the wafers.

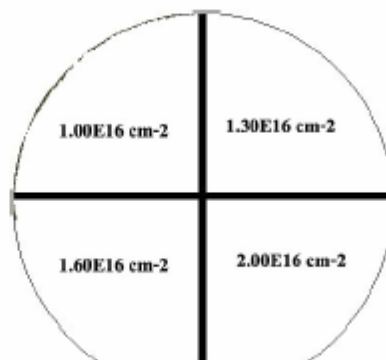


Figure 2. Wafer mapping.

2.1.4 The wafers were then annealed at 800 °C for 15 hours in N₂ atmosphere with the flow of 10 liter/min. After that, the sheet resistance of each section was measured using four point probe. The result is shown in figure 3.

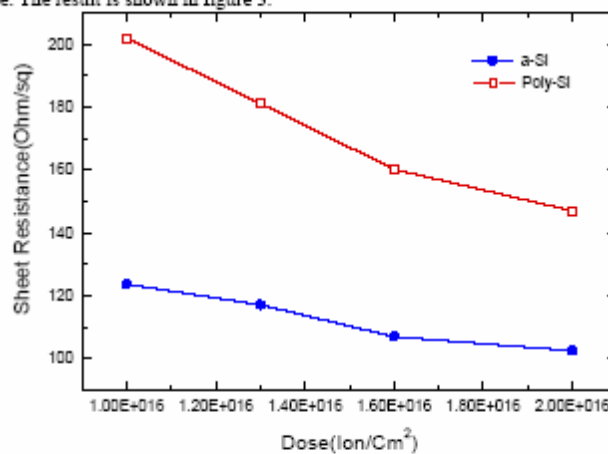


Figure 3. Sheet resistance (Ohm/□) on wafer no.1 and no.2.

2.1.5 The scanning electron micrographs for both wafers shows grain size for wafer no.1 and wafer no.2 in figure 4 and figure 5 respectively.

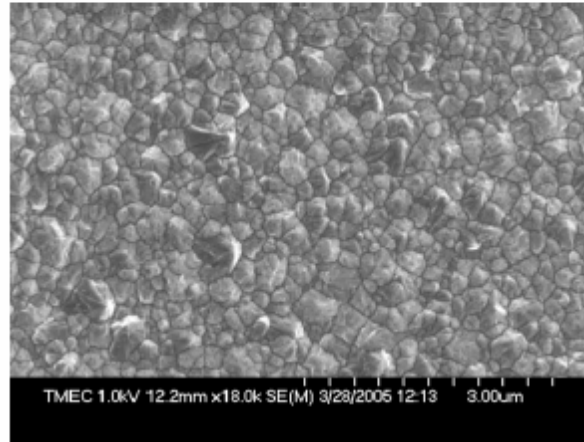


Figure 4. Polysilicon film after ion implantation and annealing.

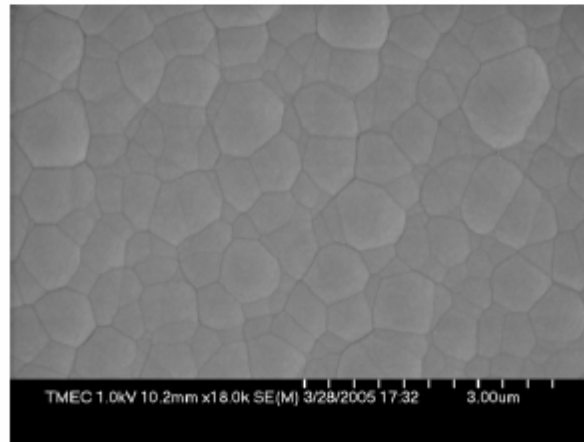


Figure 5. Amorphous silicon after ion implantation and annealing.

2.2 The study of contact resistance.

This is the study of contact resistance between the surface of doped polysilicon film and metal (aluminum). The contact resistance (R_c) can be measured using the Cross Bridge Kelvin (CBK) structure [7]. It can be calculated from the following equation:

$$R_c = \frac{V_H - V_L}{I_{in}} \quad (1)$$

The experiment has the following steps.

2.2.1 Using the photolithography technique, the patterns of CBK structure were printed on both wafers from the previous experiment.

2.2.2 The silicon film was then patterned using dry etching technique. The remaining photoresist was subsequently removed using both oxygen plasma ashing and wet chemical cleaning.

2.2.3 TEOS based silicon dioxide was deposited using LPCVD technique on top of the CBK structures.

2.2.4 Square holes of 10 μm x 10 μm were opened using dry etching technique to be used as contact holes.

2.2.5 500 nm of Al alloy (Al (98%): Cu (0.5%): Si (1.5%)) was sputtered on top of both wafers.

2.2.6 Using the photolithography technique, the patterns of metal wires and pads were printed on both wafers.

2.2.7 The metal film was patterned using dry etching technique. The resulting CBK structure is shown in figure 6. After removing the photoresist, the wafers were sintered at 450 $^{\circ}\text{C}$ for 45 minutes inside 3% H_2 / 97% N_2 atmosphere.

2.2.8 The result is shown in table 1 and figure 7.

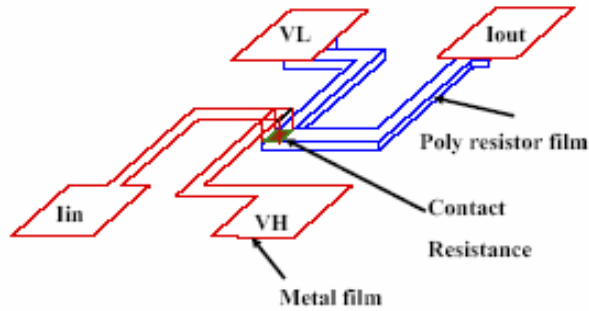


Figure 6. Cross Bridge Kelvin Structure

Film type for Poly-resistor	Dose (ions/ cm^2)	Sheet Resistance (Ohm/sq)	Contact Resistance(Ohm) (10 μm x10 μm)
Polysilicon	1.00x10 ¹⁶	201.9	38.9
	1.30 x10 ¹⁶	181.7	35.1
	1.60 x10 ¹⁶	158.3	31.2
	2.00 x10 ¹⁶	147.1	28.6
Amorphous silicon	1.00 x10 ¹⁶	123.7	24.1
	1.30 x10 ¹⁶	117.2	23.2
	1.60 x10 ¹⁶	106.2	22.3
	2.00 x10 ¹⁶	102.6	21.3

Table 1. The measurement result of sheet resistance and contact resistance with respect to film types and implantation doses.

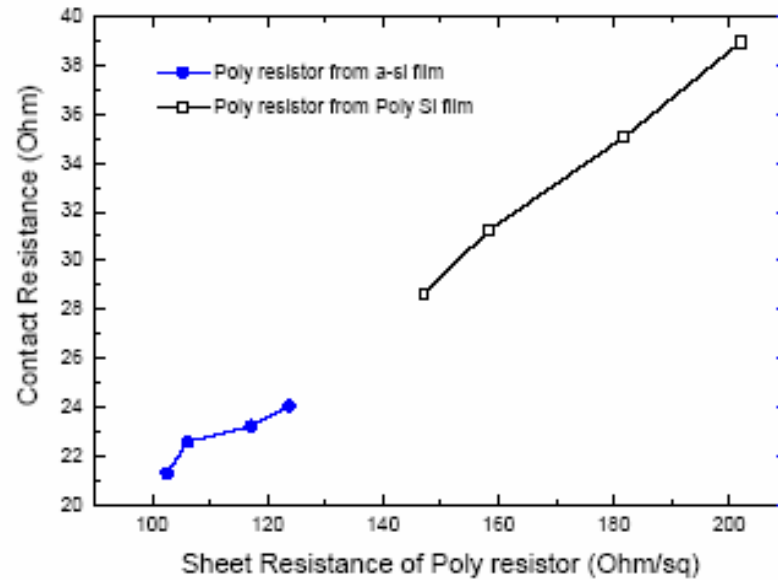


Figure 7. The relationship between sheet resistance of poly-resistor and contact resistance.

2.3 The study of Temperature Coefficient of Resistance

This experiment involves measuring the resistance of poly-resistors with the temperature ranging from 13 to 100 °C. The Temperature Coefficient of Resistance (TCR) can be calculated from equation 2.

$$TCR = \frac{R2 - R1}{R1(T2 - T1)} \quad (2)$$

Where R1 is the resistance at the reference temperature,
 R2 is the resistance at the current temperature,
 T1 is the reference temperature,
 T2 is the current temperature.

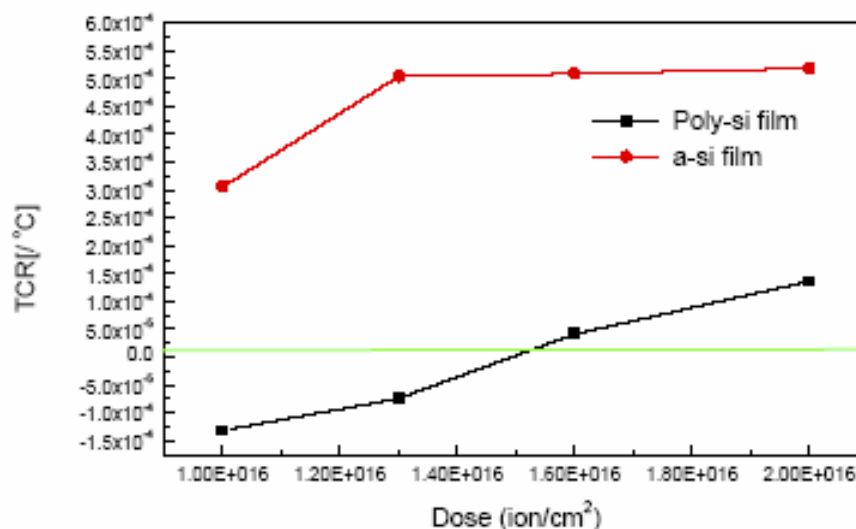


Figure 8. The relationship between doping concentration and TCR of polysilicon film and amorphous silicon film.

3. RESULTS AND DISCUSSION

From the first experiment, the average value of R_{sh} for polysilicon film is higher than amorphous silicon film by 34.38%. After annealing the films, the grain size of amorphous silicon film is larger than polysilicon film [4]. This can be seen from figure 4 and 5.

The second experiment shows that contact resistance from polysilicon film is consistently higher than amorphous silicon film in every doping condition. However, figure 7 shows that contact resistance has almost linear relationship with respect to sheet resistance. Hence, it can be concluded that contact resistance is strongly influenced by sheet resistance, and therefore doping concentration, rather than the type of silicon film. The film type has only indirect relationship with the contact resistance in term of determining the sheet resistance as shown in the previous experiment.

The result from the third experiment shows that TCR of amorphous silicon film is greater than zero for the dosage used in this experiment. On the other hand, polysilicon film exhibited a negative TCR for the dosage below 1.5×10^{16} ion/cm². Furthermore, the film showed properties similar to Schottky barrier which will affect the linearity of TCR. As a result, it will be more difficult to apply as a temperature sensing device.

From the experiments, one condition was chosen to be used in fabricating a pressure sensor as shown in figure 9. The poly-resistor was made from amorphous silicon film. The film was implanted with the dosage of 1.3×10^{16} ion/cm² at 50keV. Then, the film was annealed at 800 °C for 15 hours in N_2 atmosphere. The average sheet resistance is 117 Ohm/□.

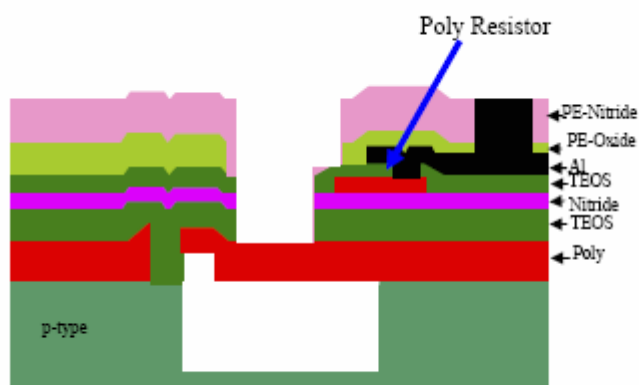


Figure 9. Pressure sensor cross-sectional structure.

3.1 In order to study the relationship between the resistance and pressure, a test was performed with different value of compressed air pressure. The result is summarized in figure 10.

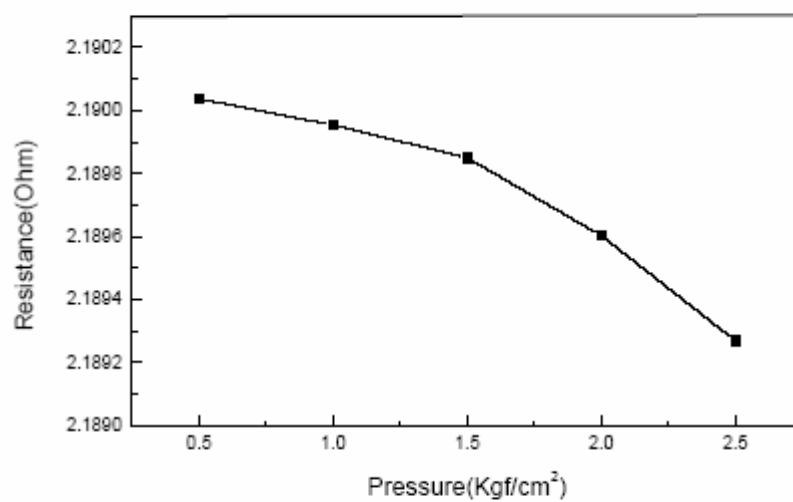


Figure 10. The relationship between pressure and resistance.

3.2 In order to study the relationship between pressure and output voltage, a Wheatstone bridge is used. The supply voltage for the bridge is set at 10 V. The result is shown in figure 11.

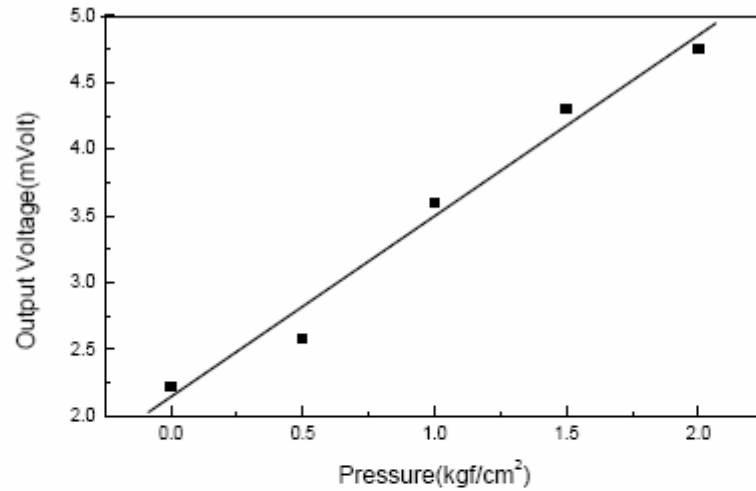


Figure 11. The relationship between pressure and output voltage.

From figure 11, the sensitivity of the pressure sensor can be calculated from equation 3.

$$S = \frac{\Delta V}{V_i \Delta P} \quad (3)$$

Where S is sensitivity,

ΔV is the output of the Wheatstone bridge,

ΔP is the change in pressure,

V_i is the supply voltage of the bridge.

The sensitivity from figure 11 is calculated to be 0.12 mV/V/kgf/cm².

4. CONCLUSIONS

Amorphous silicon film is more suitable than polysilicon film to fabricate strain gauge for piezoresistive pressure sensors. Not only it can achieve lower sheet resistance and contact resistance within the required range, but also its TCR is positive and higher than polysilicon film. After an actual pressure sensor was fabricated using amorphous silicon film as strain gauge, with the doping and annealing condition chosen from the experiments, the sensitivity is found to be 0.12 mV/V/kgf/cm².

5. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the staffs from both TMEC and NECTEC that have been extremely helpful for this project. Without you, this work cannot happen.

6. REFERENCES

- [1] Siamchai, P. 2002 Thailand's First Integrated Circuit Fabrication Facility (2), *EECON25*
- [2] Wolf, S. and Tauber, R.N. 1986 *Silicon Processing For VLSI Vol. 1: Process Technology*. Sunset Beach, California, Lattice Press.
- [3] Wolf, S. and Tauber, R.N.. 1995 *Silicon Processing For VLSI Vol. 3: The Submicron MOSFET*. Sunset Beach, California, Lattice Press.
- [4] French, P.J. 2002 Polysilicon: a versatile material for Microsystems, *Sensor and Actuators A* 99, pp. 3-12
- [5] Saejok, K., et.al. 2004 "A Study of Bernas Type Ion Source in Ion Implanter", *EECON27*, pp. 269-272.
- [6] Gupta, S. 2002 Effect of Boron and BF₂⁺ Implant on Polysilicon Resistors, *Journal of The Electrochemical Society*, 149(4), pp. G271 – G275
- [7] Bunjongpru, W., et.al. 2005 Investigation of Reduction of AlSiCu/Si contact resistance due to Si-precipitate for Fabrication of Microelectromechanical System, *EECON28*, pp. 1173-1180.



The EECON-29 Conference Joins the Sixtieth Anniversary Celebration of His Majesty's Accession to the Throne

29th Electrical Engineering Conference
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ ๒๙

Volume II

- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

๙-๑๐ พฤศจิกายน ๒๕๕๙
ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี

WD Western Digital
สำนักงาน สลากกินแบ่งรัฐบาล
TOT NECTEC
a member of NSTDA

ดำเนินการโดย STC
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การพัฒนาการสร้างบ่อชนิดเอ็นโดยปรับเพิ่มอุณหภูมิการแอนนัล สำหรับวงจรรวมชนิดซีมอส
ขนาด 0.8 ไมโครเมตร

Development N-WELL Fabrication by Increasing Temperature of Annealing
For 0.8 μ m CMOS Integration

การุณ แซ่จอก^{1,2} มนตรี แสนสมุท¹ อนุชา เรืองพานิช¹ เอกธรา รัตนอุดมพิสุทธ์¹ เอกภัคณ์ เขียววิวัฒน์¹ ชาญเดช หล่อนันท์¹
สุรศักดิ์ เนียมเจริญ¹ และ อัมพร โพธิ์โย¹

¹ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

51/4 หมู่ 11 จังหวัดเชียงใหม่ 50000 โทร. 030-857-100 ถึง 9 email: karoon.saejok@necotec.or.th

²ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3 หมู่ 2 ถนนลาดพร้าว เขตคลองจั่น กรุงเทพมหานคร 10520

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้นำเสนอการปรับปรุงกระบวนการแอนนัล ของ การสร้างบ่อชนิดเอ็น (N-Well) โดยการเพิ่มอุณหภูมิจาก 1,050 องศาเซลเซียสเป็น 1,150 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ความลึกของสารเจือ (Xj) 1.8 μ m และ ค่าความต้านทานเชิงแผ่น (Rsh) 2.3 $\text{k}\Omega/\square$ สำหรับ วงจรรวม 0.8 μ m CMOS และนำกระบวนการจำลอง (Simulation) ด้วยโปรแกรม TSUPREM4 ช่วยในการวิจัยหาเงื่อนไขเวลาในการแอนนัล และปริมาณสารเจือที่เหมาะสม ผลการวิจัยพบว่าอุณหภูมิในการแอนนัล 1,150 องศาเซลเซียส ในการสร้างบ่อชนิดเอ็น ใช้เวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ที่เงื่อนไขการยิงที่ประจุชนิดฟอสฟอรัส (P^+) ที่ปริมาณสารเจือ $4.0 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ พลังงาน 140keV ได้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดของ ความต้านทานเชิงแผ่นเทียบกับเป้าหมายเท่ากับ 5.7% ซึ่งเป็นค่ายอมรับได้ในการนำเงื่อนไขไปสร้างบ่อชนิดเอ็นของ 0.8 μ m CMOS จะเห็นว่า ประหยัดเวลาในกระบวนการผลิตไปมาก เมื่อเทียบกับการแอนนัลที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียสซึ่งต้องใช้เวลานานในการแอนนัลถึง 18 ชั่วโมง

คำสำคัญ : การจำลอง, ความลึกของสารเจือ และ บ่อชนิดเอ็น

Abstract

This paper presents the improving of anneal process by increasing the temperature from 1,050 $^{\circ}\text{C}$ to 1,150 $^{\circ}\text{C}$ for N-Well in 0.8 μ m CMOS Fabrication at Junction depth (Xj) of 1.8 μ m and Sheet Resistivity (Rsh) 2.3 $\text{k}\Omega/\square$. TSUPREM4 programming is used in simulation this project to quickly find the anneal time and implant condition for helping actual fabrication. The results of actual fabrication are the annealing was done at 2 hrs and 30 min. for 1,150 $^{\circ}\text{C}$ as Implant condition P^+ species, Dose 4×10^{12} and energy 140keV. The data is represented as Rsh, Concentration Profile and Xj and found that the result of process fabrication closely matches with the target which

showed that average of percentage error between process fabrication and target of Xj is 1.7% and average of percentage error between process fabrication and target of Rsh is 5.7%. We found that the anneal process at 1,150 $^{\circ}\text{C}$ temperature can reduce time a lot for process fabrication compare with 1,050 $^{\circ}\text{C}$ temperature which have to use time 18 hrs.

Keywords: Simulation, Junction Depth and N-Well

1. บทนำ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อสนับสนุนและพัฒนาการสร้างวงจรรวมด้วยเทคโนโลยี 0.8 μ m CMOS [1-2] โดยพัฒนาการสร้างบ่อชนิดเอ็น ซึ่งเป็นโครงสร้างหนึ่งภายใน CMOS แต่การสร้างบ่อชนิดเอ็นนั้นจะต้องควบคุมตัวแปร 2 ประการคือ 1.ปริมาณสารเจือ เพราะค่าปริมาณสารเจือมีผลต่อค่า V_{th} (Threshold Voltage) [3] ภายในอุปกรณ์ CMOS และ 2.ค่าความลึกของสารเจือ เพื่อป้องกันการเกิดการลัดวงจรระหว่าง Junction Source/ Drain กับ ซิลิกอน ซับสเตรท เช่น ถ้า บ่อชนิดเอ็น มี Xj ตื้นกว่าระยะความลึกของ Source/ Drain ก็จะทำให้เกิดลัดวงจร ขึ้น ดังนั้นการควบคุมปริมาณสารเจือ และ ค่า Xj จึงเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง

ในการสร้าง CMOS 0.8 ไมครอน[3] ได้กำหนด ให้ N-well มีความต้านทานเชิงแผ่น 2.3 $\text{k}\Omega/\square$ และ Xj 1.8 μ m [5] และ P-Source/Drain มี Xj 0.5 μ m ซึ่งจะเห็นว่า บ่อชนิดเอ็น มี Xj มากกว่า P-Source/Drain เป็นจำนวน 1.3 μ m เพื่อป้องกัน Punch through [3] ในการควบคุม Xj ของ บ่อชนิดเอ็นนั้น จะขึ้นกับพลังงานในการยิงที่ประจุ ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ 1 [4]

$$R = \frac{1}{N} \int_0^{-E} \frac{dE}{\sin(E) + \cos(E)} \quad (1)$$

R คือระยะเฉลี่ยที่ไอออนจะเข้าไปในเนื้อซิลิกอนมีหน่วยเป็นเมตร (m)

EL23

Σ คือพลังงานในการยิงประจุ มีหน่วยเป็น eV
 S_n (Σ) คือ Nuclear Stopping เป็นอัตราการสูญเสียพลังงานต่อระยะทางในการชนกับอะตอมต่อระยะทาง มีหน่วยเป็น eV/nm
 S_e (Σ) คือ Electronic Stopping เป็นอัตราการสูญเสียพลังงานต่อระยะทางในการinteraction กับอิเล็กตรอนต่อระยะทางมีหน่วยเป็น eV/nm
 N คือ Atomic numberของไอออนที่เข้าไปในเนื้อซิลิคอน
 นอกจากนี้ข้อมูลและเวลาในการแอนนัลมีผลต่อความลึกสารเจือของN-Well เช่นกัน โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2 [4]

$$X_j = (4Dt \ln \frac{Q_0}{C_{sub} \sqrt{\pi D t}})^{1/2} \quad (2)$$

X_j คือ ความลึกของสารเจือ

D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่

t คือ เวลาในการแอนนัล

C_{sub} คือ ความเข้มข้นสารเจือของแผ่นฐานรอง

Q₀ คือ ปริมาณสารเจือจากการยิงประจุ

จากการวิจัยที่ผ่านมา [6] ได้ทำการสร้างบ่อชนิดเอ็นที่เจือไน มีรายละเอียดดังนี้คือ อิมพลิงเจอร์ชนิด p^+ ที่ปริมาณสารเจือ $4 \times 10^{13} \text{ ion/cm}^2$ พลังงาน 140 keV และที่อุณหภูมิในการแอนนัล 1,050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้เวลาในการแอนนัลนานมาก งานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาระบบการแอนนัล โดยเพิ่มอุณหภูมิจาก 1,050 องศาเซลเซียส ไปเป็นอุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิมาตรฐานทั่วไปคือไม่เกิน 1,200 องศาเซลเซียสที่ใช้สร้างในอุตสาหกรรมเพราะจะทำให้เกิดของแผ่นเวเฟอร์เกิดการเสียรูป[3]) ทำให้เวลาในการแอนนัลลดลงตามความสัมพันธ์ที่ 2 นอกจากนี้การวิจัยนี้ยังนำไปโปรแกรม TSUPREM4 [5] มาช่วยในการ simulation เพื่อลดเวลาในการวิจัย

2. การทดลอง และผลการทดลอง

2.1 การทดลอง simulation ด้วยโปรแกรม TSUPREM4 สร้าง บ่อชนิดเอ็น ด้วยเงื่อนไขดังนี้ โดยมีเงื่อนไขแผ่น substrate ที่ความต้านทานแผ่น $6 \Omega\text{-cm}$ และ ความหนา Screen Oxide 150 อังสตรอม

2.1.1 สร้าง บ่อชนิดเอ็น ที่เจือไนการยิงประจุดังตารางที่ 1 ดังนี้

Wafer No.	Species	Implant condition Dose(Ion/cm ²)/ Energy(keV)	Anneal time (min)
1	p^+	$4.0 \times 10^{13}/140$	100
2	p^+	$4.0 \times 10^{13}/140$	150
3	p^+	$4.0 \times 10^{13}/140$	180
4	p^+	$4.0 \times 10^{13}/140$	200

2.1.2 Anneal ที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ที่เวลาตามตารางที่ 1

2.1.3 ทำการประมวลผล ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประมวลผล simulation ด้วยโปรแกรม TSUPREM4 จากเงื่อนไขตารางที่ 1

Wafer No.	Species	Sheet Resistivity ($\Omega/\square$)	X _j (μm)
1	p^+	2.11	1.8
2	p^+	2.10	2.1
3	p^+	2.11	2.24
4	p^+	2.11	2.34

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 พบว่า เจือไนการแอนนัลที่เวลา 100 นาที ได้ค่า X_j ตามที่ต้องการ แต่ค่าความต้านทานเชิงแผ่นมีค่าต่ำกว่า $2.3 \Omega/\square$ จึงทำการทดลองปรับเงื่อนไขการยิงประจุเจือไน เพื่อปรับค่าความต้านทานเชิงแผ่นโดยการ simulation เจือไนตามตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 เงื่อนไขการยิงประจุสำหรับสร้างบ่อชนิดเอ็นที่เวลาแอนนัล 100 นาที ที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส

Wafer No.	Species	Dose (Ion/cm ²)	Energy (keV)
1	p^+	4.0×10^{12}	150
2	p^+	3.6×10^{12}	150
3	p^+	4.0×10^{12}	140
4	p^+	3.6×10^{12}	140

ตารางที่ 4 ผลการประมวลผล simulation ด้วยโปรแกรม TSUPREM4 จากเงื่อนไขตารางที่ 3

Wafer No.	Species	Sheet Resistivity ($\Omega/\square$)	X _j (μm)
1	p^+	2.11	1.8
2	p^+	2.34	1.75
3	p^+	2.11	1.79
4	p^+	2.34	1.75

2.2 ทำการทดลองสร้าง n-well ที่อุณหภูมิในการแอนนัล 1,150 องศาเซลเซียส ด้วยขั้นตอนดังนี้

2.2.1 นำแผ่นซิลิกอน เรเฟอรี ที่มีความต้านทาน 6 Ohm-cm ชนิด P <100> มาทำความสะอาด

2.2.2 ทำการสร้าง Screen Oxide ทน 150 องศาเซลเซียสด้วยกระบวนการ Dry Oxidation ด้วยเตา Furnace

2.2.3 การทดลองยิงจิงด้วยเครื่อง ไอออน อิมпланเตอร์รุ่น Nishin NH-205R [7] ด้วยเงื่อนไขตามตารางที่ 3

2.2.4 ทำความสะอาดแผ่น ด้วยสาร $H_2O_2:H_2SO_4(3:1)$ เป็นเวลา 10 นาที

2.2.5 Anneal ที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ในเวลา 100 นาที

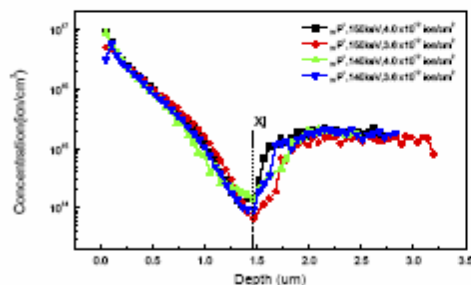
2.2.6 ทำการลอก Screen Oxide

2.2.7 ทำการวัดค่าความต้านทานเชิงแผ่น ด้วยเครื่อง Four Point Probe ได้ผลดังตารางที่ 5

2.2.8 ทำการวัดค่า Xj และ Profile ด้วยเครื่อง SRP ได้ผลดังตารางที่ 5 และ รูปที่ 1

ตารางที่ 5 ผลการทดลองในการนำกระบวนการสร้างจิงจากเงื่อนไขตารางที่ 3

Wafer No.	Species	Sheet Resistivity ($\Omega/\square$)	Xj (μm)
1	$_{11}P^+$	2.372	1.46
2	$_{11}P^+$	2.738	1.47
3	$_{11}P^+$	2.398	1.47
4	$_{11}P^+$	2.677	1.45



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Concentration และ Depth ในกระบวนการสร้างจิง ที่วัดด้วย SRP

จากผลการทดลองพบว่า ผลการ simulation ต่างกับผลการทดลองจริง โดยมี Xj เล็กน้อยต่ำกว่า ผล simulation เท่ากับ 0.3 μm ดังนั้นได้ทำการทดลองการแอนนัลโดยใช้เงื่อนไขการเพิ่มเวลา

ในการแอนนัลตามตารางที่ 1 มีขั้นตอนการทดลอง 2.2.9 -2.2.15 ดังนี้

2.2.9 นำแผ่นซิลิกอน เรเฟอรี ที่มีความต้านทาน 6 Ohm-cm ชนิด P<100> มาทำความสะอาด

2.2.10 ทำการสร้าง Screen Oxide ทน 150 องศาเซลเซียสด้วยกระบวนการ Dry Oxidation ด้วยเตา Furnace

2.2.11 การทดลองยิงจิงด้วยเครื่อง ไอออนอิมพลาเตอร์รุ่น Nishin NH-205R [7] ด้วยเงื่อนไข $_{11}P^+$ ปริมาณสารเจือ $4 \times 10^{12} \text{ ion/cm}^2$ ที่พลังงาน 140keV

2.2.12 ทำความสะอาดแผ่น ด้วยสาร $H_2O_2:H_2SO_4(3:1)$ เป็นเวลา 10 นาที

2.2.13 แอนนัลที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียสที่เงื่อนไขเวลาตามตารางที่ 1

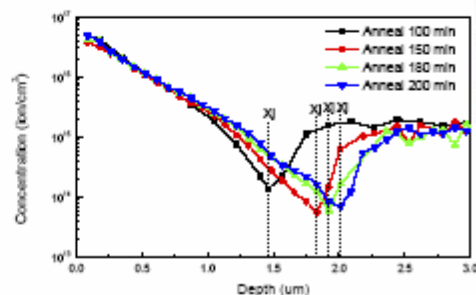
2.2.14 ทำการลอก Screen Oxide

2.2.15 ทำการวัดค่าความต้านทาน ด้วยเครื่อง Four Point Probe ได้ผลดังตารางที่ 6

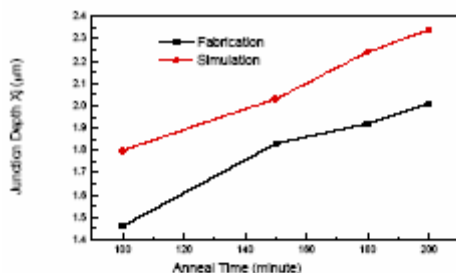
2.2.16 ทำการวัดค่า Xj และ Profile ด้วยเครื่อง SRP ได้ผลดังตารางที่ 6 รูปที่ 2 และ รูปที่ 3

ตารางที่ 6 ผลการทดลองในการนำกระบวนการสร้างจิงจากเงื่อนไขตารางที่ 1

Wafer No.	Species	Sheet Resistivity ($\Omega/\square$)	Xj (μm)
1	$_{11}P^+$	2.398	1.46
2	$_{11}P^+$	2.432	1.83
3	$_{11}P^+$	2.501	1.92
4	$_{11}P^+$	2.513	2.01



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Concentration และ Depth ในกระบวนการสร้างจิง ที่วัดด้วย SRP



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง X_j และ Anneal time จาก Simulation และการสร้างจริง จากตารางที่ 1 และ 6

3. วิเคราะห์ผลการทดลอง

ได้ทำการ Simulation ที่เงื่อนไขตามตารางที่ 1 และที่ 3 เพื่อให้ได้ค่าตามเป้าหมายคือ สร้างบ่อนิกซิลีนที่ X_j เท่ากับ $1.8 \mu\text{m}$ ที่ความดันงานเชิงแผ่น (ส.บ.) $2.3 \times 10^{-2} \text{ Torr}$ การประมวลผลพบว่าได้เงื่อนไขที่คือการใช้เงื่อนไขการยิงประจุชนิด H^+ ปริมาณสารเจือ $3.6 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ ที่พลังงาน 140 keV ซึ่งเป็นผลในตารางที่ 4 โดยจะเห็นว่าการปรับเพิ่มพลังงานการยิงประจุที่จาก 140 keV และ 150 keV มีผลต่อการเพิ่ม X_j น้อยมากที่เงื่อนไขการแอนนัลอุณหภูมิ $1,150$ องศาเซลเซียส และเวลา 100 นาที

เมื่อนำเงื่อนไขตามตารางที่ 3 ไปสร้างจริงพบว่า ได้ค่า X_j เฉลี่ยอยู่ที่ $1.47 \mu\text{m}$ ตามตารางที่ 5 และ รูปที่ 1 โดยได้ค่านี้น้อยกว่าค่าเป้าหมายเท่ากับ 19.4% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับไม่ได้ และพบว่าปรับเพิ่มพลังงานการยิงประจุมีผลต่อการเพิ่ม X_j น้อยมาก เช่นเดียวกับผล Simulation จึงได้ทำการปรับปรุงเวลาในการแอนนัลเพื่อปรับปรุงค่า X_j โดยทำการทดลองสร้างจริงตามเงื่อนไขตามตารางที่ 1 ผลการทดลองจากตารางที่ 6 พบว่าได้เงื่อนไขของเวลาในการแอนนัลเท่ากับ 150 นาที หรือ 2 ชั่วโมง 30 นาที ที่ให้ค่า X_j ได้ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดของ X_j เทียบกับเป้าหมาย เท่ากับ 1.7% และได้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดของความดันงานเชิงแผ่นเทียบกับเป้าหมาย เท่ากับ 5.7% ซึ่งเป็นค่ายอมรับได้ในการสร้างวงจรรวม $0.8 \mu\text{m}$ CMOS

จากผลการทดลองพบว่า ค่า X_j ที่ได้จากการ Simulation มีความต่างจากผลที่สร้างจริง เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง X_j กับ เวลาในการแอนนัลของการสร้างจริงกับการ Simulation จะพบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันเพียงแต่ต่างกันเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งเฉลี่ยประมาณ $0.30 \mu\text{m}$ ดังนั้นเมื่อต้องการพัฒนา X_j ในการเอ็ลสารให้มีความลึกขึ้นในอนาคต สามารถนำค่านี้ไปพิจารณาในการสร้างได้ นอกจากนั้นพบว่าค่าความดันงานเชิงแผ่นของการ Simulation ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเวลาการแอนนัลเพิ่มขึ้น แต่ในการนำไปสร้างจริงกลับพบว่าความดันงานเชิงแผ่นเพิ่มขึ้นที่นี้อาจมีสาเหตุมาจากระยะเวลาใน

การแอนนัลเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณสารเจือส่วนหนึ่งที่อุ้งบนผิวเกิดการแพร่ออกไปสู่ภายนอกส่งผลให้ความเข้มข้นสารเจือบนแผ่นเวเฟอร์ลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามสามารถปรับปรุงปัญหานี้โดยการเพิ่มปริมาณสารเจือในการยิงประจุ ในการเอ็ลสารเพื่อลดค่าความดันงานเชิงแผ่นต่อไป

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าในการสร้างบ่อนิกซิลีน ที่อุณหภูมิการแอนนัล $1,150$ องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้คุณสมบัติ X_j เท่ากับ $1.8 \mu\text{m}$ และความดันงานเชิงแผ่น $2.3 \times 10^{-2} \text{ Torr}$ ใช้เวลาในการแอนนัล 2 ชั่วโมง 30 นาที และเงื่อนไขการยิงประจุชนิด H^+ ปริมาณสารเจือ $4 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ ที่พลังงาน 140 keV พบว่า ได้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดของ X_j เทียบกับเป้าหมาย เท่ากับ 1.7% และได้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดของความดันงานเชิงแผ่นเทียบกับเป้าหมายเท่ากับ 5.7% ซึ่งเป็นค่ายอมรับได้ในการนำเงื่อนไขไปสร้างบ่อนิกซิลีนของ $0.8 \mu\text{m}$ CMOS ต่อไป การเพิ่มอุณหภูมิในการแอนนัล จาก $1,050$ องศาเซลเซียสเป็น $1,150$ องศาเซลเซียส ในการสร้างบ่อนิกซิลีน สามารถลดเวลา จาก 18 ชั่วโมงเป็น 2 ชั่วโมง 30 นาที ซึ่งจะเห็นว่าประหยัดเวลาในกระบวนการผลิตวงจรรวมไปมาก

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณบุคลากร TMEC-NECTEC ทุกท่านที่สนับสนุนการวิจัย และนายอภินันท์ อุทัยรัตน์ และ สกลันเทตโนโลยี พระจอมเกล้าอุตสาหกรรมกระบี่ สงส. ที่อนุเคราะห์ ในการวัดด้วยเครื่อง SRP

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Itti Rittaporn and Pavan Siamchai, "Progress Report on NECTEC's Microelectronics Project", Proceedings The First NECT-ROSEF Joint Seminar on Semiconductors, Nov 30-Dec1, 1999, pp. 30-33.
- [2] Pavan Siamchai, "Thailand's First Integrated Circuit Fabrication Facility (2)", EECON25, 2002
- [3] Stanley Wolf, "Silicon Processing for VLSI Vol. 1: Process Technology", Lattice Press, 1995.
- [4] Stanley Wolf, "Silicon Processing for VLSI Vol. 3: THE SUBMICRON MOSFET", Lattice Press, 1995.
- [5] Anucha Ruangphani, Sarayuth Wisawawansuk, Pawadee Mesappawong, "The development of CMOS Fabrication Technology by TSUPREM-4 & MEDICT" The International Conference on Smart materials, 1-3 December 2004, Chiangmai, Thailand.
- [6] Karoon Saejok, "Study Implantation in N-WELL fabrication for $0.8 \mu\text{m}$ CMOS Integration" EECON 28, 2005, pp.1,073-1,076.
- [7] NH-205R Medium Ion Implanter Operation Manual, Nitron Electric Co., Ltd. Japan.

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28 28th Electrical Engineering Conference



Volume II

ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

Electrical Engineering
Electrical Engineering



Western
Digital®



ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
20 - 21 ตุลาคม 2548
ณ โรงแรม เฟิร์ล วิลเลจ จ.ภูเก็ต

การศึกษาความต้านทานของฟิล์มโพลีซิลิกอน และอมอร์ฟัสซิลิกอนหลังการยิงฝังประจุสำหรับ เซ็นเซอร์วัดความต

Study of poly-Si and a-Si Film Resistance after Implantation for Pressure Sensor

การุณ แซ่จอก^{1,*} มนตรี แสนสมกุล¹ ชาญเดช หล่อมนันท์¹ เอกสิทธิ์ เขาวีชาวัฒน์¹ สุรศักดิ์ เนียมเจริญ¹ อัมพร โพธิ์ไธ

¹ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

31/4 หมู่ 1 จังหวัดนนทบุรี อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000 โทร. 038-837-100 ถึง 9 email: karoon.saejok@nec.or.th

²ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3 หมู่ 2 ถนนลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

บทคัดย่อ

การสร้าง Polycrystalline silicon เพื่อทำตัวต้านทานชนิดที่เป็นที่นิยมใช้ในการตรวจจรรวมและ MEMS บทความนี้จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของค่า Sheet Resistance (R_{sh}) ของ Poly resistor ที่สร้างมาจาก ฟิล์มบางที่ต่างกัน 2 ชนิดคือ โพลีซิลิกอน (Poly-Si) และ อมอร์ฟัสซิลิกอน (a-Si) โดยทำการทดลองสร้างฟิล์มทั้ง 2 ชนิดนี้ ด้วยวิธี LPCVD และทำให้อิมพลานต์เป็นดิวต้า ด้วยการยิงฝังประจุที่ปริมาณสารเจือปนคือ $1E16$, $1.3E16$, $1.6E16$ และ $2.0E16$ ion/cm² หลังจากนั้นนำไปทำการ Annealing ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง เพื่อทำการ Activation แล้วนำไปทำการวัดค่า R_{sh} ด้วยเทคนิค 4 point probe และพบว่าค่าเฉลี่ย R_{sh} ที่จากฟิล์ม a-Si มีค่าเฉลี่ยกว่า Poly-Si เท่ากับ 34.48 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นผลมาจากสาเหตุมาจากหลังจากการ Anneal ขนาด Grain size ของ a-Si มีปริมาณใหญ่กว่า ของ Poly-Si นอกจากนี้พบว่าเมื่อทำการเพิ่มก๊าซ O_2 ในการ Anneal และ การเพิ่ม Screen Oxide ทำให้ R_{sh} เพิ่มขึ้นสาเหตุมาจาก โบรอนบางส่วนเกิดการแพร่ เข้าไปใน ชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ในระหว่าง Annealing งานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบในการเลือกฟิล์มและเทคนิคการ Anneal สำหรับสร้าง Poly resistor ในการนำปสร้างเซ็นเซอร์ที่คือการ R_{sh} ค่าเพราะจะได้ช่วยลดปริมาณสารเจือปนในการยิงฝังประจุได้

คำสำคัญ : โพลีซิลิกอน, อมอร์ฟัสซิลิกอน และ การยิงฝังประจุ

Abstract

Polycrystalline silicon is often used to fabricate p-type resistor in integrated circuit and MEMS. This paper demonstrates the differences of Sheet Resistance (R_{sh}) of poly silicon that was made from between 2 different types of thin film, i.e. Polysilicon (Poly-Si) and amorphous silicon (a-Si) film which are deposited on silicon wafer by Low Pressure Chemical Vapor Deposition (LPCVD) technique and doping this film by Implantation technique with dose ranging from $1E16$, $1.3E16$ and $2.0E16$ ion/cm² and then annealing

at 800 °C temperature for 15 hrs for activation. The sheet resistance (R_{sh}) is then measured with 4-point-probe. The R_{sh} of poly-Si film is 34.48% higher than a-Si film because annealing of an a-Si film would give larger grain size than annealing of a poly-Si film at the same temperature. Also adding O_2 gas during annealing and including Screen Oxide technique in order to increase R_{sh} value because boron will diffuse to oxide layer during annealing. This paper will be useful for choosing film type and annealing technique for sensors which need low R_{sh} because dose of Ion implantation can be reduced.

Keywords: Poly-Si, a-Si and Implantation

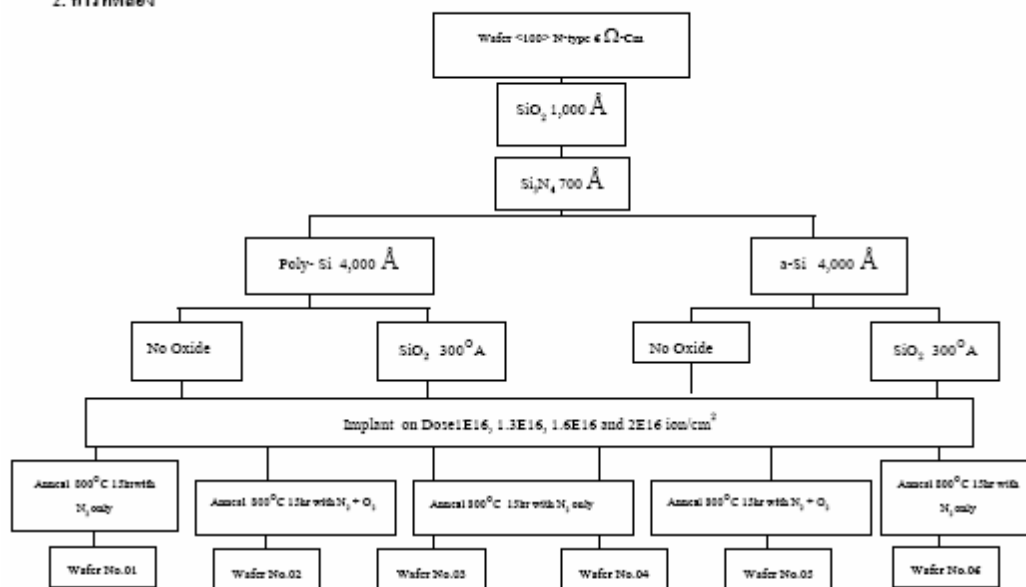
1. คำนำ

การวิจัยนี้เป็นงานวิจัยในการสร้าง Poly Resistor เพื่อสนับสนุนการสร้างจรรวม [1] และ MEMS เช่น การสร้าง Poly Gate ที่จำเป็นคือมี poly resistor เป็นตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้าให้เกิด Inverter ภายในวงจรรวม CMOS [2] ส่วน MEMS จะมีการสร้าง Poly resistor เช่นใช้เป็นส่วนประกอบภายในเซ็นเซอร์วัดความดัน ภายในร่างกายผู้ป่วย เป็นต้น

การสร้าง Poly resistor นั้นโดยทั่วไปสร้างมาจากฟิล์มบางที่ต่างกัน 2 ชนิดคือ Poly-Si และ a-Si แล้วนำไปทำการเจือสารด้วยเทคนิคยิงฝังประจุ แต่มีเทคนิคอื่นในการเจือสารเช่น spin Dope [3] ซึ่งใช้เวลานานในการเจือสารน้อยกว่าแต่มีข้อเสียคือได้ค่าความเที่ยงตรงของปริมาณสารเจือปนน้อยกว่าเทคนิคการยิงฝังประจุ ดังนั้นการวิจัยนี้เราจึงเลือกวิธีการยิงฝังประจุเพราะต้องการควบคุมค่าความต้านทานที่แม่นยำ หลังจากนั้นทำการ Anneal เพื่อ Activation ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 15 ชั่วโมง ค่าความต้านทานของ Poly resistor ขึ้นกับปริมาณสารเจือปนที่ทำการยิงเข้าไปในเนื้อสารและโดยทั่วไป

ถ้าต้องการให้ค่าความต้านทานของ Poly resistor มีค่าต่ำจำเป็นที่จะต้องเจือสารที่มีปริมาณสูงมาก เป็นเหตุให้การเจือสารต้องใช้เวลานานและกระแสสูงมาก [4] ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเป็นทางเลือกวิธีการ Annealing และเลือกชนิดฟิล์มในการสร้าง Poly resistor มีค่าต่ำเพื่อลดการยิงฝังประจุ

2. การทดลอง



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองได้ในรูปที่ 1 และมีรายละเอียดการทดลองโดยเตรียมแผ่นเวเฟอร์ชนิด n-type <100> ที่ความต้านทาน 6 Ω-cm แล้วนำมาสร้างชั้น SiO₂หนา 1,000 Å หลังจากนั้นนำไปทำการสร้าง Si₃N₄หนา 700 Å แล้วแยกนำไปทำการทดลองดังนี้

- 2.1 นำแผ่นเวเฟอร์ หมายเลข 01, 02 และ 03 ไปสร้างชั้น poly silicon หนา 4,000 Å ด้วยเทคนิค LPCVD ที่อุณหภูมิ 550 °C
- 2.2 นำแผ่นเวเฟอร์ หมายเลข 04, 05 และ 06 ไปสร้างชั้น a-si หนา 4,000 Å ด้วยเทคนิค LPCVD ที่อุณหภูมิ 550 °C
- 2.3 นำแผ่นเวเฟอร์ หมายเลข 03 และ 06 มาทำการสร้าง SiO₂ หนา 300 Å ด้วยเทคนิค Thermal Oxide



รูปที่ 2

- 2.4 ทำการยิงยิงประจุโบรอน (B⁺) ที่พลังงาน 50 keV ที่ Dose 1.0E16, 1.30E16, 1.6 E16 และ 2.0E16 Ion/cm² โดยใช้เทคนิคการสร้าง mask ซึ่งสร้างด้วย lithography เพื่อใช้ขึ้นในการยิงประจุให้ได้ความเข้มข้นดังรูปที่ 2

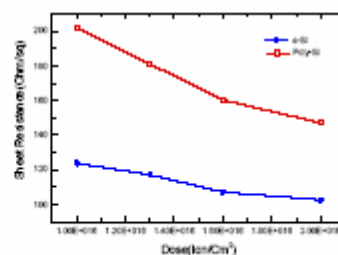
- 2.5 นำแผ่น เวเฟอร์ หมายเลข 01, 03, 04 และ 06 ไป Anneal ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 15 hrs ภายใต้บรรยากาศ N₂ flow 10 liter/min อย่างเดียว แล้วนำไปวัดความต้านทาน

- 2.6 นำแผ่น เวเฟอร์ หมายเลข 02 และ 05 ไป Anneal ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 15 hrs ภายใต้บรรยากาศ N₂ flow 10 liter/min และ O₂ 1 liter/min. แล้วนำไปวัดความต้านทาน

3.ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดลองที่ 1

ผลการวัดค่า Rsh (Ωcm/□) บนแผ่น Wafer No.01 และ 04 ที่ Anneal ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 15 hrs ภายใต้บรรยากาศ N₂ แล้ววัดความต้านทานด้วยเครื่อง 4 point probe ได้ผลดังรูปที่ 3

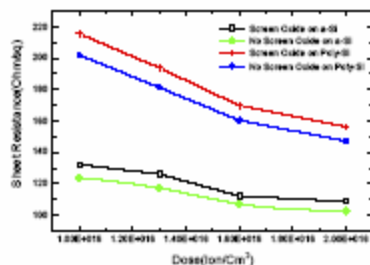


รูปที่ 3

EL012

3.2 ผลการทดลองที่ 2

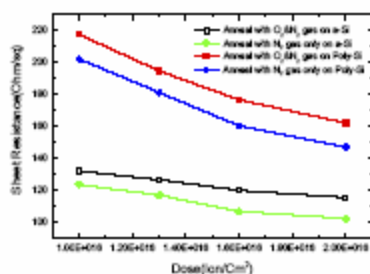
ผลการวัดค่า R_{sh} (Ohm/□) บนแผ่น Wafer No.01 03, 04 และ 06 โดย Anneal ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 15 ชม. ภายใต้บรรยากาศ N_2 ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4

3.3 ผลการทดลองที่ 3

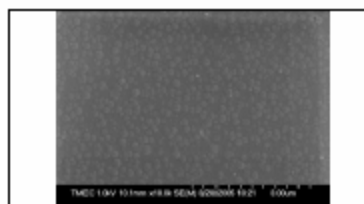
ผลการวัดค่า R_{sh} (Ohm/□) บนแผ่น Wafer No.01 02, 04 และ 05 โดยที่แผ่นเวเฟอร์ หมายเลข 01 และ 04 Anneal ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 15 ชม. ภายใต้บรรยากาศ N_2 อย่างเดียว แต่แผ่นเวเฟอร์หมายเลข 02 และ 05 Anneal ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 15 ชม. ภายใต้บรรยากาศ N_2 และ O_2 ได้ผลดังรูปที่ 5



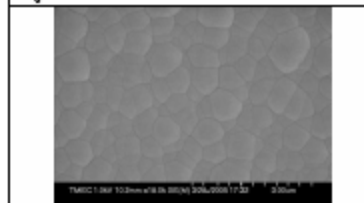
รูปที่ 5

3.4 ผลจากการถ่ายภาพ SEM (Scanning Electron Microscopy)

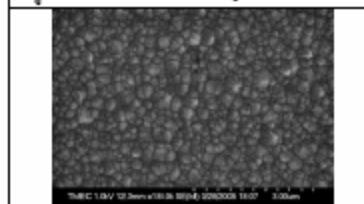
ได้นำฟิล์ม Poly-Si และ a-Si ก่อนที่นำไปทำการ Implant และ anneal ไปทำการวัด Grain size ที่ผิวหน้าแผ่นด้วยเครื่องวัด SEM ได้ผลดังรูปที่ 6 และ 8 ตามลำดับ หลังจากนั้นได้ฟิล์ม Poly-Si และ a-Si ที่ทำการ Implant เติมนิย 1.3 E16 ion/cm² พลังงาน 50keV และ anneal ที่อุณหภูมิ 800°C เวลา 15 ชม. ที่ Flow N_2 10 liter/min ไปทำการวัด Grain size ที่ผิวหน้าแผ่นด้วยเครื่องวัด SEM ได้ผลดังรูปที่ 7 และ 9 ตามลำดับ



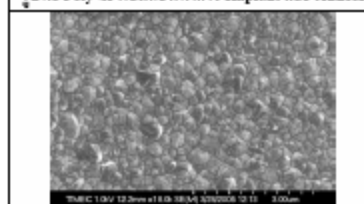
รูปที่ 6 a-Si ฟิล์มก่อนทำการ Implant และ Anneal



รูปที่ 7 a-Si ฟิล์มหลังทำการ Implant และ Anneal



รูปที่ 8 Poly-Si ฟิล์มก่อนทำการ Implant และ Anneal



รูปที่ 9 Poly-Si ฟิล์มหลังทำการ Implant และ Anneal

4.วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ 1 พบว่าค่าเฉลี่ย R_{sh} ของ ฟิล์ม Poly-Si มากกว่า ฟิล์ม a-Si เท่ากับ 34.38 % มีสาเหตุมาจากหลังการ Anneal ขนาด Grain size ของ a-Si มีปริมาณ ใหญ่กว่า ของ Poly-Si (5) เห็นได้จากรูปที่ 7 และ 9

จากผลการทดลองที่ 2 ค่า R_{sh} ของฟิล์ม Poly-Si และ ฟิล์ม a-Si ที่มี Screen Oxide มีค่าสูงกว่ากรณีที่ไม่มี Screen Oxide เท่ากับ 5.17 % และ 5.36 % ตามลำดับ มีสาเหตุมาจาก โบรอนบางส่วน เกิดการ diffusion เข้าไปใน ชั้น Oxide ในระหว่าง Annealing [3]

จากผลการทดลองที่ 3 ค่า R_{sh} ของ ฟิล์ม Poly -Si และ ฟิล์ม a-Si ที่ใช้เงื่อนไขการ Anneal ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 15 hrs ภายใต้บรรยากาศ N_2 และ O_2 มีค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้เงื่อนไขการ Anneal ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 15 hrs ภายใต้บรรยากาศ N_2 เท่ากับ 8.20 % และ 9.05 % ตามลำดับ มีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาบางส่วนเกิดการ diffusion เข้าไปใน ชั้น Oxide เกิดขึ้นในระหว่าง Annealing [3]

5.ประยุกต์ใช้ในงานการผลิตเซมิคอนดักเตอร์วงจรความถี่

จากผลการทดลองนำฟิล์ม Silicon ในการสร้าง Poly Resistor ที่สร้างจากฟิล์ม a-Si โดยการยิงประจุชนิดที่ปริมาณ $1.3E16 \text{ ion/cm}^2$ และพลังงาน 50keV และ Anneal ที่เงื่อนไขการ Anneal ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 15 hrs ภายใต้บรรยากาศ N_2 ได้ R_{sh} เท่ากับ $117 \text{ Ohm}/\square$ แล้วนำไปสร้างในเซ็นเซอร์ตรวจจับ ความดันดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 เซ็นเซอร์ตรวจจับความดัน

6.สรุปผลการทดลอง

ค่า R_{sh} ของ Poly Resistor ที่สร้างจากฟิล์ม Poly -Si มีค่าสูงกว่า ฟิล์ม a-Si ที่ทุกค่าปริมาณสารเจือปนเนื่องจากหลังการ Anneal ขนาด Grain size ของ a-Si มีปริมาณ ใหญ่กว่า ของ Poly-Si นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้เทคนิค Screen Oxide และเทคนิคการ anneal โดยการเพิ่ม Flow O_2 ไม่ได้ช่วยให้ค่า Shear Resistance ลดลง แต่กลับทำให้มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิด Diffusion ของโบรอนเข้าไปใน ชั้น Oxide เกิดขึ้นในระหว่าง Annealing ดังนั้นเราจึงเลือกใช้ฟิล์ม a-Si และใช้เงื่อนไขการ Anneal ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 15 hrs ภายใต้บรรยากาศ N_2 ในการสร้าง Poly Resistor เพราะจะได้ค่าความต้านทานที่ต่ำซึ่งทำให้สามารถลดปริมาณการเจือสารในการยิงได้ ประจุทำให้เวลาการยิงได้เร็วขึ้น

7.กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ บุคลากร TMEC-NECTEC ทุกท่าน

8.เอกสารอ้างอิง

- [1] Pavan Siamchai, "Thailand's First Integrated Circuit Fabrication Facility (2)", EECON25, 2002
- [2]. STANLEY WOLF, "SILICON PROCESSING FOR VLSI Vol. 1: PROCESS TECHNOLOGY", Lattice Press, 1993.

[3]. STANLEY WOLF, "SILICON PROCESSING FOR VLSI Vol. 3: THE SUBMICRON MOSFET", Lattice Press, 1993.

[4].Karoorn Saejok, "A Study of Berman Type Ion Source in Ion Implanter", EECON27, 2004, pp269-272.

[5] Sandhya Gupta, "Effect of Boron and BF₂- Implant on Polysilicon Resistors, 2002



การุณ แซ่จอก

วท.สาขาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปี พ.ศ.2539 ทำงานเป็นคณาจารย์วิศกร ณ.เขื่อนลั่นดอน จันทบุรี ปี พ.ศ. 2540 หลังจากนั้นทำงานในตำแหน่ง วิศกร บ.โศปโธปกรณ์ของนิคมอุตสาหกรรมปี พ.ศ. 2543

ปัจจุบันทำงานใน ตำแหน่งผู้อำนวยการศูนย์ ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์



มนตรี แสนละมูล

ได้รับ วท.บ.ฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปี พ.ศ. 2546 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งผู้ช่วย

นักวิจัย ที่ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์



ชาญเชษ ทรูอนันต์

ได้รับ วท.บ. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย

รามคำแหง พ.ศ. 2531 วทม. สาขาวิชา

เทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าธนบุรี ทำงานในตำแหน่ง

นักวิทยาศาสตร์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ.2531

ปัจจุบันเป็นนักวิจัย ที่ ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์



สุรศักดิ์ เนียมเจริญ

วท.สาขาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปริญญาโท และ เอกสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สอง

ปัจจุบัน เป็นอาจารย์ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สอง.



อัมพร โพธิ์ชัย

ได้รับวท.สาขาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัย

ศิลปากร พ.ศ. 2534 ได้รับ วทม. สาขา

วิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอม

เกล้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2537 ได้รับ Master of Engineering

(พ.ศ.2541) และ Ph.D.(พ.ศ.2545) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จาก

Katholieke University Leuven (KU Leuven) ประเทศเบลเยียม

ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งนักวิจัย ที่ศูนย์เทคโนโลยีไมโคร

อิเล็กทรอนิกส์

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28 (EECON28) 20-21 ตุลาคม 2548 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

การศึกษาการยิงฝังประจุในการสร้างบ่อชนิดเอ็น สำหรับวงจรรวม 0.8 μ m CMOS Study Implantation in N-WELL fabrication for 0.8 μ m CMOS Integration

การุณ แซ่จอก^{1,2} มนตรี แสนสม¹ อนุชา เรืองพานิช¹ สุวัฒน์ โลภิตพันธ์¹ สุรศักดิ์ นิยมเจริญ¹ และ อัมพร โพธิ์โอ¹

¹ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

51/4 หมู่ 1 จังหวัดฉะเชิงเทรา อ.เมือง ฉะเชิงเทรา 24000 โทร. 038-857-100 ถึง 9 e-mail: karoon.saejok@necsec.or.th

²ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3 หมู่ 2 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

บทคัดย่อ

ในการวิจัยนี้ทำเพื่อการเปรียบเทียบ การจำลอง (Simulation) ด้วยโปรแกรม TSUPREM4 กับการนำไปสร้างจริงในกระบวนการผลิตในการสร้างบ่อชนิดเอ็น (N-Well) ที่มีค่าความลึก (Junction Depth) 1.8 μ m และ ค่าความต้านทานเชิงผิว 2.3 kOhm/ $\square$ สำหรับ 0.8 μ m CMOS ที่เงื่อนไขการยิงฝังประจุที่พลังงาน 140keV และ 150keV และโดสในแต่ละพลังงานมีปริมาณสารเจือ 3.6E12 ion/cm² และ 4.0E12 ion/cm² แล้ว Anneal ที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง แล้ววัดผลออกมา เป็นความต้านทานเชิงผิว (Sheet Resistivity) , Concentration Profile และค่าความลึก (Junction Depth) แล้วพบว่าผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับผลการ Simulation คือ ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ผิดพลาดของ Sheet Resistivity (Rsh) เท่ากับ 10.73 % และ ค่า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ผิดพลาด ของ Junction Depth (Xj) เท่ากับ 1.8%

คำสำคัญ : การจำลอง, ค่าความลึก และ บ่อชนิดเอ็น

Abstract

This paper compares between Simulation using TSUPREM4 programming and the actual fabrication of N-Well at Junction depth (Xj) of 1.8 μ m and Sheet Resistivity (Rsh) 2.3 kOhm/ $\square$. Implantation energy are 140keV and 150keV with each energy value has dose of 3.6 E12 and 4.0E12 ion/cm². The annealing was done at 1,050 °C for 18hrs. The data is represented as Sheet Resistivity (Rsh) , Concentration Profile and Junction depth (Xj) and found that the result of process fabrication closely matches

with the simulation which showed that average of percentage error between process fabrication and simulation of Rsh is 10.73% and average of percentage error between process fabrication and simulation of Junction depth (Xj) is 1.8%

Keywords: Simulation , Junction Depth and N-Well

1. คำนำ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อสนับสนุนการสร้างวงจรรวมด้วยเทคโนโลยี 0.8ไมครอน[1-2] ซึ่งสร้างบริเวณ N-well ซึ่งเป็นโครงสร้างหนึ่งภายใน CMOS แต่การสร้าง N-well นั้นจะต้องควบคุมตัวแปร 2 ประการคือ 1.ปริมาณสารเจือ เพราะว่าค่าปริมาณสารเจือมีผลต่อค่า Vth (Threshold Voltage) [3] ภายในอุปกรณ์ CMOS และ 2.ค่าความลึกของสารเจือ เพื่อป้องกันเกิดการลัดวงจรระหว่าง Junction Source/ Drain กับ ซิลิกอน ซับสเตรท เช่น ถ้า N-well มี Junction Depth (Xj) ตื้นกว่าระยะความลึกของ Source /Drain ก็จะทำให้เกิด ลัดวงจร ขึ้น ดังนั้นการควบคุมปริมาณสารเจือ และ ค่าความลึกของสารเจือ เป็นสิ่งที่จำเป็น

ในการสร้าง CMOS 0.8ไมครอน[3] ได้กำหนด ให้ N-well มีความต้านทานเชิงผิว 2.3 kOhm/ $\square$ และ Junction Depth (Xj) 1.8 μ m [3] และ P-Source/Drain มี Junction Depth (Xj) 0.5 μ m ซึ่งจะเห็นว่า N-well มีความลึกมากกว่า P-Source/Drain เป็นจำนวน 1.8 μ m เพื่อป้องกัน Punch through [3] ในการควบคุมความลึกของ N-well นั้น จะขึ้นกับพลังงานในการยิงฝังประจุ ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ 1 [4]

EL001

$$R = \frac{1}{N} \int_0^E \frac{dE}{Sn(E) + Se(E)} \quad (1)$$

R คือระยะเฉลี่ยที่ไอออนเข้าไปในเนื้อซิลิกอนมีหน่วยเป็น cm

E คือพลังงานในการยิงประจุ มีหน่วยเป็น eV

Sn (E) คือ Nuclear Stopping เป็นอัตราการสูญเสียพลังงานต่อระยะทางในการชนกับอะตอมของระยะทาง มีหน่วยเป็น eV/m

Se (E) คือ Electronic Stopping เป็นอัตราการสูญเสียพลังงานต่อระยะทางในการinteraction กับอิเล็กตรอนของระยะทางมีหน่วยเป็น eV/m
N คือ Atomic numberของไอออนที่เข้าไปในเนื้อซิลิกอน

ดังนั้นเราต้องปรับค่าพลังงานความลึกของสารเจือ ด้วยการปรับค่าพลังงานการยิงประจุด้วยเครื่องไอออนอิมпланเตอร์ และ ปริมาณสารเจือเพื่อปรับค่าความต้านเชิงผิว (Sheet Resistivity) แต่ต้องทำการทดลองหลายค่าในกระบวนการสร้างจึง เป็นเหตุให้เกิดการเลือกค่าใช้จำเป็นจำนวนมาก เราจึงจำเป็นต้องมีวิธีคำนวณการทดลองด้วยวิธีการ Simulation โดยในที่นี้เราใช้โปรแกรม TSUPREM4

2. การทดลอง และผลการทดลอง

2.1 การทดลอง Simulation ด้วยโปรแกรม TSUPREM4[5] สร้าง N-well ด้วยเงื่อนไขดังนี้

2.1.1 สร้าง N-well ที่เงื่อนไขการยิงประจุดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการยิงประจุสำหรับสร้าง N-well

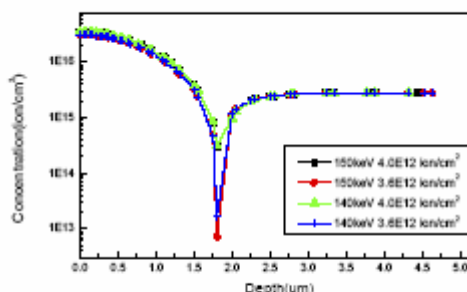
Wafer No.	Species	Dose (Ion/cm ²)	Energy (keV)
1	$_{11}P^{+}$	3.6 E12	140
2	$_{11}P^{+}$	4.0 E12	140
3	$_{11}P^{+}$	3.6 E12	150
4	$_{11}P^{+}$	4.0 E12	150

2.1.2 Anneal ที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส 18 ชั่วโมง [5]

2.1.3 ทำการประมวลผล ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2 และ รูปที่ 1

ตารางที่ 2 ผลการทดลอง Simulation ด้วยโปรแกรม TSUPREM4

Wafer No.	Species	Sheet Resistivity (kOhm/□)	Xj (μm)
1	$_{11}P^{+}$	2.48	1.79
2	$_{11}P^{+}$	2.23	1.84
3	$_{11}P^{+}$	2.48	1.80
4	$_{11}P^{+}$	2.23	1.85



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Carrier Concentration กับ Depth ของ N Well Simulation

2.2 ทำการทดลองสร้าง N-well ในกระบวนการสร้างจริง ด้วยขั้นตอนดังนี้

2.2.1 นำแผ่นซิลิกอน เวเฟอร์ ที่มีขนาดพื้นที่ 6 Ohm-cm ชนิด N <100> มาทำความสะอาด

2.2.2 ทำการสร้าง Screen Oxide ทน 150 องศาเซลเซียสด้วยกระบวนการ Dry Oxidation ด้วยเตา Furnace

2.2.3 การทดลองยิงด้วยเครื่อง ไอออน อิมпланเตอร์รุ่น Nishim 2H-205S [6] ด้วยเงื่อนไขตามตารางที่ 1

2.2.4 ทำความสะอาดแผ่น ด้วยสาร H₂O₂/H₂SO₄ (3:1) เป็นเวลา 10 นาที

2.2.5 Anneal ที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส 18 ชั่วโมง

2.2.6 ทำการลอก Screen Oxide

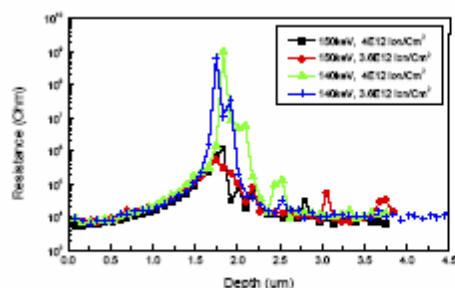
2.2.7 ทำการวัดค่าความต้านทาน ด้วย 4 Point Probe ได้ผลดังตารางที่ 3

2.2.8 ทำการวัดค่า ความลึก Junction Dept (Xj) และ Profile ด้วยเครื่อง SRP (Spreading Resistance Profile) ได้ผลดังตารางที่ 3 และ รูปที่ 2 และ รูปที่ 3

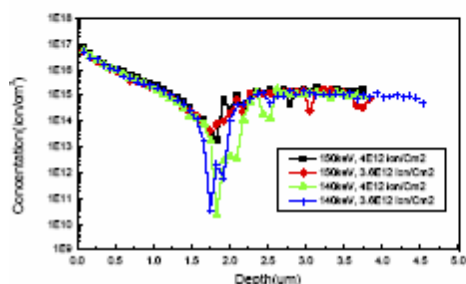
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28 (EECON28) 20-21 ตุลาคม 2548 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ตารางที่ 3 ผลการทดลองในการนำกระบวนการสร้างจังก์ชัน

Wafer No.	Species	Sheet Resistivity ($\Omega/\square$)	Xj (μm)
1	H^+P^+	2.77	1.75
2	H^+P^+	2.40	1.80
3	H^+P^+	2.77	1.75
4	H^+P^+	2.50	1.85



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Resistance และ Depth ในกระบวนการสร้างจังก์ชัน ที่วัดด้วย SSP



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Concentration และ Depth ในกระบวนการสร้างจังก์ชัน ที่วัดด้วย SSP

ตารางที่ 4 % Error ระหว่าง กระบวนการสร้างจังก์ชัน กับ การ Simulation

Energy (keV)	Dose (Ion/cm ²)	% Error ระหว่าง กระบวนการสร้างจังก์ชัน กับ การ Simulation	
		Sheet Resistivity	Xj
140	3.6 E 12	11.69%	2.23%
	4.0E12	7.62%	2.17%
150	3.6 E 12	11.69%	2.73%
	4.0E12	12.11%	0.0%

3.วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองตามตาราง ที่ 2 3 และ 4 พบว่า ผลการทดลองในการ สร้างจังก์ชันมีค่าใกล้เคียงกับ ผลการ Simulation โดยพบว่า ที่ ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ผิดพลาดของ Sheet Resistivity (R_{sh}) เท่ากับ 10.73 % และ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ผิดพลาด ของ Junction Depth (X_j) เท่ากับ 1.8% ซึ่งความผิดพลาดส่วนมาจากการวัดด้วย SSP ซึ่งปกติมีค่า error อยู่ที่ $\pm 5\%$ หรือกระบวนการในการสร้าง จังก์ชันอื่น ซึ่งมีค่า เปอร์เซ็นต์ผิดพลาดประมาณ 2% และจากการทดลอง เพื่อให้ได้ X_j ลึก 1.8 μm ที่ความดันทานเชิงผิว (R_{sh}) 2.3 $\Omega/\square$ ทำให้เราสามารถเลือกเงื่อนไขการ อิงฟิงประจุ ที่ พลังงาน 140 keV ปริมาณสารเจือ 4 E12 ion/cm² ดังนั้นการ Simulation สามารถลดเวลาในการทดลอง และ ค่าใช้จ่าย ในการสร้างจังก์ชันรวม

นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ พลังงานเดียวกัน ค่าเงื่อนไขที่ค่า ปริมาณสารเจือมากกว่า จะได้ค่า R_{sh} ที่น้อยกว่า และ มีค่า X_j ลึกกว่า เนื่องจากปริมาณสารเจือมากกว่าทำให้เกิดการ Drive in เข้าไปในเนื้อ ซิลิคอนได้มากกว่า

4.สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า การ Simulation มีค่าใกล้เคียงกับ ผลการ สร้างจังก์ชัน โดยพบว่า ที่ ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ผิดพลาดของ Sheet Resistivity (R_{sh}) เท่ากับ 10.73 % และ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ผิดพลาด ของ Junction Depth (X_j) เท่ากับ 1.8% และสามารถเลือกเงื่อนไขการอิงฟิง ประจุ ที่ พลังงาน 140 keV และปริมาณสารเจือ 4 E12 ion/cm² สำหรับการสร้าง n-well ของ CMOS 0.8 ไมครอน ดังนั้นการ Simulation ด้วย

TSUPREM4 สามารถพิสูจน์ ในการนำไปจำลองการทดลองว่าได้ผลใกล้เคียงกับการทดลองจริง ซึ่งเป็นประโยชน์ เพื่อลดขั้นตอนการทดลองที่ไม่จำเป็น ลดเวลาในการทดลอง และค่าใช้จ่าย ในการสร้างวงจรรวมต่อไป

5. ถักถักกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณบุคลากร TMEC-NECTEC ทุกท่านที่สนับสนุนการวิจัย และนายอภินันท์ อุทัยรัตน์ และ สอนันต์เทคโนโลยี พระจอมเกล้าอุตสาหกรรมกระบี่ สงข. ที่ อนุเคราะห์ ในการวัดด้วยเครื่อง SRP

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Itti Rittaporn and Pavan Siamchai, "Progress Report on NECTEC's Microelectronics Project", Proceedings: The First NRCT-KOSEF Joint Seminar on Semiconductors, Nov 30-Dec1, 1999, pp. 30-33.
- [2] Pavan Siamchai, "Thailand's First Integrated Circuit Fabrication Facility (2)", EECON25, 2002
- [3] Stanley Wolf, "Silicon Processing for VLSI Vol. 1: Process Technology", Lattice Press, 1995.
- [4] Stanley Wolf, "Silicon Processing for VLSI Vol. 3: THE SUBMICRON MOSFET", Lattice Press, 1995.
- [5] Anucha Ruanphani, Sanyuth Wisawaswank, Pawadee Mesappawong, "The development of CMOS Fabrication Technology by TSUPREM-4 & MEDICT" The International Conference on Smart materials, 1-3 December 2004, Imperial Moe Ping, Chiangmai, Thailand.
- [6] NH-205R Medium Ion Implanter Operation Manual, Nissan Electric Co., Ltd. Japan.



การุณ แซ่จอก
วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ จาก
มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปี พ.ศ.2539
ทำงานในตำแหน่งวิศวกร ณ บ.ชัยไมโครจน
จำกัด ปี พ.ศ.2540 หลังจากนั้นทำงานใน
ตำแหน่งวิศวกร บ.ไอโปร อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ปี พ.ศ.2543 ปัจจุบัน
ทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย ที่ ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์



มนศรี แสนละมุล, วท.บ.ฟิสิกส์ จาก
มหาวิทยาลัยนครพนม ปี พ.ศ.2546 ปัจจุบัน
ทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย ศูนย์
เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ มีความ

สนใจงานวิจัยทางด้าน Ion Implanter development and Semiconductor processing



นายอนุชา เรืองพานิช
วท.ม.อิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2537
วิจัยในส่วนตัวงาน ด้าน Layout test chip design,
Process & Devices Simulation Semiconductor Measurement
& Parameter extraction



สุวัฒน์ โสภิตพันธ์
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาไฟฟ้า จาก
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี พ.ศ.2528
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ศึกษบัณฑิต
จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ.2534
และพ.ศ.2540 คณบดีสถาบัน ในตำแหน่งนักวิจัย ที่ ศูนย์
เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์



สุรศักดิ์ เนิยมเจริญ
วท.บ.สาขาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปริญญาโท และ เอกสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สงข.
ปัจจุบัน เป็นอาจารย์ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ สงข.



อัมพร โพธิ์ชัย
ได้รับวท.บ.สาขาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2534 ได้รับ วท.ม. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าอุตสาหกรรมลาดกระบัง พ.ศ. 2537 ได้รับ Master of Engineering
(พ.ศ.2541) และ Ph.D.(พ.ศ.2545) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จาก Katholieke
University Leuven (KU Leuven) ประเทศเบลเยียม ปัจจุบันทำงานใน
ตำแหน่งนักวิจัย ที่ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์

EL001

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28 (EECON28) 20-21 ตุลาคม 2548 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27
27th Electrical Engineering Conference

Volume II

สาขาบทความ

- ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)

11-12 พฤศจิกายน 2547

โรงแรมโซฟิเทล ราชา ออคิด ขอนแก่น



ดำเนินการจัดประชุมโดย
ภาคีทางวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น



การศึกษาอุปกรณ์กำเนิดประจุชนิดเบอร์นาสในเครื่องยิงฝังประจุสำหรับกระบวนการผลิตวงจรรวม

A Study of Bernas Type Ion Source in Ion Implanter for Integrated Circuit Fabrication

การุณ แซ่จอก นนทรี แสนทะนุก สุวัฒน์ โสภิตพันธ์ กาวัน สยามชัย และ จิทธิ ฤทธาภรณ์

ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

51/4 หมู่11 วังตะเคียน อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 44000 โทร. 038-857-100 ถึง 9 โทรสาร 038-857175 email: Karoon.saejok@nec.tec.or.th

บทคัดย่อ

ในการยิงฝังประจุด้วยแหล่งกำเนิดประจุชนิดเบอร์นาส เป็นที่นิยมในปัจจุบันในขั้นตอนการเจือสารสำหรับกระบวนการผลิตวงจรรวม อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องยิงฝังประจุกระแสขนาดกลาง (Medium-Current Ion Implanter) ไปใช้ในการเจือสารที่มีความเข้มข้นสูง เช่นพื้นที่ซอร์ส และแตรนสำหรับกระบวนการผลิต CMOS นั้นจำเป็นอย่างไรที่ต้องใช้กระแสไอออนที่มีค่าสูง โดยการหาเงื่อนไขของ อัตราการไหลแก๊ส กระแสอาร์ค และ กระแสที่ป้อนแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก

ในการวิจัยนี้ได้หาเงื่อนไขเพื่อให้ได้ค่ากระแสไอออน $11B^+$ สูงสุด โดยการเจือสารชนิดที่โดยใช้แก๊สโบรอนไตรฟลูออไรด์ (BF_3) ในเครื่องยิงฝังประจุกระแสขนาดกลางและพบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมคือ อัตราการไหลแก๊ส เท่ากับ 0.8 cc/min กระแสอาร์ค เท่ากับ 3.8 แอมแปร์ และ กระแสที่ป้อนแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก เท่ากับ 1.3 แอมแปร์

คำสำคัญ : แหล่งกำเนิดประจุ, กระแสไอออน, กระบวนการผลิตวงจรรวมชนิดซีมอส

Abstract

The Bernas-type ion source of implantation is widely used for doping process in IC fabrication. However, using medium-current ion implanter to create a high-dose implantation such as a source/drain region of CMOS integrated circuit that have to using high ion Beam current, most notably the adjustments of gas flow, arc current and source magnet current.

This study attempts to maximize the Boron ion beam current ($11B^+$) for doping a p-type region using Borontrifluoride (BF_3) gas in a medium-current ion implanter. We have found that the optimal flow of BF_3 is 0.8 cc/min

with the source magnet current at 1.3A and arc current at 3.8A

Keywords: Ion Source, Ion Beam Current, CMOS Integrated Circuit

1. คำนำ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อสนับสนุนการสร้างวงจรรวมด้วยเทคโนโลยีต่ำกว่า 1 ไมครอน[1-4] ซึ่งต้องสร้างบริเวณ Active area ที่มีความเข้มข้นสูงมาก เช่น ซอร์สและแตรน ที่สารเจือปริมาณ 5×10^{15} ไอออน/ซม³ ซึ่งใช้เทคนิคการเจือสารด้วยไอออนอิมพลานเตอร์ และจากความสัมพันธ์[5,6] ดังสมการที่ 1 จะเห็นว่าปริมาณสารเจือแปรผันโดยตรงกับกระแสไอออน และเวลา แต่การยิงสารเจือใช้เวลานานเกินไปจะเป็นผลให้ชั้นโฟโตรีซิส แข็งตัวทำให้กำจัดยาก

$$D = IT/NQA \text{ -----(1)}$$

D = ปริมาณสารเจือ หน่วย ไอออน / ซม³

I = เวลาในการยิง หน่วย วินาที

I = กระแสไอออน หน่วยเป็น แอมแปร์

N = จำนวนประจุไอออน 1 ตัว เช่น $11B^+$ เท่ากับ 1

Q = 1.6×10^{19} ลูกอมป์

A = เป็นพื้นที่หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร

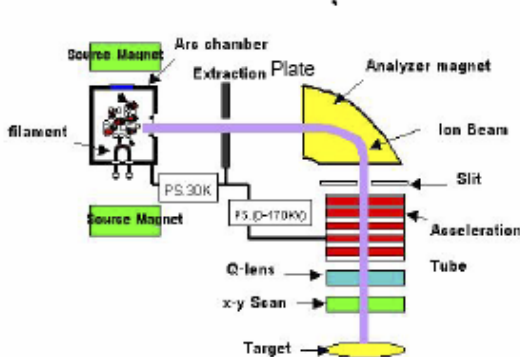
ด้วยเหตุนี้เครื่องไอออนอิมพลานเตอร์จำเป็นอย่างไรที่จะต้องกำเนิดกระแสไอออนในปริมาณมาก ๆ เพื่อการสารเจือสารที่มีความเข้มข้นสูง และลดเวลาในการยิงฝังประจุ

ปริมาณกระแสไอออนของเครื่องไอออนอิมพลานเตอร์ ส่วนใหญ่จะขึ้นกับแหล่งกำเนิดประจุ ดังนั้นการหาเงื่อนไขต่างๆที่เหมาะสมภายในแหล่งกำเนิดประจุมีความสำคัญต่อค่ากระแสไอออน

โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดประจุที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 2 ชนิด [7] คือ ชนิดฟรีแมน (Freeman type) และ ชนิดเบอร์นาส (Bernas Type) แต่ชนิดเบอร์นาสจะดีกว่าตรงที่มีอายุการใช้งานนานกว่า ซึ่งในการวิจัยนี้จะกล่าวเฉพาะชนิดเบอร์นาสเท่านั้น

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27 (EECON27) 11-12 พฤศจิกายน 2547 มข.

2. หลักการทำงานของเครื่องยิงฟิวเจอร์



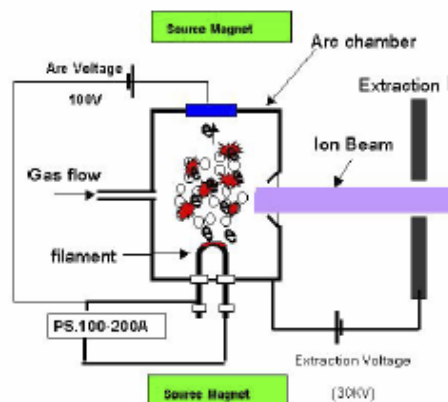
รูปที่ 1 แผนผังของเครื่องยิงฟิวเจอร์

หลักการทำงานของเครื่องไอออนอิมพลันเตอร์ คือประจุจะถูกสร้างด้วยแหล่งกำเนิดประจุ (Ion Source) แล้วประจุจะถูกดึงออกมาด้วยศักย์ไฟฟ้า Extraction ประมาณ -30 kV แล้วเคลื่อนที่ไปสู่ Analyzer magnet และ ประจุที่ไม่ต้องการจะถูกกรองออกที่ตำแหน่งนี้ หลังจากนั้นประจุที่ผ่านการกรองจะเคลื่อนที่ผ่าน Slit และ ถูกเร่งด้วยศักย์ไฟฟ้าเพิ่มอีก 0-170kV ที่ Acceleration tube หลังจากนั้นจะถูก โฟกัสด้วย Quadrupole-lens และกวาดลำประจุไอออนด้วย X-Y Scan ไปยังเป้าหมาย

3. แหล่งกำเนิดประจุชนิดเบอร์นาส และ Extraction

แหล่งกำเนิดประจุชนิดเบอร์นาส จะประกอบไปด้วย Arc Chamber, ขดลวดทั้งเส้น (Filament), แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก (Source Magnet) และ แหล่งจ่ายก๊าซ ดังรูปที่ 2 โดยมีการทำงานคือการจ่ายกระแสให้ขดลวดประมาณ 200A และมีการจ่ายค่าศักย์ไฟฟ้าระหว่าง Arc Chamber และ ขดลวด 100V อิเล็กตรอนจากขดลวดทั้งเส้นจะเคลื่อนไปยัง Arc chamber จะไปชนกับกลุ่มก๊าซก่อให้เกิดการไอออไนเซชัน (Ionization) ซึ่งอิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเหนี่ยวนำด้วยแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดการหมุนตัว (spin) เพื่อเพิ่มอัตราความ ทำให้มีประจุมากขึ้น ส่วนประจุจะถูกดึงออกไปยัง Extraction plate ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ 30kV เมื่อเทียบกับ Arc Chamber

หมายเหตุ แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก (Source Magnet) คือ สนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง แหล่งกำเนิดประจุ และ



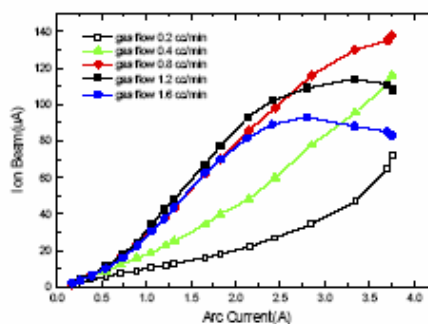
รูปที่ 2 แผนผังของส่วนแหล่งกำเนิดประจุไอออนชนิดเบอร์นาส

กระแสอาร์ค (Arc Current) คือกระแสอิเล็กตรอนที่วิ่งจากขดลวด ไปยัง Arc Chamber ปริมาณ Arc Current จะขึ้นกับกระแส ที่จ่ายให้กับ ขดลวด ทั้งเส้น โดยทั่วไป กระแส ที่จ่ายให้ขดลวดจะเท่ากับ 100-200A

4. การทดลอง และผลการทดลอง

การทดลองปรับค่ากระแสไอออนครั้งนี้ใช้เครื่องยิงประจุรุ่น NH 20SR medium current ซึ่งมีแหล่งกำเนิดประจุชนิด เบอร์นาส และปล่อยก๊าซ BF₃ แล้วใช้ Analyzer Magnet เลือก ประจุไอออน $_{11}B^{+}$ ที่ AMU (Atomic mass number) = 11

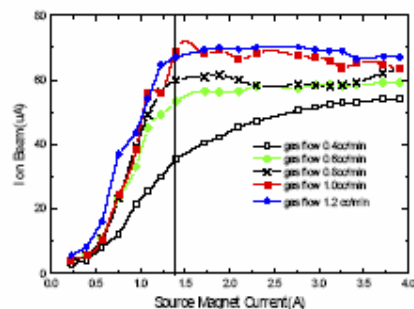
การทดลอง 4.1 ใช้พลังงาน 100keV และได้ทำการวัดกระแสไอออนที่ค่า Arc current ตั้งแต่ 0 ถึง 3.8 A โดยการแปรค่า Gas Flow 0.2, 0.4, 0.8, 1.2 และ 1.6 cc/min และ กระแสที่ป้อนแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก (Source Magnet Current) เท่ากับ 1.07 A ผลการทดลองได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ion Beam Current กับ Arc Current

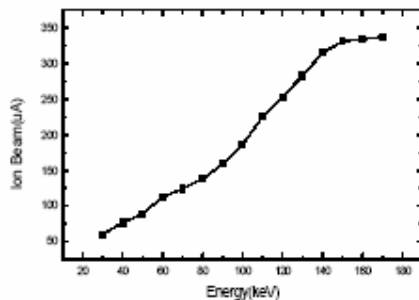
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27 (EECON27) 11-12 พฤศจิกายน 2547 มข.

การทดลอง 4.2 ใช้พลังงาน 100keV และได้ทำการวัดกระแสไอออนขณะที่ทำการป้อนค่ากระแสที่ป้อนแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กเปลี่ยนตั้งแต่ 0 ถึง 4.0 A และแปรค่า Gas Flow 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 cc/min Arc Current เท่ากับ 1.62A ผลการทดลองได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ion Beam กับ Source Magnet Current

การทดลอง 4.3 ได้ทำการวัดกระแสไอออนที่ค่า พลังงาน ตั้งแต่ 30 keV ถึง 170 keV และที่ค่า Gas Flow 0.8 cc/min Arc current เท่ากับ 3.8 A และกระแสที่ป้อนแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก 1.3A ผลการทดลองได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ion Beam กับ Energy

5.วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองรูปที่ 3 พบว่า ที่ค่า Gas flow เท่ากับ 0.2, 0.4 และ 0.8 cc/min กระแสไอออนเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่ม Arc current เพราะว่ามีปริมาณก๊าซเกิดไอออนในเซชันหรือเกิดการดีสชาร์จเพิ่มขึ้นอยู่ภายใน Arc chamber แต่ที่ค่า Gas flow ที่ช่วง 1.2 และ 1.6 cc/min พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงกระแสไอออนกับ Arc current สองความสัมพันธ์คือ ค่ากระแสไอออนเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่ม Arc current ในช่วง 0-2.7A เพราะว่าปริมาณก๊าซเกิดไอออนในเซชันหรือเกิดการดีสชาร์จเพิ่มขึ้นอยู่ภายใน Arc chamber และ ค่ากระแสไอออนลดลงเมื่อทำการเพิ่ม Arc current ในช่วง 2.7-4 A ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าปริมาณก๊าซมากและ Arc current มากเกินไป [8] ทำให้เกิดไอออนในเซชันมากเกินไปและขยายออกนอก Arc Chamber เป็นเหตุให้เกิดการเคลื่อนที่กระแสไอออนเปลี่ยนไป เมื่อทำการดึงไอออนจาก Arc Chamber ไปยัง Extraction plate เป็นเหตุให้กระแสไอออนส่วนหนึ่งไม่ผ่านรูของ Extraction plate ทำให้ปริมาณกระแสไอออนลดลง เพราะฉะนั้นปริมาณก๊าซควรอยู่ในระดับที่เหมาะสมซึ่งในที่นี้พบว่าต้องใช้ เท่ากับ 0.8cc/min

จากผลการทดลองรูปที่ 4 พบว่า ที่ค่า Gas flow เท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 cc/min กระแสไอออนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม Source Magnet Current ในช่วง 0-1.3A ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าปริมาณ อิเล็กตรอนที่ไปชนกลุ่มก๊าซถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็ก และเมื่อทำการเพิ่มค่า Source Magnet Current จะทำให้ อิเล็กตรอนเกิดการ Spin มากขึ้น ทำให้เกิดการดีสชาร์จมากขึ้น เป็นเหตุให้เกิดกระแสไอออนมากขึ้น แต่กระแสไอออนเริ่มคงที่เมื่อเพิ่ม Source Magnet Current ช่วง 1.3-4.0Aที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่าปริมาณกลุ่มก๊าซมีค่าคงที่ การเพิ่มค่า Source Magnet Current จะทำให้ อิเล็กตรอนเกิดการ Spin มากขึ้นไม่ได้ทำให้กลุ่มการดีสชาร์จมากขึ้นเป็นเหตุให้กระแสคงที่ ดังนั้นกระแสของแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กที่ทำให้เกิดการไอออนในเซชันสูงสุด คือ 1.3A

จากผลการทดลองรูปที่ 5 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มพลังงานปริมาณกระแสไอออนมีการเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้จาก ผลของ Space charge [9] ภายในกระแสไอออน ที่พลังงานค่าขนาดของ Space Charge ให้สูงกว่ากระแสไอออนที่พลังงานสูง โดยที่เมื่อ Space charge มากจะทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระแสไอออน มีขนาดใหญ่ซึ่งเป็นเหตุให้ถูกกรองออกมากของเขตเคลื่อนที่ผ่าน Slit ทำให้กระแสลดลงแต่ถ้า Space charge มีขนาดเล็กกว่า กระแสไอออนจะเคลื่อนที่ผ่าน Slit ได้มากกว่าทำให้ได้กระแสไอออนมากกว่า ดังนั้นที่พลังงานมากขึ้น ทำให้กระแสไอออนมากขึ้น

จากเงื่อนไขที่ทำการทดลองนี้เราได้เงื่อนไขที่ดีที่สุดไปทำการปรับค่ากระแส สูงสุดซึ่งได้เท่ากับ 331uA โดยมีเงื่อนไขการปรับดังนี้ คือ ชนิด μB^+ , พลังงาน 150keV, Arc current เท่ากับ 3.8 A, ค่ากระแสที่ป้อน

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27 (EECON27) 11-12 พฤศจิกายน 2547 มข.

แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กเท่ากับ 1.3A ค่ากระแสไอออนนี้สามารถนำไปสร้างสารเจือชนิดที่ที่มีความเข้มข้น 5×10^{15} ไอออน/ซม³ ใช้เวลาประมาณ 6.9 นาที ที่พื้นที่ 160 ตารางเซนติเมตร ตามสมการ 1

6.สรุปผลการทดลอง

จากการหาเงื่อนไขแหล่งกำเนิดประจุเพื่อปรับค่ากระแสไอออนให้ได้ค่าสูงสุด พบว่าปริมาณที่เหมาะสมการยิงประจุ ชนิด „B” คือ Gas flow เท่ากับ 0.8 cc/min ค่ากระแสที่ป้อนแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กเท่ากับ 1.3 A ค่า Arc Current เท่ากับ 3.8A นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทำการเพิ่มพลังงาน แล้วค่ากระแสไอออนก็จะเพิ่มตาม เมื่อนำเงื่อนไขไปใช้ในการปรับกระแสซึ่งสามารถสร้างกระแสไอออน เท่ากับ 331μA ที่พลังงาน 150keV ซึ่งสามารถนำไปสร้างสารเจือที่มีความเข้มข้นสูงในเวลาอันสั้นได้ จะเป็นประโยชน์ในการสร้างวงจรรวมเทคโนโลยีค่ากว่า 1 ไมครอนต่อไป

7.กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบลุ่มบุคลากร TMEC-NECTEC ทุกท่านที่สนับสนุนการวิจัย

8.เอกสารอ้างอิง

- [1] Itti Rittaporn and Pavan Siamchai, "Progress Report on NECTEC's Microelectronics Project", Proceedings The First NECT-KOSEF Joint Seminar on Semiconductors, , Nov 30-Dec1, 1999, pp. 30-33.
- [2] Pavan Siamchai, "Thailand's First Integrated Circuit Fabrication Facility (2)", EECN25, 2002
- [3] STANLEY WOLF, "SILICON PROCESSING FOR VLSI Vol. 1: PROCESS TECHNOLOGY", Lattice Press, 1995.
- [4] STANLEY WOLF, "SILICON PROCESSING FOR VLSI Vol. 3: THE SUBMICRON MOSFET", Lattice Press, 1995.
- [5] Itti Rittaporn and Pavan Siamchai, "Progress Report on NECTEC's Microelectronics Project", Proceedings The First NECT-KOSEF Joint Seminar on Semiconductors, , Nov 30-Dec1, 1999, pp. 30-33.
- [6] Somsak Panyakeow and Itti Rittaporn, " Microelectronics Industry and Research and Development in Thailand " ASEAN-ROK Workshop on Microelectronics, Bangkok, Feb 21-23, 2000
- [7] Ion Implanter Technology for 0.25um Device, Applied Material, 2000,pp14-16
- [8] NH-205R Medium Ion Implanter Operation Manual, Nissin Electric Co., Ltd. Japan.
- [9] Heiner Ryzzel and Ingolf Ruge, " Ion Implantation " , John& SonsLtd, 1986, pp 130-132.



การุณ แสงจอก
วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ จาก
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปี พ.ศ.2539
ทำงานในตำแหน่งวิศวกร ณ.ชั้นไมครอน
จำกัด ปี พ.ศ.2540 หลังจากนั้นทำงานใน

ตำแหน่งวิศวกร ณ.โอโพร อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ปี พ.ศ.2543 ปัจจุบัน
ทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย ที่ ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์



มนตรี แสนสมบูรณ์, วท.บ.ฟิสิกส์ จาก
มหาวิทยาลัยนเรศวร ปี พ.ศ.2546 ปัจจุบัน
ทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย ศูนย์
เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ มีความ

สนใจงานวิจัยทางด้าน Ion Implanter development and Semiconductor processing



สุวัฒน์ โสภิตพันธ์
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาไฟฟ้า จาก
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี พ.ศ.2528
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คุรุภัณฑ์จาก
จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ.2534

และพ.ศ.2540 ตามลำดับ ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งนักวิจัย ที่ ศูนย์
เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์



ดาวิน สยามชัย วศ.บ. เกียรตินิยมอันดับสอง
และ วศ.ม. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จาก จุฬาลง
กรณ์มหาวิทยาลัย Ph.D สาขาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบัน
เทคโนโลยีแห่งโตเกียว พ.ศ. 2539 ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิจัย process
integration ศูนย์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์



อิทธิ อุทธารณ์
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัย และ
คุรุภัณฑ์ สาขา ฟิสิกส์ประยุกต์ จาก
มหาวิทยาลัยโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ปี
พ.ศ.2526 พ.ศ.2528 และ พ.ศ.2531

ตามลำดับ หลังจากนั้นทำงานที่ Superconductivity Research Laboratory
(SRL) จาก International Superconductivity Technology
Center (ISTEC) ในตำแหน่ง Senior Resercher ปี พ.ศ. 2531-2539
ประเทศญี่ปุ่น ปัจจุบันทำงาน ตำแหน่งหัวหน้าศูนย์วิจัย ที่ ศูนย์
เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์

EL14

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27 (EECON27) 11-12 พฤษภาคม 2547 มท.

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26

26th Electrical Engineering Conference



Volume III

สาขาทศความ

- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)

- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)



6-7 พฤศจิกายน 2546

โรงแรมโกลเด้นแลนด์ ซะอำ จ.เพชรบุรี

ดำเนินการจัดประชุมโดย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และภาควิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



การพัฒนากระบวนการปลูกฟิล์มโลหะหลายชั้นด้วยเทคนิคสปัตเตอริงสำหรับการสร้างวงจรรวม

Development of Multi-layer Metallisation using Sputtering Technique for Integrated Circuit Fabrication

คารูน แซ่จอก คิตติ เสนาบุรณ์ สุวัฒน์ ไสภพิพันธ์ ภวัน สยามชัย และ จิธิ อุทราภรณ์
ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
51/4 หมู่1 รัชตะเคียน จ.เมือง และเชิงเทนา 24000 โทร. 038-857-100 ถึง 9 email: Karoon.saejok@nectec.or.th

Kazuo Imai และ Kazuhito Sakuma
NTT-Advance Technology Corporation
2-1-1 Nishi-shinjuku Shinjuku-ku Tokyo, Japan Tel. 8190-1123-4762 email: imai@chizai.ntt-at.co.jp

บทคัดย่อ

ได้มีการปลูกฟิล์มโลหะอัลลอย AlSi ด้วยเทคนิคสปัตเตอริงภายใต้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นวิทยุ (RF Sputtering) ลงบนแผ่นฐานซิลิคอน และ ซิลิคอนไดออกไซด์ โดยได้ทำการทดลองแปรค่าพลังงานของคลื่นวิทยุในช่วง 100-200 วัตต์ จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์สภาพผิวของชั้นฟิล์มด้วยเทคนิค AFM (Atomic Force Microscopy) การวิเคราะห์องค์ประกอบของเนื้อฟิล์มที่ระดับความลึกต่างๆ ด้วยเทคนิค SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy) รวมถึงการวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าพบว่าพลังงานของคลื่นวิทยุดังกล่าวมีผลต่อคุณสมบัติของชั้นฟิล์มโลหะอัลลอย ซึ่งข้อมูลที่ได้รับนี้เป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ในกระบวนการสร้างวงจรรวมโลหะแบบหลายชั้นสำหรับวงจรรวมความหนาแน่นสูงต่อไป

คำสำคัญ: การปลูกฟิล์มโลหะหลายชั้น, สปัตเตอริง, วงจรรวมซิลิคอน

Abstract

Growing of AlSi alloy film has been done using RF Sputtering technique. The films were grown on silicon and silicon dioxide substrates under RF power varied from 100-200W. Atomic Force Microscopy: AFM, Has been used to check surface morphology. Secondary Ion Mass Spectroscopy: SIMS, has been used to evaluate the film content profile. Electrical property of the films was also verified. The results show that, morphology and film content respond to the RF power during sputtering time. Advantage of this experiment could be enhanced in fabrication of multi-layer-metal integrated circuit.

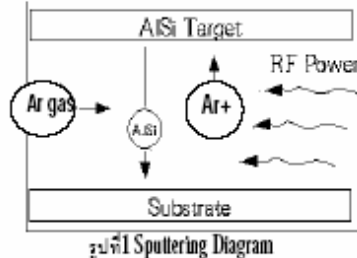
Keywords: Multi-layer Metallization, Sputering, CMOS Integrated Circuit

1. คำนำ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อสนับสนุนการสร้างวงจรรวมขนาดใหญ่ที่จำเป็นต่อการเชื่อมต่อระหว่างทรานซิสเตอร์เป็นจำนวนมากในพื้นที่จำกัด เช่นการสร้างชั้นโพสิเทค 1 ชั้น และชั้นโลหะ 2 ชั้น ชั้นของโลหะที่ใช้คืออัลลอยของ Al ที่มี ซิลิคอน ผสมอยู่ 2 % เพื่อป้องกันการเกิดปรากฏการณ์แพร่ซึมที่รอยต่อบริเวณ Source/drain ของอะลูมิเนียม (Spiking)

ในขั้นตอนการ Sintering เพื่อสร้างรอยต่อแบบ โอห์มิก ชั้น AlSi นี้สร้างโดยวิธี อบอยู่ในอุณหภูมิที่ 400 องศาเซลเซียสบรรยากาศของก๊าซ N₂ 97% และ H₂ 3% แต่กรรมวิธีที่ Sintering ในระหว่างทำการสปัตเตอริง นั้นเป็นสิ่งที่ไม่ดีเพราะไม่สามารถควบคุมกระบวนการการทำงานให้คงที่ได้ และความเรียบของเนื้อฟิล์ม AlSi เป็นสิ่งสำคัญต่อกระบวนการสร้างฟิล์มชั้นต่อไปพบว่ากรรมวิธีที่ฟิล์มที่มีผิวหยาบทำให้ฟิล์มขุ่น ทำให้การสร้างรูปแบบ (print pattern) ในชั้นต่อไปทำได้ยาก เพราะไม่เห็นรูปแบบฟิล์มที่อุกสร้างในลำดับก่อนที่ใช้เป็นจุดอ้างอิง เป็นเหตุให้รูปแบบที่สร้างขึ้นมีโอกาสไม่ตรงกับรอยต่อที่ต้องการหรือลดขนาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่ต้องการ นอกจากนี้ฟิล์มที่มีโครงสร้างหยาบจะมีความพรุนภายใน เป็นเหตุให้มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่ไม่ดี ดังนั้นฟิล์มที่เรียบย่อมมีความสำคัญต่อกระบวนการสร้างวงจรรวมซึ่งต้องใช้ในฟิล์มโลหะหลายชั้น

2. เครื่อง สปัตเตอริง



การทดลองสร้างแผ่นฟิล์ม AlSi นี้ใช้เครื่องสปัตเตอริงรุ่น ANELVA SPF 210 ดังรูปที่ 1 โดยใช้ RF ที่ความถี่ 13.56 เมกะเฮิรตซ์

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26 (EECON26) 6-7 พฤศจิกายน 2546 สจพ.

ภายในระบบที่มีสุญญากาศ ระดับ 5×10^{-7} มิลลิบาร์ การเคลื่อนที่ลิ้นจะใช้ก๊าซอาร์กอน (Ar) ที่อุณหภูมิต่ำเป็นพลาสมาและไปชนกับ เป้า AISI (AISI Target) ด้วยค่าพลังงานต่างๆ เช่น 150 วัตต์ ภายใต้ความดันสุญญากาศที่กำหนด หลังจากนั้น AISI ที่อุณหภูมิต่ำอาร์กอนพลาสมาจะเคลื่อนที่ไปเคลื่อนกับตัวอย่างหรือตำแหน่งที่ต้องการสร้างฟิล์ม AISI

3. การทดลอง

ทำการทดลองโดยนำแผ่นเวเฟอร์มาทำการทดลองตามเงื่อนไขตามตารางที่ 1 และใช้คุณสมบัติของแผ่นเวเฟอร์ก่อนทำการทดลองดังนี้

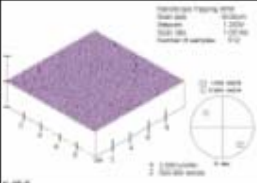
ตารางที่ 1 เงื่อนไขของการทดลอง

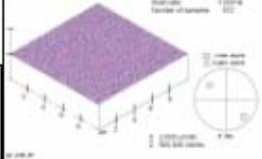
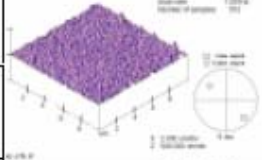
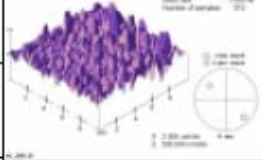
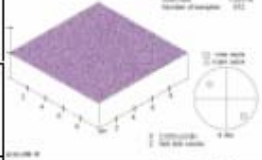
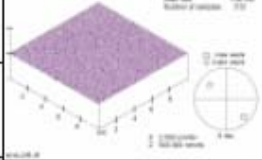
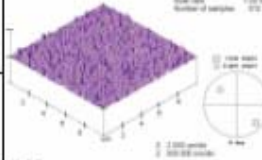
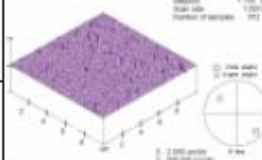
Wafer No.	เงื่อนไขการทดลอง				
	Substrate type	Opt Pressure (mbar)	Power / Reflect (W)	Pre-sputter (min)	Sputter time (min)
1.	Si	2×10^{-3}	100/20	5	85
2.	Si	2×10^{-3}	135/35	5	59
3.	Si	2×10^{-3}	170/40	5	50
4.	Si	2×10^{-3}	200/50	5	48
5.	SiO ₂	2×10^{-3}	100/20	5	85
6.	SiO ₂	2×10^{-3}	135/35	5	59
7.	SiO ₂	2×10^{-3}	170/40	5	50
8.	SiO ₂	2×10^{-3}	200/50	5	48

4. ผลการทดลอง

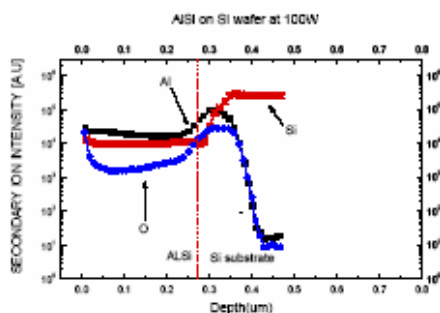
4.1 ผลการทดลองจากการวัดค่า resistance, Reflectance และการเปรียบเทียบด้วย AFM (Atomic Force Microscope)

ตารางที่ 2 ผลการวัด resistance, Reflectance และการเปรียบเทียบด้วย AFM (Atomic Force Microscope)

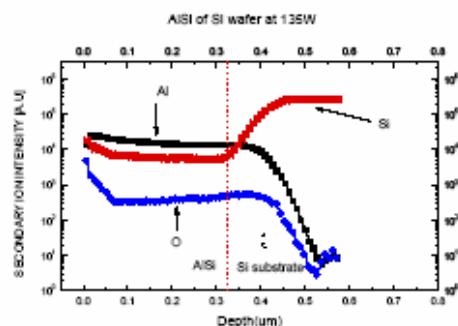
แผ่นที่	ผลการทดลอง			
	R. (Ohm)	Reflectance (%)	ความหนา (nm)	AFM (Atomic Force Microscope) picture
1	0.6	100	0.276	 Growth Rate (Angstrom/min) 32.5

2	0.6	100	0.32	 Growth Rate (Angstrom/min) 50.4
3	0.6	75	0.324	 Growth Rate (Angstrom/min) 64.8
4	0.6	30	0.5	 Growth Rate (Angstrom/min) 104.2
5	0.6	100	0.276	 Growth Rate (Angstrom/min) 32.5
6	0.6	100	0.32	 Growth Rate (Angstrom/min) 50.4
7	0.6	90	0.324	 Growth Rate (Angstrom/min) 64.8
8	0.6	90	0.5	 Growth Rate (Angstrom/min) 104.2

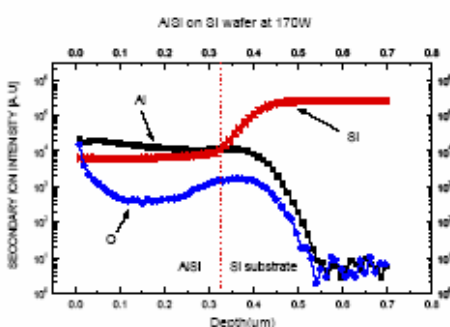
หมายเหตุ แผ่น Si substrate เป็นชนิด <100> p-type และมีค่า resistivity เท่ากับ 35 Ohm-cm



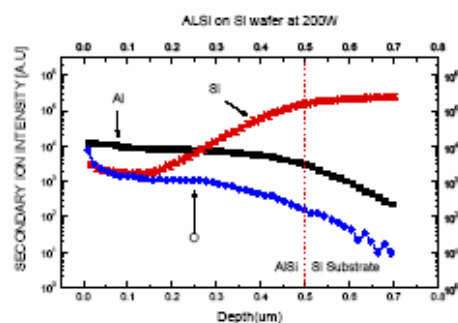
รูปที่ 2 ก ผลSIMSฟิล์ม AISi บนซิลิคอนเวเฟอร์ ที่ 100W



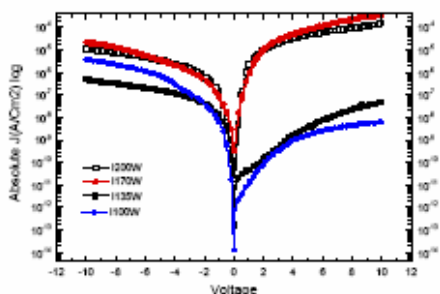
รูปที่ 2 ข ผลSIMSฟิล์ม AISi บนซิลิคอนเวเฟอร์ ที่ 135W



รูปที่ 2 ค ผลSIMSฟิล์ม AISi บนซิลิคอนเวเฟอร์ ที่ 170W



รูปที่ 2 ง ผลSIMSฟิล์ม AISi บนซิลิคอนเวเฟอร์ ที่ 200W



รูปที่ 3 คุณสมบัติกระแสแรงดันของฟิล์มที่ระดับพลังงาน RF ต่างๆ

4.2 ผลการทดลองจากวัดด้วยเครื่อง SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy)

ได้ทำการนำแผ่นทดลองหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 ซึ่งเป็นเงื่อนไข RF สเปคเตอร์ริง บนซิลิคอนเวเฟอร์ที่พลังงาน 100W, 135W, 170W และ 200W ไปทำการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของเนื้อฟิล์มในระดับความลึกต่างๆ ด้วยเทคนิค SIMS ที่ได้ผลดังรูปที่ 2

4.3 การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้า

ได้ทำการนำแผ่นทดลองหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 ซึ่งเป็นเงื่อนไข RF สเปคเตอร์ริง บนซิลิคอนที่พลังงาน 100W, 135W, 170W และ 200W ไปทำการวัดด้วยคุณสมบัติกระแสแรงดัน โดยการเปลี่ยนความต่างศักย์ -10 โวลต์ ถึง 10 โวลต์ ที่ตำแหน่งฟิล์ม AISi และ ให้อบริเวณซิลิคอนเป็นคราฟต์และผลการวัดได้ดังรูปที่ 3

5.วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าในการสร้างฟิล์ม AISi บน ซิลิคอนเวเฟอร์ โดย RF สเปคเตอร์ริง ที่พลังงาน 100W และ 135W จะได้ฟิล์มที่มีลักษณะราบเรียบมาก ที่พลังงาน 170W ได้ฟิล์มที่มีลักษณะขรุขระเล็กน้อยและที่พลังงาน 200W ได้ฟิล์มที่มีลักษณะขรุขระมาก ว่าในการสร้างฟิล์ม AISi บน ซิลิคอนไดออกไซด์ ที่พลังงาน 100W, 135W, 170W และ 200W มีความแตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้นพลังงานจาก RF สเปคเตอร์ริงมีผลต่อความราบเรียบของฟิล์ม AISi บน ซิลิคอน โดยเมื่อเพิ่มพลังงาน RF สเปคเตอร์ริงให้สูงขึ้น ความราบเรียบของผิวก็จะลดลง

จากผลการวิเคราะห์ SIMS จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีการแพร่ของอะลูมิเนียมจากบริเวณรอยต่อ AISi โดยระยะการแพร่ขี้นนี้จะเพิ่มขึ้น

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26 (EECON26) 6-7 พฤศจิกายน 2546 สจพ.

เมื่อมีการใช้พลังงาน RF สูงขึ้น กระบวนการแพร่ของอะตอมนี้ จะทำให้เกิดการขยายขอบเขตของโลหะอัลลอย ถ้าการขยายขอบเขตนี้มากเกินไปจะทำให้บริเวณของ Source/Drain ในโครงสร้าง CMOS จะเกิดการทะลุเสียหายได้ (Spiking effect)

ผลการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของรอยต่อ ตามรูปที่ 3 จะเห็นว่าเมื่อใช้พลังงาน RF สูงขึ้น สภาพการนำไฟฟ้าของรอยต่อจะเป็นลักษณะหน้าสัมผัสโหม้มมากขึ้น แต่การเกิดปรากฏการณ์นี้เป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงในกระบวนการผลิตวงจรรวม เพราะเป็นการเกิดขึ้นเองโดยอยู่เหนือการควบคุม(Self Sintering)

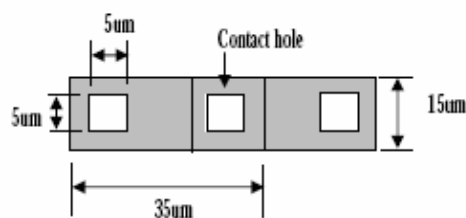
6. การประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตวงจรรวม

จากการทดลองนี้เราได้นำเงื่อนไข RF สเปคเตอร์ริงที่พลังงาน 135 W ไปทำการสร้าง 2 metal layers โดยทำการออกแบบเป็น Contact Chain เพื่อทดสอบ การนำไฟฟ้า และการต่อเชื่อมของฟิล์ม AISi เพื่อนำไปสร้างตัวเชื่อมนำไฟฟ้าของ CMOS ต่อไป

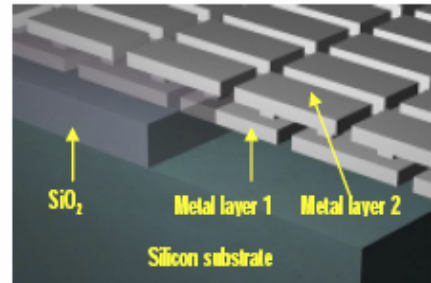
การออกแบบเป็น Contact Chain ซึ่งแต่ละอันมีขนาด 15 ไมครอน x 35 ไมครอน หนา 5,000 Å และ Contact hole ขนาด 5 ไมครอน x 5 ไมครอน ดังรูปที่ 4 และ 5 นำมาต่อกันดังรูปที่ 6 คือฟิล์ม AISi ชั้นที่ 1 และ รูปที่ 7 คือฟิล์ม AISi ชั้นที่ 2 ซึ่งเป็น Contact Chain ที่สมบูรณ์ ซึ่งระหว่าง ตำแหน่ง 1 กับตำแหน่ง 2 มี 2 contact chains, ระหว่างตำแหน่ง 2 กับตำแหน่ง 3 มี 280 contact chains และ ระหว่าง ตำแหน่ง 2 กับตำแหน่ง 4 มี 480 contact chains โดยมีการสร้างฉนวนซิลิคอนไดออกไซด์ขึ้นระหว่างชั้นฟิล์มของ AISi ชั้นที่ 1 และ 2 ด้วยวิธีการ PECVD (Plasma Enhance Chemical Vapor Deposition) หนา 5000 Å [4] โดยผลที่ได้คือ ค่าความต้านทานระหว่างชั้นฟิล์ม ของ AISi ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 เป็นดังตารางที่ 3 มีความสามารถนำไฟฟ้าได้ดี

ตารางที่ 3 ค่าความต้านทานของ Contact chain

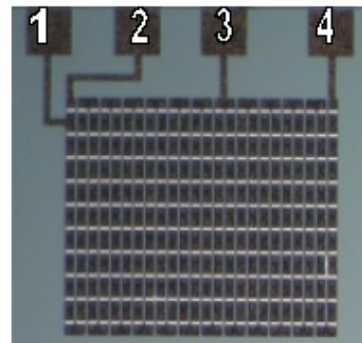
ตำแหน่ง	จำนวน Contact Chain	ความต้านทาน(Ω)
R1,2	2	10
R2,3	48	58
R2,4	280	91



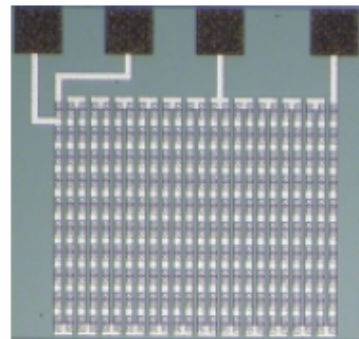
รูปที่ 4 ขนาดของ 1 Contact Chain



รูปที่ 5 แบบจำลองโครงสร้างของ Contact Chain



รูปที่ 6 Contact Chain of 1st layer AISi film



รูปที่ 7 Contact Chain of 2nd layer AISi film

7. สรุปผลการทดลอง

พลังงานจาก RF สเปคเตอร์ริงมีผลต่อการราบเรียบของผิวของฟิล์ม AISi บน ซิลิคอน โดยเมื่อเพิ่มพลังงาน RF สเปคเตอร์ริงให้สูงขึ้น ความราบเรียบของผิวลดลง แต่ความความราบเรียบของผิวฟิล์ม AISi บนซิลิคอนไดออกไซด์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย นอกจากนี้พลังงาน RF ในขณะปลูกฟิล์มจะทำให้เกิดการแพร่ของอะตอมเข้าสู่เนื้อฟิล์ม

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26 (EECON26) 6-7 พฤศจิกายน 2546 สจพ.

ซิติลลอน ทำให้ขอบเขตของอัลลอยขยายถึงลงไปจากรอยต่อ ซึ่งหากใช้พลังงานสูงเกินไปจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ Spiking ในโครงสร้างรอยต่อ Source/Drain ได้ แม้ว่าจะเกิดหน้าสัมผัสโอห์มิกแต่ก็เป็นแค่การเกิดในสถานะที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งจะเกิดผลเสียต่อกระบวนการเกิดวงจรรวม นอกจากนี้ความเรียบของชั้นฟิล์มโลหะจะต้องควบคุมให้มีความเหมาะสมเพื่อประโยชน์ในการถ่ายแบบสวดลายในลำดับขั้นต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ อ. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ หัวหน้าศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ สจส. รวมทั้ง คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ของศูนย์ฯทุกท่าน ในความร่วมมือด้านสถานที่ เครื่องจักร และบุคลากร ของขอบคุณ Mr. Sakakibara และบุคลากรของ NTT-AT ประเทศญี่ปุ่นในการถ่ายทอดเทคโนโลยีและสนับสนุนวัสดุ ครุภัณฑ์ในการวิจัย และ ขอขอบคุณ NEDO แห่ง MITI ประเทศญี่ปุ่นที่สนับสนุนเงินทุนในการร่วมวิจัย และ ขอขอบคุณบุคลากร TMEC-NECTEC ทุกท่าน

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Itti Rittaporn and Pavan Siamchai, "Progress Report on NECTEC's Microelectronics Project", Proceedings The First NRCT-KOSEF Joint Seminar on Semiconductors, , Nov 30-Dec1, 1999, pp. 30-33.
- [2] Pavan Siamchai, "Thailand's First Integrated Circuit Fabrication Facility (2)", EECN25, 2002
- [3] Kwok K. Ng, "COMPLETE GUIDE TO SEMICONDUCTOR DEVICES", International edition, pp.30-54, 1995.
- [4] STANLEY WOLF, "SILICON PROCESSING FOR VLSI Vol. 1: PROCESS TECHNOLOGY", Lattice Press, 1995.
- [5] STANLEY WOLF, "SILICON PROCESSING FOR VLSI Vol. 3: THE SUBMICRON MOSFET", Lattice Press, 1995.
- [6] Itti Rittaporn and Pavan Siamchai, "Progress Report on NECTEC's Microelectronics Project", Proceedings The First NRCT-KOSEF Joint Seminar on Semiconductors, , Nov 30-Dec1, 1999, pp. 30-33.
- [7] Somsak Panyakeow and Itti Rittaporn, "Microelectronics Industry and Research and Development in Thailand" ASEAN-ROK Workshop on Microelectronics, Bangkok, Feb 21-23, 2000

10. ประวัติผู้เขียนบทความ



ดร. ชัยโชค, วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปี พ.ศ.2539 ทำงานในตำแหน่งวิศวกร ณ.บ.ซัมไมโครอน จำกัด ปี พ.ศ. 2540

หลังจากนั้นทำงานในตำแหน่งวิศวกร ณ.โอโปร

อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ปี พ.ศ.2543 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย ที่ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์



กิตติ เสนาบุรณ, สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ในปี พ.ศ. 2544 ปัจจุบันทำงานตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย ที่ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์



สุวิทย์ โสภิตพันธ์, วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2528 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต และดุษฎีบัณฑิต จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2534 และ พ.ศ. 2540 ตามลำดับ ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งนักวิจัย ที่ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์



ภาวิน สยามชัย, วศ.บ. เกียรตินิยมอันดับสอง และวศ.ม. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าจาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Ph.D สาขาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีแห่งโตเกียว พ.ศ. 2539

ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิจัย process integration ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์



อิทธิ อุทากุระ, วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาบัณฑิต และดุษฎีบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ จากมหาวิทยาลัยโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ปี พ.ศ. 2526 พ.ศ. 2528 และ พ.ศ. 2531ตามลำดับ หลังจากนั้นทำงานที่ Superconductivity Research Laboratory (SRL) จาก International Superconductivity Technology Center (ISTEC) ในตำแหน่ง Senior Resercher ปี พ.ศ. 2531-2539 ประเทศญี่ปุ่น ปัจจุบันทำงานตำแหน่งรักษาการผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์



Kazuo Imai, วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาบัณฑิต และดุษฎีบัณฑิต สาขาอิเล็กทรอนิกส์ จาก Osaka University ปี พ.ศ. 2514 พ.ศ.2516 และ 2534 ตามลำดับ ปัจจุบันทำงานตำแหน่ง project leader of International Technology Transfer Project at NTT Advanced Technology Corporation Japan.



Kazuhito Sakuma received the B.S. degree from Kougakuin University in 1976, the M.S. and Ph.D. degree from Saitama University in 1997. He is now a Senior Manager of International Technology Transfer Project at NTT-AT Corp., Japan.

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26 (EECON26) 6-7 พฤศจิกายน 2546 สจพ.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายการุณ แซ่จอก
วัน เดือน ปีเกิด	29 กันยายน 2515
สถานที่เกิด	จังหวัดสงขลา
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2539 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ความชำนาญเฉพาะด้าน	- กระบวนการยิงฟิงประจุ - กระบวนการเคลือบโลหะ - กระบวนการผลิตวงจรรวม CMOS (5-0.8 ไมครอน)
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2539- 2540	วิศวกรฝ่ายผลิต บริษัทซัมไมครอนมหาชนจำกัด
พ.ศ. 2540-2543	วิศวกรฝ่ายผลิต บริษัทไฮโปรอิเล็กทรอนิกส์มหาชนจำกัด
พ.ศ. 2543- ปัจจุบัน	ผู้ช่วยนักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ แห่งชาติ

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานานพจน์

- [1] **Karoon Saejok**, Ekalak Chaowicharat, Montree Saenlamool, Kowit Sowsuwan, Charndet Hruanun, Surasak Niemcharoen and Amporn Poyai. "Study of Polycrystalline and Amorphous Silicon Film Resistance as Resistor in Piezoresistive Pressure Sensor." ICAS2006, Vol. 1, November 2006, pp.590-598
- [2] **การุณ แซ่จอก**, มนตรี แสนละมุล, ชาญเดช หรอนันต์, เอกลักษณ์ เชาววิชาร์ตัน, สุรศักดิ์ เนียมเจริญ และ อัมพร โพธิ์ไย. "การศึกษาความต้านทานของโพลีซิลิคอน และ อมอร์ฟัสซิลิคอนหลังการยิงฟิงประจุ สำหรับ เซนเซอร์วัดความดัน." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า, ครั้งที่ 28, ปี 2548, หน้า 117-1120
- [3] **การุณ แซ่จอก**, มนตรี แสนละมุล, อนุชา เรืองพานิช, เอกลักษณ์ เชาววิชาร์ตัน, สุรศักดิ์ เนียมเจริญ และ อัมพร โพธิ์ไย, "การพัฒนาการสร้างบ่อชนิดเอ็นโดยปรับเพิ่มอุณหภูมิการแอนนัล สำหรับ วงจรรวม 0.8 μ m CMOS" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า, ครั้งที่ 29, ปี 2549,

หน้า 685-688

- [4] **การุณ แซ่จอก**, มนตรี แสนละมูล, อนุชา เรืองพานิช, สุวัฒน์ โสภิตพันธ์, สุรศักดิ์ เนียมเจริญ และ อัมพร โพธิ์ไย, “การศึกษาการยิงฝังประจุในการสร้างบ่อชนิดเอ็น สำหรับวงจรรวม $0.8\mu\text{m}$ CMOS”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า, ครั้งที่ 28, พ.ศ. 2548, หน้า 1073-1076
- [5] **การุณ แซ่จอก**, มนตรี แสนละมูล, สุวัฒน์ โสภิตพันธ์, ภาวัน สยามชัย และ อธิธิ ฤทธาภรณ์ . “การศึกษาอุปกรณ์กำเนิดประจุชนิด เบอร์นาสในเครื่องยิงฝังประจุสำหรับกระบวนการผลิตวงจรรวม.” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า, ครั้งที่ 27, พ.ศ. 2547, หน้า 269-272
- [6] **การุณ แซ่จอก**, กิตติ เสนาบุญ, สุวัฒน์ โสภิตพันธ์, ภาวัน สยามชัย และ อธิธิ ฤทธาภรณ์ “การพัฒนากระบวนการปลูกฟิล์มโลหะหลายชั้นด้วยเทคนิคสปีดเตอร์ริงสำหรับการสร้างวงจรรวม”ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26, ปี 2546, หน้า 1391-1395

ผลงานวิจัยด้านอื่นๆของผู้แต่ง

- [1] อัมพร โพธิ์ไย, อนุชา เรืองพานิช, **การุณ แซ่จอก**, วิน บรรจงปรุ, มนตรี แสนละมูล
“The Effect of Fabrication Techniques to the Threshold Voltage of Submicron CMOS Technology” การประชุมวิชาการ Technology and Innovation for Sustainable Development Conference (TISD2006), ปี 2549
- [2] มนตรี แสนละมูล , **การุณ แซ่จอก** , อนุชา เรืองพานิช, โอภาส ตรีวิศักดิ์, อัมพร โพธิ์ไย และ อธิธิ ฤทธาภรณ์, “การศึกษาคุณสมบัติในการยิงไบรอนฟลูออไรด์ในกระบวนการสร้างขอสเตอรสำหรับ $0.8\mu\text{m}$ CMOS”การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28, ปี 2548
- [3] มนตรี แสนละมูล , **การุณ แซ่จอก** , นพพล พงษ์พันธ์จันทรา, กรรณิกา อุประโคตร, โกวิท โชวสุวรรณ, เจริญมิตร วรเดช, อัมพร โพธิ์ไย และ อธิธิ ฤทธาภรณ์ , “การศึกษาการยิงฝังประจุไบรอนอะตอมมิกส์นัมเบอร์ต่างๆของพลาสมา BF_3 ต่อค่าความต้านทานเชิงผิว” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28, ปี 2548
- [4] อัมพร โพธิ์ไย , อนุชา เรืองพานิช, **การุณ แซ่จอก**, วิน บรรจงปรุ, ภาวดี มีสรรพวงศ์, นิภาพรณ ภูละมัย และ อธิธิ ฤทธาภรณ์, “ผลของความร้อนต่อกระแสรั่ว ในรอยต่อโคบอลซิลิไซด์” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28, ปี 2548
- [5] มนตรี แสนละมูล , **การุณ แซ่จอก** , อัมพร โพธิ์ไย, ภาวัน สยามชัย และ อธิธิ ฤทธาภรณ์.

“เทคนิคการยิงฝึประจุปริมาณสารเจือสูงด้วยเครื่องยิงฝึประจุกระแสนาคกลาง” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า, ครั้งที่ 27, พ.ศ. 2547, หน้า 257-260

- [6] อัครพงษ์ เอกศิริ, สุวัฒน์ โสภิตพันธ์, การุณ แซ่จอก , อธิธิ ฤทธาภรณ์, “การติดตั้งและพัฒนาเครื่องยิงฝึประจุสำหรับกระบวนการผลิตสารกึ่งตัวนำ เครื่องแรกของประเทศไทย” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 25, ปี 2545