

# Bi-CMOS공정중 SSR 채널 형성을 위한 Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 빔튜닝 방법 연구

최민호, 김남훈, 김상용\*, 장의구

중앙대학교, 동부아남 반도체

## A Study of Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Beam Tuning for SSR Channel on Bi-CMOS Process

Min-Ho Choi, Nam-Hoon Kim, Sang-Yong Kim\*, Eui-Goo Chang

Chung-Ang University, DongbuAnam Semiconductor

### Abstract

The characteristics of antimony implants are relatively well-known. Antimony has lower diffusion coefficient, shorter implantation range, and smaller scattering as compared with conventional dopants such as phosphorous and arsenic. It has been commonly used in the doping of buried layer in Bi-CMOS process. In this paper, characteristics and appropriate condition of monitoring in antimony implant beam tuning using Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> were investigated to get a reliable process. TW (Thema Wave) and Rs (Sheet Resistance) test were carried out to set up condition of monitoring for stable operation through the periodic inspection of instruction condition. The monitoring was progressed at the point that the slant of Rs varied significantly to investigate the variation of instruction accurately.

**Key Words** : Antimony Implant, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SIMS, TW (Thema Wave), R<sub>s</sub> (Sheet Resistance)

### 1. 서 론

이온 주입법은 가스 이온형태의 도판트를 가속시켜 반도체 내에 미세하게 분포시키는 방법으로써 확산작용법에 비해 도판트 원자의 양을 정확하게 제어할 수 있고, 또한 원하는 부분에 국소적으로 도판트를 주입할 수 있기 때문에 현재 고밀도 집적회로의 제작 과정에 필수적으로 사용되고 있는 중요한 기술이다.[1]

현재 Bi-CMOS 공정에 매몰층(buried layer) 주입에 널리 이용되는 것은 안티몬(Sb)이다. 이는 안티몬이 기존에 도판트로 사용되는 인(P)이나 비소(As)와는 달리 상대적으로 작은 확산 계수, 짧은 이온 주입 거리와 작은 stragglng 등의 특성을 가지고 있기 때문이다. 안티몬은 기존의 가스 소스와는 달리 고체 상태이기 때문에 기화기를 이용하여 기화시켜 사용하여야 하며, 안티몬과 같은 무거운

도판트는 문턱 전압 조절과 이온주입 프로파일을 목적에 알맞게 조절하는데 사용된다. 채널 영역에 이온 주입된 인 프로파일이 후속 소스/드레인이나 실리사이드 산화 공정에 의해 확산되는 것보다 적게 작용되기 때문이다. 또한 무거운 이온의 사용은 게이트 산화막 경계면 농도를 감소시키고 Si/SiO<sub>2</sub> 경계면의 바로 아래 부분에 도핑 우물 프로파일을 만들 수 있다.

이러한 프로파일을 SSR(super steep retrograde) 채널이라고 한다. 안티몬 이온주입은 전형적으로 retrograde 채널에 사용되는 도스에서 크리스탈 격자에 심한 손상을 입히고 후속 이온주입 공정에 sharp 프로파일을 만든다.[2-5] 표 1과 그림 1을 살펴보면, 브롬(Br)과 요오드(I)는 120℃ 이하에서 액체 상태이므로 장비가 오염될 수 있다. 같은 이유로 SbCl<sub>5</sub>와 SbF<sub>5</sub>도 사용하기 적합하지 않다. 사용할 수 있는 온도 범위 내에 있는 화합물은 SbCl<sub>3</sub>, SbF<sub>3</sub>, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 정도이다. 이중 SbCl<sub>3</sub> 는 휘발

표 1. 안티몬 화합물의 용융점 및 비등점.[5]

Compounds	T <sub>melting</sub> (°C)	T <sub>boiling</sub> (°C)
Sb	630.5	1380
SbBr <sub>3</sub>	96.6	662
SbCl <sub>5</sub>	2.8	79
SbCl <sub>3</sub>	73.4	283
SbF <sub>3</sub>	292	319
SbF <sub>5</sub>	7	149.5
SbH <sub>3</sub>	-88	-17.1
SbI <sub>5</sub>	79	40.6
SbI <sub>3</sub>	170	401
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	656	1550

성이 강하고 100°C 미만에서 컨트롤 되기 때문에 압력 컨트롤이 어려워서 기화기에 적합하지 않다.[5-8] 따라서, 본 실험에서는 프로세스를 진행하기 적합한 약 1 Torr를 유지하기 위해서 안티몬 주입 공정에서 불소 화합물보다 온도 컨트롤이 유리하고 안정적인 삼산화 안티몬(Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)을 피드 재료로 사용하였다. 산화 안티몬인 Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 피드 재료로 사용하여 이온주입 시 장비의 상태를 확인하기 위한 최적의 모니터링 조건을 실험하였다. 또한 안티몬 도판트에 관한 특성 및 물성을 알아보고, 가스 형태가 아닌 고체 상태의 소스를 사용하여 빔을 튜닝하는 방법을 구체적으로 연구해 보았다.

## 2. 실험

안티몬 주입은 Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 되어 있는 고체를 기화시켜 가스 형태의 소스로 바꾸어 이온빔을 생성하기 때문에 가스로 가공된 소스와는 달리 특별한 과정을 거치는 실험을 한다.

Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 대기 중에 있는 수분을 흡수하는 경향이 있다. 수분을 흡수하게 되면 흡수된 H<sub>2</sub>O 가 Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 소스 밖으로 끌고 나오게 되고, 농축되어 있다가 수분이 증발하게 되면 장비 전체를 오염시키게 된다. 이러한 장비의 오염을 방지하기 위해 우선 기화기에 로딩시 수분의 흡수를 최소화하여야만 한다. 따라서, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 를 새로 로딩하였을 때는 충분한 아웃 글래싱 과정이 필요하다. 처음 Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 로딩하게 되면 스타트업 할 때에 오븐이 가열되면서 안티몬 산화물로부터 나오는 물질이

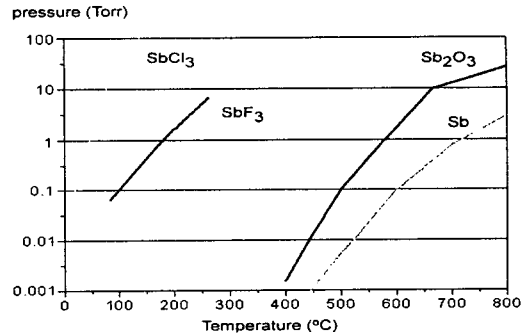


그림 1. 안티몬 화합물의 증기압.[5-7]

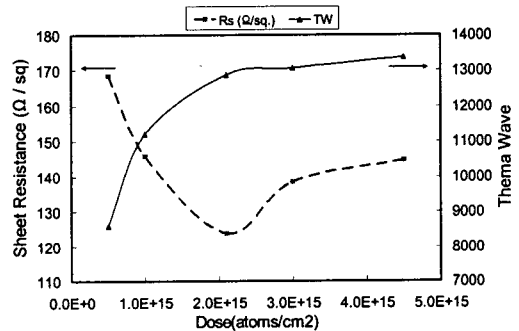


그림 2. 안티몬 도스의 TW vs. R<sub>s</sub> 테스트.

아크 챔버와 아크 블록에 응축될 수 있다. 이를 방지하려면 아르곤 퍼지를 함께 실시하여야 한다. 기화기 오븐의 온도는 처음 100°C까지 올린 후 200°C까지는 20°C 간격으로 올려준다. 일단 로딩된 Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 사용하여 안티몬 주입을 하게 될 경우에는 20°C 간격으로 빔 생성에 적합한 1 Torr를 유지할 수 있는 프로세스 온도인 500~510°C까지 올려서 사용하게 된다.

안정적인 오퍼레이션을 위한 모니터링의 조건을 셋업하기 위해 TW (Thema Wave)와 R<sub>s</sub> (Sheet Resistance) 테스트를 5.0×10<sup>14</sup>부터 4.5×10<sup>15</sup>까지의 범위에서 TW는 TP500 장비를 이용하여 측정하였으며, R<sub>s</sub> 값은 Centra500 RTP에서 1100°C 30sec의 RTA(Rapid Thermal Anneal) 공정을 거쳐서 RS75TCA(4 point probe)로 측정하였다. 실험 값에서 장비 변화를 보다 정확히 알 수 있도록 R<sub>s</sub> 기술기가 큰 지점에서 면저항의 재현성(reproducibility)과 감도(sensitivity)를 측정하여 모니터링을 실시하였다.

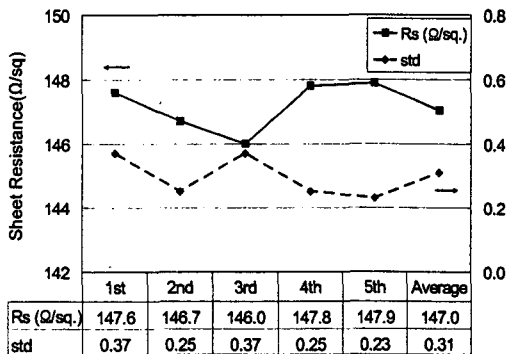


그림 3. 안티몬 면저항의 재현성.

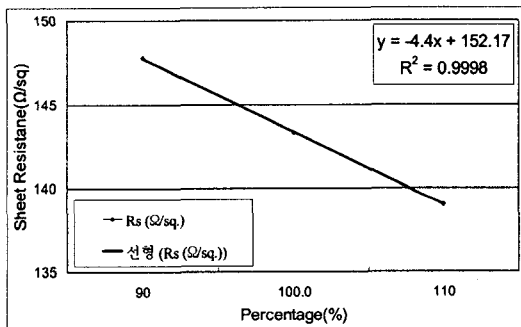


그림 4. 안티몬 면저항의 감도.

### 3. 결과 및 고찰

도스의 변화에 따른 TW와  $R_s$  값의 변화를 확인하기 위한 테스트는  $5.0 \times 10^{14}$ 부터  $4.5 \times 10^{15}$ 까지 5 단계에 걸쳐 진행하였다. 그림 2을 보면, TW는  $10^{14}$  대역에서 상당히 큰 값으로 변화량이 줄어드는 현상이 나타났다. 변화량이 줄어드는 원인은 무거운 이온인 안티몬을 많은 양의 이온주입을 실시함에 따라 격자의 손상 정도가 크기 때문이다.

$2.0 \times 10^{15}$  이후부터는 포화상태에 이르러 변화량이 작아지고 있다. 한편,  $R_s$  값은  $2.0 \times 10^{15}$  에서 변곡점이 생기면서 이후부터 증가하는 경향을 보이다가 포화되는 것을 볼 수 있다. 이는 고체 용해성이 작은 안티몬이 포화 상태에 이르면서 어닐링에 의한 충분한 활성화가 되지 않아 면저항이 높아지는 것으로 사료된다.

그림 2의 TW와  $R_s$  그래프의 기울기 변화량이 가장 큰  $1.0 \times 10^{15}$ 에서  $R_s$ 의 변화량을 모니터링 실시하였다. 그림 3은  $1.01 \times 10^{15}$   $R_s$ 의 데이터 재현성

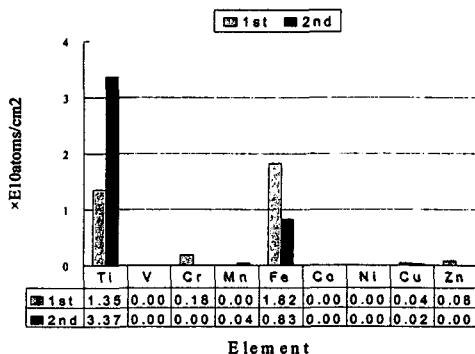


그림 5. 안티몬 주입에 의한 금속 오염 실험.

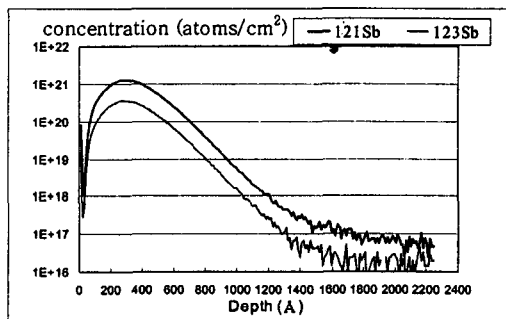


그림 6. 안티몬 SIMS 테스트.

을 실험하여 나타낸 것이다. 그림 4를 보면 평균 데이터 값에서  $\pm 1 \Omega/\text{sq.}$ 로 안정된 데이터 분포를 보인다. 그러므로,  $1.0 \times 10^{15}$ 에서 장비의 이상유무를 점검할 수 있을 것으로 판단된다.

$R_s$ 의 변화량에 따른 모니터링 실시할 때에 상한, 하한 값을 정하여 장비를 안정적으로 운영할 수 있도록 스펙을 정하기 위해, 이전의  $R_s$  테스트를 수행했던 결과를 보면  $1.0 \times 10^{15}$  대역에서 변화량이 가장 큰 것을 알 수 있다. 좁은 구간에서  $R_s$ 의 변화량을 선형적이라고 가정하여 감도를 계산하였다. 그림 4에서 알 수 있듯이,  $R_s$  감도 테스트로 이전에  $R_s$  테스트와 동일한 방법으로 모니터링을 하고자 하는 도스 대역에서 10%당  $0.44 \Omega/\text{sq.}$ 의 변화량을 알 수 있다. 스펙의 한계는  $3 \Omega/\text{sq.}$ 로 모니터링 범위를 설정하였다.

금속의 오염 정도를 알아보기 위해 MCLT 웨이퍼에  $\text{Sb}^+$ , 60keV,  $4.5 \times 10^{15}$ , 0/0, 6mA 조건으로 이온 주입을 하여 TXRF(전반사 형광 X-RAY) 테스트

트를 하여서 오염 정도를 측정하여 보았다. 실험은 2차례 각각의 웨이퍼당 5포인트를 측정하여 그림 5과 같이 데이터 중 최대로 검출된 양을 표기하였는데, 스펙이  $<5.0 \times 10^{10}$ 이므로 모든 원소가 스펙을 만족하는 결과가 나왔다.

이온 주입된 안티몬의 동위 원소를 측정하기 위해 SIMS 테스트를 이용하여 실험을 해 보았다. 그림 6은 조건을  $Sb^+$ , 60keV,  $4.5 \times 10^{15}$ , 0/0, 6mA로 하여 측정한 SIMS 프로파일이다. 안티몬은 자연 상태에서 121Sb가 57.25%, 123Sb가 42.75% 존재하는데, 그림의 프로파일에서는 121Sb가 78.5% 정도로 나타난다. 본 실험을 실시한 GSD-200E의 경우 장비 스펙이  $M/\Delta M=50$ 으로 안티몬의 원자량 121.76에서 2.44의 레인지를 갖게 된다. 실질적으로 121Sb, 123Sb가 동시에 이온 주입된다. AMV를 121로 설정하여 진행하므로 자연상태 동위원소의 높은 비율을 나타낸다.

#### 4. 결 론

최적의 모니터링 조건을 TW와  $R_s$ 는 실제 런 진행 조건 보다 변화량이 가장 큰  $1.0 \times 10^{15}$  대역에서 모니터링에 적합할 것으로 사료된다. 실험 결과를 토대로 장비의 이상 유무를 판단하는 주기적인 모니터링 조건은  $Sb^+$ , 60keV,  $4.5 \times 10^{15}$ , 0/0, 6mA 조건으로 이온 주입을 실시하여  $R_s$  타겟은 146.5 $\Omega$ /sq. 스펙 한계는 3 $\Omega$ /sq., 조정 한계는  $\pm 2\Omega$ /sq.으로 모니터링 범위를 설정하여 장비를 점검하는 것이 최적이라고 판단된다. Bi-CMOS 공정의 SSR (super steep retrograde) 채널을 형성하기 위해 새로이 도입되어진 안티몬은 실험에 사용된  $Sb_2O_3$ 를 통하여 안티몬 주입은 고체를 기화시켜 가스 형태의 소스로 바꾸어 이온빔을 생성하고,  $Sb_2O_3$ 는 대기중에 있는 수분을 흡수할 수 있기 때문에 가스로 가공된 소스와 다른 과정을 거치게 된다. 또한, 기존의 가스 타입의 소스대신 고체 소스를 사용하기 때문에 기화기를 이용하게 된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00375-0) 지원으로 수행되었음.

#### 참고 문헌

- [1] C. S. Kim, S. G. Kim, Y. K. Cho, Y. L. Kim, O. J. Kwon and J. G. Lee, "Annealing characteristics of through-oxide phosphorus ion-implanted Si", J. of the Korean Inst. of Met. & Mater., Vol. 31, No. 2, p. 162-168, 1993.
- [2] K. Shibahara, N. Mifuji, K. Kawabata, T. Kugimiya, H. Furumoto, M. Tauno, S. Yokoyama, M. Nagata, S. Miyazaki, M. Hirose, "Low resistive ultra shallow junction for sub 0.1  $\mu$ m MOSFETs formed by Sb implantation", IEDM Tech. Dig, p. 579-582, 1996.
- [3] N. Kawakami, K. Egusa, K. Shibahara, "Reduction of threshold voltage fluctuation of p-MOSFETs by antimony super steep retrograde well channel", Junction Technology, 2001. IWJT. Extended Abstracts of the Second International Workshop, Vol. 2, p. 7-10, 2001.
- [4] T. Marin, W. G. Jr. Boyd, J. Mcanus, "Process performance of SDS, high pressure hydrides and solid vaporizer feed materials on a 9500 $\times$ R ion implanter", Ion Implantation Technology. Proceedings of the 11th International Conference on, p. 307-310, 1996.
- [5] J. M. Reyes, "SbF<sub>3</sub> as Vaporizer Feed Material for the Bernas Dual Vaporizer in the E220/500 Implanters", Conference on Ion Implantation Technology, No. 9, p. 542-545, 2000.
- [6] D. R. Stull, "Industrial and Engineering Chemistry 39, p. 517, 1947.
- [7] T. B. Reed, "Free Energy of Formation of Binary Compounds", MIT Press, 1971.
- [8] P. Banks, M. Dobson, B. Krimbacher, A. Allen, A. Murrell, "Novel species implantation using Applied Materials 9500 $\times$ RTM and  $\times$ R LEAPTM implanters", Ion Implantation Technology Proceedings, Vol. 1, p. 358-361,