https://doi.org/10.7735/ksmte.2026.35.5.413

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.
ISSN 2508-5107(Online)

Check for updates

이온주입 각도 고찰

전형중[a,*]

Ion Implantation Angle Consideration

Hyeong Chung Cheon[a,*]

[a] Department of IT Convergence Engineering, Ajou University

ARTICLE INFO

Article history:
Received 4 September 2026
Revised 21 September 2026
Accepted 22 September 2026

Keywords:
Tilt
0-degree ion implantation
Channeling
TW

ABSTRACT

This study examined the angle at which ion implantation doping had to be performed to minimize product distribution. By setting the tilt angle, the shadowing phenomenon, a problem during ion implantation, was compensated for using the bi- and quad-mode methods. When channeling occurred owing to 0° ion implantation, the underlying membrane was grown and used as a buffer, or the effect was minimized using a preamorphization method. Regarding the distortion of the doping profile caused by continuous 0° ion implantation, we proposed management measures for key equipment components such as ESCs, and as a monitoring measure, we examined ways to minimize the angle variation using TW. Thus, we secured the process margin under the condition of a 0° tilt angle and minimized the quality risks caused by angular misalignment.

1. 서 론

반도체 제조공정에서 이온주입 공정은 Doping을 통한 전기적 특성을 확보하는데 목적이 있다. Device는 각 스텝에 맞는 Dopant, Dose, Energy를 정하여 원하는 위치에 Doping을 한다. 그런데 여기에 어떤 방향으로 이온주입을 할 것인가라는 Factor가 한 가지가 더 존재한다. 이온주입 영역에서 보면 원하는 위치에 Doping을 하면 된다 라고 하지만 주입하는 방향에 따라 공정 마진을 더 확보할 수 있어 각 Step의 목적에 맞는 각도 설정이 중요하게 된다. 이유는 제품 Design Rule이 크면 어떤 방향으로 이온주입을 해도 크게 문제가 없으나 Design Rule이 작아지게 되면 이온주입 방향이 제품 특성에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 오래된 전통적인 이온주입 각도는 7도로서 Channeling 현상을 최대한 억제하는 조건이지만 Design Rule이 감소하면서 Shadowing Effect를 최소화하기 위해서 Bi-Mode, Quad mode등 각도를 변경하면서 이온 주입하는 방법이 적용되고 있고, 피치 못하게 0도 이온주입을 해야 하면 Channeling 현상을 막기 위해 이온주입 전 Buffer oxide 막질 성장하는 방법, 표면을 미리 비정질화 시키는 Preamorphization방법 등이 있다. 그러나 0도 이온주입시의 문제점은 미세 각도 변화시에도 Profile 변화가 크게 일어날 수 있고 특히 여러 스텝의 연속 이온주입시에는 각 스텝간 산포 발생우려가 있다. 결국 설비에서 Angle 산포를 최소화하기 위해서는 설비 관리 측면에서 ESC 등 핵심 부품의 틀어짐에 대한 Risk 요인들에 대해 이해 및 관리가 필요하다. 이온주입은 Process가 정상적으로 진행되었는지 Monitoring하는데 매우 취약하다. SIMS, TW, RS 등의 계측 툴이 있는데 각각 장단점을 가지고 있어 현장에서 실시간으로 이상에 대해 인지하기에는 어려움이 있다. 채널링 조건에서 결정 손상이 최소로 발생한다는 것은 알려진 물리적인 현상이

* Corresponding author. Tel.: +82-31-650-7309
E-mail address: hj7763@naver.com (Hyeong Chung Cheon).

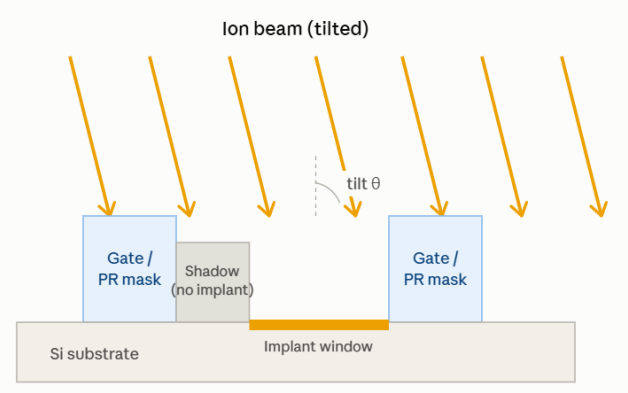


Fig. 1 Beam shadowing phenomenon

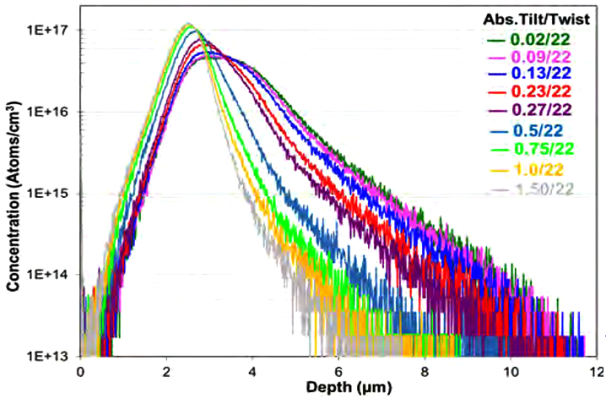


Fig. 2 SIMS profile for As, 4.5MeV, 1.0E13/cm^2 for different Implantation tilt angle[2]

다. 금번 논문에서는 TW 측정을 통하여 채널링을 확인할 수 있는 적합한 이온주입 조건에 대해 제시하고 해당 조건으로 검증하였으며, 제품 Design Rule 감소로 인한 산포 최소화가 요구되는 방향에 맞추어 기존에 설비 Hardware 변경점 발생시 검증하는 방식에서 상시 Monitoring을 통한 Risk 물량 최소화를 해야 한다는 의견이다. 본 논문에서는 제품 측면에서 이온주입 각도에 대해 고찰하고 거기에 따른 문제점과 대책에 대해 논의해보고자 한다.

2. 본 론

2.1 PROCESS 제어

이온주입에서 일반적으로 사용하는 기본 각도는 7도 조건으로 알려져 있다. 이유는 격자구조상에서 Channeling을 최소화하는 목적이다. 7도 조건의 각도로 Process를 하게 되면 넓은 영역에 이온주입시에는 문제가 없으나 Fig. 1에서와 같이 좁은 영역에 특정한 목적을 가진 이온주입시에는 기울어진 각도로 인한 Shadowing 현상이 발생하게 되는데 이런 문제를 최소화하기 위한 방법들이 있다.

Bi-mode, Quad mode 방법은 여러 방향에서 이온주입을 하여 Shadowing에 의한 영향을 최소한으로 줄이기 위한 방법으로서 Bi-mode는 Orientation Angle을 기존각도에 180도 차이를 두고 양쪽 방향에서 진행하는 방식이고 Quad-mode는 Orientation Angle을 기존각도에 추가하여 90도, 180도, 270도로 각각 변경 진행하여 4가지 방향에서 진행하는 방식이다. 물론 더 각도를 세분화하여 진행할 수도 있다.

그러나 일부 공정에서는 여러 방향에서 이온 주입하는 방법으로는 문제점이 근본적으로 해결되지 않아 0도 조건으로 진행해야만 하는 상황이 발생한다. 예를 들면 좁은 영역에 이온주입 하는 경우 또는 아주 깊은 쪽에 이온주입 해야 하는 경우의 예이다. 깊은 쪽의 이온 주입은 Energy를 높여서 진행하면 되나 설비적인 한계 이상의 Energy를 높이기는 어려워서 Channeling 현상을 이용하면 작은 Energy 만으로도 깊은 쪽의 Doping을 할 수 있고, 연속이온주입을 통한 Box 형태 Profile 구현 시에도 스텝 수를 줄여주는 효과가 있다. 그러나 0도 조건은 Channeling 현상으로 인한 여러가지 선행해야 하는 일이 있다.

대표적인 방법이 이온주입 하기 전 하부 웨이퍼 표면에 얇은 비정질 막질을 성장시켜 채널링을 억제하는데 보통 Oxide 막질을 사용하며 이렇게 하면 이온이 실리콘 결정에 도달하기 전에 막질 내에서 Random하게 Scattering되어 입사 각도와 방향이 흐트러져 채널링 확률을 줄여 주기도 하고 또한 Preamorphization 방법으로 Ge, Si 등과 같은 4족 원소를 활용하여 먼저 이온주입 하여 표면을 인위적으로 비정질화 시킨 후 이온주입을 하면 채널링 억제효과를 볼 수 있다. 또한 4족 원소를 이용하므로 Doping에 영향을 주지 않기 때문에 전기적인 특성 변화는 고려하지 않아도 되는 장점이 있다[1].

2.2 문제점

그러나 이것만으로 0도 이온주입에 대한 문제점이 완전히 해소되는 것은 아니다. 이유는 0도 근처에서는 작은 미세 각도 변화시에도 이온주입 깊이가 급격히 변화하는 문제가 있다. Fig. 2는 이온주입 각도의 작은 변화에도 웨이퍼 내의 Doping Profile의 변화를 볼 수 있는데 피크치인 Cp에서도 변화가 있지만 깊은 영역의 Channeling 되는 모습은 급격한 변화가 확인된다.

특히 연속 이온주입으로서 수직 방향으로 Box와 같은 평평한 형태를 만들기 위해서는 특히 심각한 문제가 발생한다. 이온주입 후 Doping 영역을 수직으로 보게 되면 Fig. 3의 왼쪽 Profile에서처럼 연속 스텝으로 이온주입시 정상적인 Profile 형태를 나타내는데 비해 오른쪽 그림은 중간에 Angle이 미세하게 틀어지는 스텝 발생시 Doping이 전체 영역에 균일한 형태가 아닌 중첩으로 더

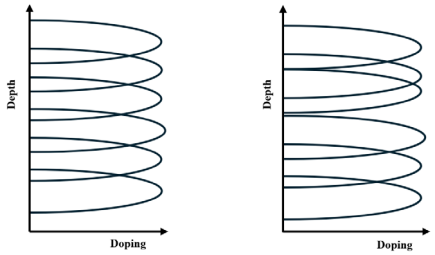


Fig. 3 Doping Profile of the vertical axis during sequential ion implantation

많이 이루어지는 영역이 발생되거나 Doping이 이루어지지 않는 영역이 발생하게 된다. 이를 해결하기 위해서는 이온주입 설비 관리 및 운영 방안에 대한 대책이 선행되어야 한다.

2.3 관리방안

이온주입 설비 관리 측면으로 볼 때 각도가 틀어질 수 있는 설비 구성 부품 중 가장 중요한 것 중 하나가 웨이퍼를 홀딩 하는 Fig. 4의 Electrostatic Chuck (ESC) 이며, Tilt Angle 정밀도에 직접적인 영향을 미치는 핵심 부품이다. ESC는 Mechanical Alignment 측면에서 관리가 필요한데 Platen Tilt Axis가 기준축과 정확히 맞아야 하며, Encoder 및 Resolver로 Tilt Angle 0도의 Zero Point Calibration이 이루어져야 한다. 또한 Tilt 축과 Rotation을 결정하는 Twist Axis와의 직교성 또한 이루어져야 한다. ESC는 정확하게 Align 되어 있더라도 설비의 열화에 의해 기계적 수평이 틀어질 가능성이 있다. ESC는 본체 자체의 변형은 크지 않은데, 사용하면서 ESC 표면이 마모되어 접촉면 높이가 위치별로 달라질 수 있고, 정전척 내부 Electrode가 부분적으로 손상되면 Clamping Force가 불균일 해져 웨이퍼가 국소적으로 들뜨는 현상이 발생할 수도 있다. 그 외 체결 관점에서 Mounting Bolt, Screw를 사용하기에 토크가 불균일 하게 체결되거나 풀림이 발생하면 ESC 수평이 기울어지는 상황이 발생된다. 그 외 ESC 자체 문제는 아니지만 구동계 관련 부품들 중에 Tilt 및 Rotation Axis Bearing의 유격이 발생하는 경우, Encoder 및 Resolver coupling 풀림으로 Display값과 실제 값의 차이 발생 등 다양한 설비 열화 유형의 불량 발생 요소가 있어서 주기적인 설비 점검 외에도 Real 각도에 대한 Monitoring이 필요하다고 하겠다.

Process 운영 측면으로 볼 때는 한 번의 스텝으로 끝나는 경우보다 Angle 정밀도가 중요한 경우는 Fig. 3과 같이 여러 개의 연속 Step으로 이루어져 Box 모양으로 만들 때인데 가장 좋은 방법은 해당 Lot을 진행할 때 해당 설비에서 웨이퍼를 Loading후 스텝 모두를 연속으로 진행 후 Unload하는 방법이 있겠으나, Beam 생성 조건을 계속 바꾸게 되어 생산성 저하의 문제로 다른 방법을 찾는다면 연속적으로 진행하지는 않더라도 첫번째 스텝을 진행한

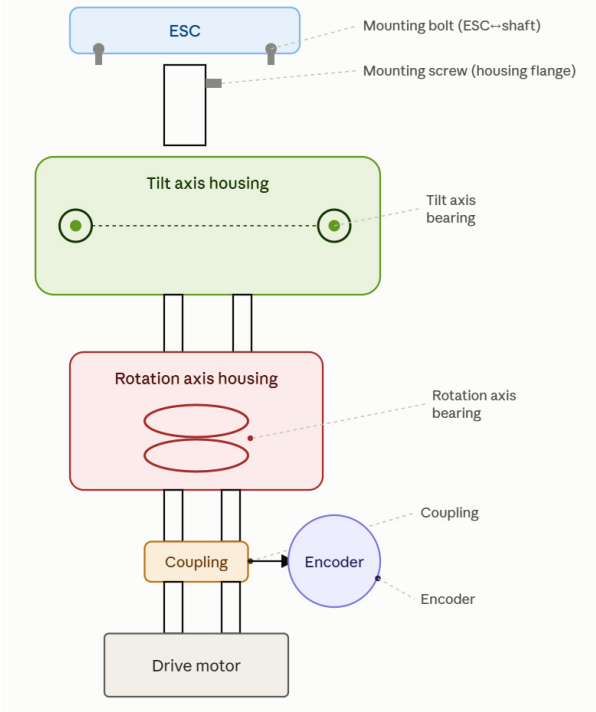


Fig. 4 Diagram of ESC

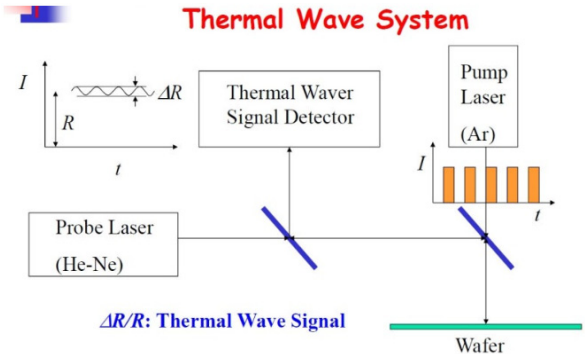


Fig. 5 Therma-wave system

설비에서 나머지 스텝들도 모두 진행하여 설비간 차이 및 진행 시점의 설비 Condition에 의한 차이로 인한 Doping Profile 이상 발생 가능성을 최소화하는 방법을 생각할 수 있겠다.

2.4 계측방안

그러나 이온주입 특성상 Process의 이상여부에 대한 확인은 매우 어렵다. SIMS라는 툴을 활용하면 비교적 정확하게 확인 가능하나 낮은 Throughput으로 현장에서 활용하기에는 어려움이 있다[3]. 따라서 현장에서 바로 확인할 수 있는 계측 tool은 대안으로 TW, RS를 이용한 방법이다. 두 가지 모두 대용 특성으로 활용이 가능하다.

Therma-Wave (TW)는 이온주입 공정 진행 후 Dose에 의한 결정 손상을 비파괴적으로 측정하는 계측기로 Fig. 5와 같이 펌프

레이저를 이용하여 웨이퍼 표면에 조사되고 Probe 레이저가 광학적 반사율을 감지하여 그 신호세기에 따라 결정 격자의 손상정도의 상관관계를 통해 간접적으로 알 수 있는 계측방식이다. 원리는 결정방향과 빔 각도가 정확히 정렬되는 Tilt 0도 조건에서는 채널링 효과로 인해 이온이 결정 깊숙이 침투하면서 표면 근처의 손상이 최소로 감소하는데 이때 Tilt Angle을 미세하게 0.1도 단위로 변경하면서 TW 측정을 하면 값이 최소가 되는 지점이 가장 채널링이 잘 일어나는 지점으로 실제 Recipe의 값과 일치하는지 검증하는 방법으로 알아낸다[4].

Sheet Resistance (RS)는 표면 저항을 측정하는 계측으로 TW와 마찬가지로 Tilt Angle 정밀도를 분석할 수 있는데 원리는 Tilt Angle이 채널링 방향(결정축 과 정렬)에 가까워지면, 이온이 결정 깊숙이 들어가 Junction Depth가 깊어지고 Dopant 분포가 퍼지게 된다. 이후 어닐링 과정을 거치면 RS값을 측정할 수 있게 되는데 Channeling 조건에서의 값은 Non Channeling 조건대비 값이 작은 경향을 나타낸다. 따라서 미세한 각도 변화를 주면서 RS 측정을 하게 되면 마찬가지로 실제 Recipe 값과 비교하여 일치여부를 확인할 수 있다[5]. 그러나 정밀한 각도 관리를 위해서는 TW를 활용한 방법이 추천된다. 사유는 TW는 이온주입시 격자들과 충돌하면서 생기는 Damage를 통해 각도의 정밀성을 파악하는 것이며 RS는 주입된 이온을 통해 전도성의 변화를 통해 파악하는데 여기에는 이온주입후 열처리 과정에서 도펀트 활성화율, 결정 재성장 등 다른 변수의 영향을 받을 수 있어 오류 가능성이 추가로 존재한다. 더욱이 데이터의 실시간 Feed Back 측면에서 열처리가 필요 없는 TW가 유리하다. TW는 표면 Damage 측정이라는 특성상 측정값의 중심치 변동에 대한 신뢰성이 의심될 수 있으나 Tilt Angle의 미세변화를 준 시료들의 연속 측정을 통한 동일 시점에 상대적인 값을 비교하는 경우에는 오류 가능성은 상당히 낮게 된다[6,7].

2.5 ANGLE 관리 방안

테스트 웨이퍼를 통한 이온주입 각도 정밀성 확보는 제품 Margin도 확보하면서 요구되는 이온주입 각도 산포 관리를 통해 큰 품질 불량으로 이어지는 것을 예방할 수 있다. 먼저 평가를 위한 이온주입 조건을 살펴보면 Dopant는 최대한 작은 크기가 Channeling 현상 발생에 유리하므로 11B+을 사용하며 Energy는 해당 설비모델에서 구현 가능한 내에서 최대한 높게 하고 Dose는 E13 대의 조건이 적절하다. 너무 작으면 표면 Damage가 작아 TW 신호를 인식하기 어렵고 너무 높으면 TW 값이 Saturation되는 현상을 보이기 때문이다. 또한 Rotation Angle은 180도 차이를 주어 Bi-Mode로 적용한다. 이유는 Wafer 자체 제작 시 Cut Off Angle이 +/- 0.3도 정도의 산포를 가지고 있어 Data에 혼선을 주지 않기 위해서이다.

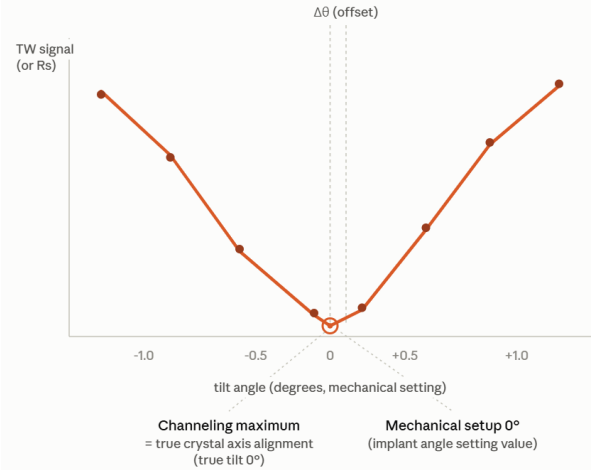


Fig. 6 Example of angle monitoring result

TW 및 RS 값으로 실제 Tilt 0도를 찾을 때는 Fig. 6에서와 같이 최소점 부근에서 데이터를 2차함수(포물선)로 근사(curve fitting)하는 방법을 사용한다.

$$S(\theta) = a(\theta - \theta_0)^2 + S_{\min}$$

- $S(\theta)$: 특정 tilt angle θ에서 측정된 TW 또는 Rs 신호
- θ_0: 곡선의 최소점 각도 = 실제 채널링 축(진짜 tilt 0°)
- S_{min} : 최소 신호값
- a: 곡선의 곡률(peak sharpness)을 나타내는 계수

θ_0를 구하는 방법 (최소자승법):

측정된 데이터 (θ_i, S_i)여러 점에 대해 2차 다항식 회귀(quadratic regression)를 수행:

$$S(\theta) = A\theta^2 + B\theta + C$$

이때 최소점은 미분하여 얻는다.

$$\frac{dS}{d\theta} = 2A\theta + B = 0 \Rightarrow \theta_o = -\frac{B}{2A}$$

Fig. 6의 이 θ_0값이 바로 기계적 tilt 0° 대비 실제 보정해야 할 각도(offset)이다.

2.6 ANGLE 관리 실험 방안

테스트 웨이퍼를 통한 Angle 적합성 평가를 위한 실험계획은 채널링 현상 발생시 표면 Damage가 최소로 확인되는 TW를 통해 검증하였다. 설비 모델은 AMAT사의 E500 설비군으로서 X축은 Mechanical Scan, Y축은 Electrical Scan 방식을 사용한다. 이온주입조건은 11B+ 180KeV 1.0E13 Bi mode 조건으로 선정하였다. 시료는 8인치 P-type wafer를 사용하였으며 Cut off angle은 0.1도이다. 이온주입 전 웨이퍼 조건은 채널링 현상을 극대화하기

Table 1 TW measurement data

No	Tilt angle (deg)	TW (1st)		TW (2nd)		TW (avg)	Range
		avg	std	avg	std		
1	-1	57.1	0.61	57.1	0.71	55.4	3.4
2	-0.8	39.6	0.8	40.2	0.57	39.9	0.6
3	-0.6	27.1	0.91	27.1	0.62	27.1	0
4	-0.4	17.7	1.01	17.5	0.85	17.6	0.2
5	-0.2	11.1	0.71	11.5	0.93	11.3	0.4
6	0	9.7	0.61	9.7	0.69	9.7	0
7	0.2	11.4	0.71	11.4	0.70	11.4	0
8	0.4	15.9	1.49	17.1	0.91	16.5	1.2
9	0.6	25.1	0.79	24.1	0.56	24.6	1
10	0.8	36.3	0.56	35.5	0.63	35.9	0.8
11	1	49.7	0.43	50.9	0.68	50.3	1.2

Test Wafer V-Curve Regression Analysis
- (Tilt Angle 0degree correction)
Scanning the tilt angle on the ion implantation test wafer and measuring the TW(Therma Wave) signal measureed, then performing a second-order (parabolic) correction by performing regression analysis by performing regression analysis, it calculates the actual tilt 0° (θ0) at witch channeling reaches its maximum.

Measurement data (test wafer, TW values for each tilt angle)

No.	Tilt angle (deg)	TW (a.u.)
1	-1	55.4
2	-0.8	39.9
3	-0.6	27.1
4	-0.4	17.6
5	-0.2	11.3
6	0	9.7
7	0.2	11.4
8	0.4	16.5
9	0.6	24.6
10	0.8	35.9
11	1	50.3

Second-order regression anaysis ($S(\theta) = A\theta^2 + B\theta + C$)

A (θ^2 coefficient)	B (θ coefficient)	C (constant term)
43.2022	-2.3227	9.9646

correction result		
θ0 (real tilt 0°, offset)	0.027 *deg*	
S_min (minimum signal value, , channeling axis)	9.93	
recipe correction tilt (target angle + θ0)	*target tilt(deg):*	7
→ Actual setup value (deg)	7.027	

※ Blue cell = User input (measurement data/target angle) · Check
= Automatic calculation formula · Yellow = Key result values

Fig. 7 Input value for angle monitoring

위해 Bare 웨이퍼를 적용하였다. TW 측정은 In wafer내 49Point를 측정하였으며 시료 측정 순서는 Random 방식을 적용하였다. 전체 실험 횟수는 현수준은 동일 조건의 2회 반복 실험을 하였으며, 보정 후에는 동일 조건의 3회 반복 실험을 하였다. Angle의 구간 선정은 Target값 기준 ± 0.5도 정도의 설비간 산포를 가지고

Table 2 Correction value for multiple target tilts

Target tilt (deg)	Correction tilt (deg)
0	0.027
3	3.027
5	5.027
7	7.027
10	10.027
15	15.027
20	20.027
-5	-4.973
-7	-6.973

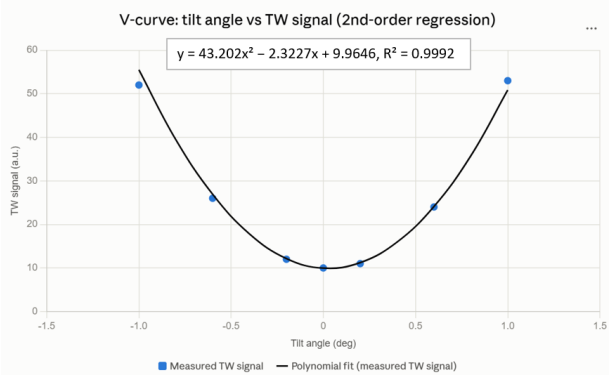


Fig. 8 Result of angle monitoring

있으므로 이에 따라 양산 산포를 고려한 ± 1도 까지의 범위에 대해 각 0.2도의 각도 차이를 주고 평가하였다.

2.7 ANGLE 관리 실험 결과

Table 1 및 Fig. 7의 결과값은 55.4 39.9 등으로 부터 +1도에서 50.3까지로의 값을 확인하였다. 측정 데이터에서 보면 0도 근처에서는 반복 측정간 데이터 변동이 크지 않았고 Tilt Angle이 증가하면서 TW값도 증가하고 측정 간 Range도 증가하는 경향을 보였다.

TW값으로 볼 때는 0도 조건에서 가장 작은 9.7을 얻었고 -0.2도 와 +0.2도로 갈수록 증가하면서 Angle 값이 커지면서 점점 증가하는 경향을 보여 육안 데이터로만 판단하면 Angle 0도가 맞는 것처럼 보인다. 그러나 측정된 TW값으로 2차 회귀분석을 하게되면 0.027도만큼 각도가 틀어짐을 확인할 수 있었고 정확한 각도로 이온주입을 하려면 7도 Target의 경우에는 7.027도로 이온주입을 하면 된다. Table 2는 목표 Tilt 값이 주어졌을 때의 보정 값을 표기하였다. 이렇게 보정 값으로 이온주입을 하게되면 정확한 각도로 Process가 가능하게 된다. 이렇게 보정하는 방법은 Software적으로 보정된 값을 이용하여 진행할 수도 있고 Hardware적으로 Angle각도를 Calibration후 Target각도를 보정 값없이 사용하는

Table 3 TW measurement data after correction

Correction tilt (deg)	Theoretical value	Run1		Run2		Run3		Range
		avg	std	avg	std	avg	std	
-1	53.14	54.43	0.46	51.49	0.54	53.85	0.6	2.94
-0.8	37.58	37.24	0.43	37.4	0.69	37.87	0.4	0.63
-0.6	25.49	25.25	0.76	25.34	0.64	25.83	0.53	0.58
-0.4	16.85	16.57	0.7	17.13	0.46	16.67	0.52	0.56
-0.2	11.66	11.81	0.54	11.47	0.53	11.64	1.12	0.34
0(correction axis)	9.93	9.59	0.69	9.91	0.59	9.79	0.42	0.32
0.2	11.66	11.97	0.43	11.51	0.47	11.61	0.33	0.46
0.4	16.85	16.65	0.51	16.86	1.03	16.98	0.58	0.33
0.6	25.49	25.61	0.76	25.71	0.83	25.22	0.55	0.49
0.8	37.58	37.44	0.76	36.96	0.69	37.36	0.66	0.48
1	53.14	54.3	0.28	54.05	0.79	52.59	0.68	1.71

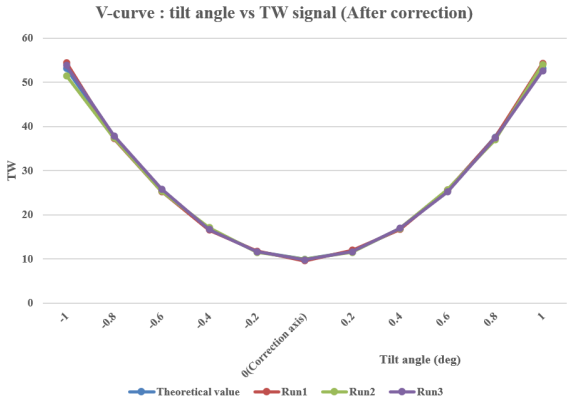


Fig. 9 Tilt angle vs TW signal (after correction)

방법이 있다. 그리고 Angle 검증 시 Target값에 정확히 일치하는 값을 얻기는 어려우므로 Target ± 허용각도 로서 허용각도의 관리기준을 두어 해당 값 이내에는 보정하지 않고 관리기준 초과시에만 보정하는 방향으로 하면 큰 품질 문제를 예방할 수 있다.

불확도를 줄이기위해서 관리기준을 벗어났을 때에는 반복 측정으로 검증 후 보정을 한다. Fig. 8은 측정 데이터를 그래프화한 값으로서 육안으로 측정한 값의 변화를 확인할 수 있다.

Table 3 및 Fig. 9는 Tilt Angle을 보정한 상태에서 반복 측정을 통한 V-curve 값을 나타낸다. 3회 반복으로 재이온주입, 재측정 Data를 통해 기존 Angle 차이가 0.027도에서 각각 0.001, 0.006, 0.005도 수준으로 개선됨을 확인하였다. 보정 축을 중심으로 좌우 대칭 형태를 보이며 최소값이 나오는 지점은 보정축의 중심에 몰려 있게 된다. 또한 그려지는 포물선의 벌어지는 정도가 유사한 모습을 보여 보정이 정상적으로 되었다고 확인할 수 있다. 이온주입 설비는 상기 확인된 0도 외에도 다양한 각도의 공정이 진행된다. 그러나 이온주입 설비의 틸트 구동축은 단일 회전축을 기준으로 동작하고, 빔과 기계 원점 사이에 일정한 각도 오프셋만 존재하므로 0도에서 오프셋을 보정하면 그 오프셋이 모든 각도에 동일하게 작용하므로 7도, 15도, 20도 등 다른 Target 각도에서도 동일하게 보정된다.

3. 결 론

이온주입 각도는 Channeling 현상을 최소화하기 위해 7도 이온주입을 사용하는 것이 일반적이지만 제품 Design에 따라 0도 이온주입을 할 수밖에 없는 경우도 있다. 0도 이온주입시 발생하는 Channeling 현상은 여러 방법으로 최소화할 수 있다.

그러나 근본적으로 발생하는 산포에 대해서는 설비관리를 통해 ESC 등 중요 부품의 산포 유발 원인에 대해 이해하고 관리를 해야 하며, 특히나 이상에 대한 Monitoring이 어려운 이온주입 공정 특성상 현장에서 바로 이상에 대해 인지할 수 있도록 철저한 Monitoring이 필요하고, 미세한 Angle 틀어짐에 대해서도 인지할 수 있는 테스트 웨이퍼를 통한 설비 Monitoring을 주기적으로 실시하여 대형 품질 사고 Risk를 관리해야 한다. 그러나 이온주입 공정 조건 및 계측기의 검출 특성을 고려하지 않으면 측정 산포로 인해 정확한 정보를 얻기 어려운 문제점이 있어 이번 논문에서 제시한 조건의 반복 실험을 통해 Angle 차이를 0.001~0.006도 수준으로 줄일 수 있음을 확인하였다. 이렇게 설비 Guarantee가 되는 상황에서의 0도 이온주입은 Shadowing Effect에 의한 이온주입이 안되는 영역 발생을 억제할 수 있고, 작은 Energy를 통해서도 깊은 영역까지 Doping 할 수 있어 High Energy 설비를 사용하지 않고도 진행할 수 있으며, 연속 이온주입의 경우에는 필요한 스텝 수를 줄이면서도 수직으로 Box 모양 같은 Doping을 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 SiC 반도체의 경우와 같이 이온주입시 원자들과의 충돌로 인한 Damage를 후속 열처리로 Curing 하기 어려운 경우 격자 충돌 Damage 자체를 줄여주어 후속 열처리의 부담도 줄일 수 있는 효과도 기대할 수 있다.

References

[1] Qin, S., 2016, Channeling, Self-PAI, and Self-Sputtering Effects of Ion Implantation versus Ion Species, Energy, and Dose - Data and Modeling, 21st International Conference on Ion Implantation Technology (IIT), 1-5, https://doi.org/10.1109/IIT.2016.7882854.

[2] Kondratenko, S. I., Rubin, L. M., Webster, E. A. G., 2018, Analysis of Very High Energy Implantation Profiles at Channeling and Non-Channeling Conditions, 22nd International

Conference on Ion Implantation Technology (IIT), 307-310, https://doi.org/10.1109/IIT.2018.8807946.

[3] Grasserbauer, M., Stingeder, G., 1989, Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS) of Silicon, Vacuum, 39:11-12 1077-1087, https://doi.org/10.1016/0042-207X(89)91096-8.

[4] Kamenitsa, D., Lillian, P., Luckman, G., Becker, K., Colvin, N., Rendon, M., Bokharey, Z., 2000, Therma-Wave Dose Sensitivity Considerations, Including Energy Dependence, International Conference on Ion Implantation Technology Proceedings, 674-677, https://doi.org/10.1109/IIT.2000.924243.

[5] Sano, M., Tsukahara, K., Kawatsu, S., Kawasaki, Y., Koike, M., 2016, Change of V-Curve Behavior Depending on Ion Angle Deviation in Channeling Condition, 21st International Conference on Ion Implantation Technology (IIT), 1-4, https://doi.org/10.1109/IIT.2016.7882853.

[6] Kun, Á., Szívós, J., Kis, E., Rubin, L. M., Szarvas, T., Pongrácz, A., Almási, O., Byrnes, J., Nádudvari, G., Spindler, S., Piros, R., Ujhelyi, F., 2018, Photomodulated Reflectance Measurement Technique for Implantation Tilt Angle Monitoring, 22nd International Conference on Ion Implantation Technology (IIT), 164-167, https://doi.org/10.1109/IIT.2018.8807949.

[7] Guo, B., Gossmann, H.-J., Toh, T., Colombeau, B., Todorov, S., Sinclair, F., Shim, K.-H., Henry, T., 2012, “Abnormal” Angle Response Curves of TW/Rs for Near Zero Tilt and High Tilt Channeling Implants, AIP Conf. Proc., 1496 119-122, https://doi.org/10.1063/1.4766504.



Hyeong Chung Cheon
Master Course in the Department of IT Convergence Engineering, Ajou University. His research interests include semiconductor process and equipment.
E-mail: hj7763@naver.com