

안티몬 이온주입시 Sb_2O_3 빔튜닝 방법 및 모니터링 연구

A Study on Sb_2O_3 Beam Tuning and Monitoring in Antimony Implantation

김상용¹, 최민호², 김남훈², 정현상^{3,a}, 장의구²

(Sang-Yong Kim¹, Min-Ho Choi², Nam-Hoon Kim², Hun-Sang Chung^{3,a}, and Eui-Goo Chang²)

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_2O_3 were investigated to get a reliable process. TW(Thema Wave) and R_s (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 R_s varied significantly to investigate the variation of instruction accurately.

Key Words : Antimony Implant, Sb_2O_3 , TW(Thema Wave), R_s (Sheet Resistance), SIMS

1. 서론

반도체 소자를 제조할 때 불순물을 도핑 시키기 위해 이온주입법이 널리 이용되어 왔다. 이온주입법은 가스 이온형태의 도판트를 가속 시켜 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 straggling 등의 특성을 가지고 있기 때문이다. 안티몬은 기존의 가스 소스와는 달리 고체 상태이기 때문에 기화기(vaporizer)를 이용하여 기화시켜 사용하여야 하며, 안티몬과 같은 무거운 도판트는 문턱 전압 조절과 이온주입 프로파일을 목적에 알맞게 조절하는데 사용된다. 채널 영역에 이온주입된 인 프로파일이 후속 소스/드레인이나 실리사이드 산화 공정에 의해 확산되는 것보다 적게 작용되기 때문이다. 또한 무거운 이온의 사용은 게이트 산화막 경계면 농도를 감소시키고 Si/SiO₂ 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 °C 이하에서 액체 상태이므로 장비가 오염될 수 있다. 같은 이유로 SbCl₅와 SbF₅도 사용하기 적합하지 않다. 사용할 수 있는 온도 범위내에 있는 화합물은 SbCl₃, SbF₃, Sb₂O₃ 정도이다. 이중 SbCl₃는 휘발성이 강하고 100 °C 미만

1. 동부아남반도체 SEE팀

2. 중앙대학교 전자전기공학부

3. 조선대학교 전기공학과

(광주광역시 동구 서석동 375)

a. Corresponding Author : hschung@mail.chosun.ac.kr

접수일자 : 2004. 2. 6

1차 심사 : 2004. 3. 15

심사완료 : 2004. 4. 1

에서 컨트롤되기 때문에 압력 컨트롤이 어려워서 기화기에 적합하지 않다[5-7]. 따라서, 본 실험에서는 공정을 진행하기 적합한 약 1 Torr를 유지하기 위해서 안티몬 주입 공정에서 불소 화합물보다 온도 컨트롤이 유리하고 안정적인 삼산화안티몬(Sb₂O₃)을 피드 재료로 사용하였다. 산화 안티몬인 Sb₂O₃를 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.

표 1. 안티몬 화합물의 용융점 및 비등점[5].
Table 1. Melting points and boiling points of antimony compounds[5].

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

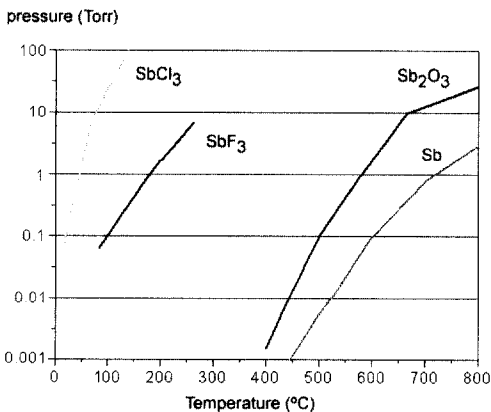


그림 1. 안티몬 화합물의 증기압[5-6].
Fig. 1. Vapor pressures of antimony compounds [5-6].

2. 실험

안티몬 주입은 Sb₂O₃로 되어 있는 고체를 기화시켜 가스 형태의 소스로 바꾸어 이온빔을 생성하기 때문에 가스로 가공된 소스와는 달리 특별한 과정을 거치는 실험을 한다.

Sb₂O₃는 대기중에 있는 수분을 흡수하는 경향이 있다. 수분을 흡수하게 되면 흡수된 H₂O가 Sb₂O₃를 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, Sb₂O₃를 새로 로딩하였을 때는 충분한 아웃 글래싱 과정이 필요하다. 처음 Sb₂O₃를 로딩하게 되면 스타트업 할 때에 오븐이 가열되면서 안티몬 산화물로부터 나오는 물질이 아크 챔버와 아크 블라에 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 Sb₂O₃를 사용하여 주입을 하게 될 경우에는 20 °C 간격으로 빔 생성에 적합한 1 Torr를 유지할 수 있는 공정 온도인 500~510 °C까지 올려서 사용하게 된다.

기존의 사용하던 인이나 비소에 비해 무거운 원소로 스퍼터링에 의한 입자 오염을 우려하여, 먼지 파티클의 개수를 측정한다. 또, 안정적인 오퍼레이션을 위한 모니터링의 조건을 셋업하기 위해 TW(Thema Wave)와 R_s(Sheet Resistance) 테스트를 5.0×10¹⁴ 부터 4.5×10¹⁵까지의 범위에서 TW는 TP500 장비를 이용하여 측정하였으며, R_s 값은 Centra500 RTP에서 1100 °C 30sec의 RTA(Rapid Thermal Anneal) 공정을 거쳐서 RS75TCA(4 point probe)로 측정하였다. 실험값에서 장비변화를 보다 정확히 알 수 있도록 R_s 기울기가 큰 지점에서 먼저항의 재현성(reproducibility)과 감도(sensitivity)를 측정하여 모니터링을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

기존에 사용하던 인이나 비소 보다 무거운 원소로 스퍼터링에 의한 파티클 오염을 우려하여, 안티몬 이온주입을 진행하면서 발생하는 파티클 개수를 측정하여 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서와 같이 5회의 테스트를 실시한 결과 평균 28.4개 로 고전류 장비의 스펙인 <40개를 만족하는 것으로 나타났다.

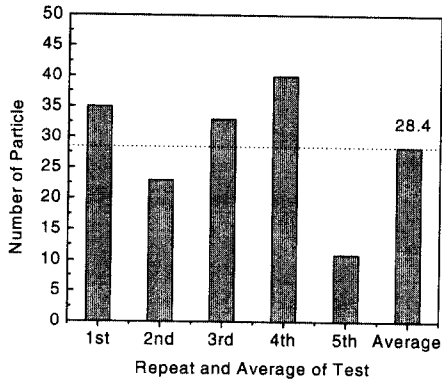


그림 2. 안티몬 주입에 의한 파티클의 개수.
Fig. 2. Process particle by Sb implant.

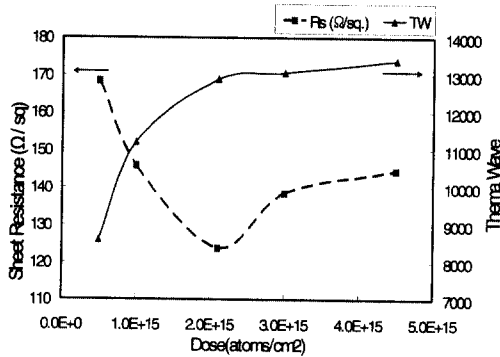


그림 3. 안티몬 도스의 TW vs. R_s 테스트.
Fig. 3. TW vs. R_s test of antimony dose.

도스의 변화에 따른 TW와 R_s 값의 변화를 확인하기 위한 테스트는 5.0×10¹⁴부터 4.5×10¹⁵까지 5단계에 걸쳐 진행하였다. 그림 3을 보면, TW는 10¹⁴ 대역에서 상당히 큰 값으로 변화량이 줄어드는 현상이 나타났다. 변화량이 줄어드는 원인은 무거운 이온인 안티몬을 많은 양의 이온주입을 실시함에 따라 격자의 손상 정도가 크기 때문이다. 2.0×10¹⁵ 이후부터는 포화상태에 이르러 변화량이 작아지고 있다. 한편, R_s 값은 2.0×10¹⁵ 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 것

으로 사료된다. 그림 3의 TW와 R_s 그래프의 기울기 변화량이 가장 큰 1.0×10¹⁵에서 R_s의 변화량을 모니터링 실시하였다. 그림 4는 1.01×10¹⁵ R_s의 데이터 재현성을 실험하여 나타낸 것이다. 그림 4를 보면 평균 데이터 값에서 ±1Ω/sq.로 안정된 데이터 분포를 보인다. 그러므로, 1.0×10¹⁵에서 장비의 이상유무를 점검할 수 있을 것으로 판단된다.

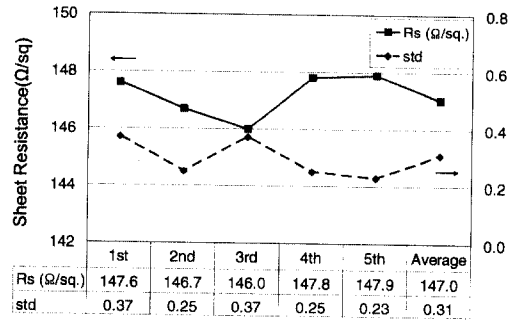


그림 4. 안티몬 면저항의 재현성.
Fig. 4. Reproducibility of antimony sheet resistance.

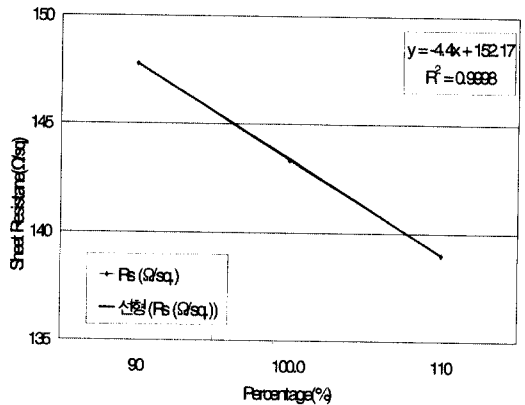


그림 5. 안티몬 면저항의 감도.
Fig. 5. Sensitivity of antimony sheet resistance.

R_s의 변화량에 따른 모니터링 실시할 때 상한, 하한 값을 정하여 장비를 안정적으로 운영할 수 있도록 스펙을 정하기 위해, 이전의 R_s 테스트를 수행했던 결과를 보면 1.0×10¹⁵ 대역에서 변화량이 가장 큰 것을 알 수 있다. 좁은 구간에서 R_s의 변화량을 선형적이라고 가정하여 감도를 계산하였다. 그림 5에서 알 수 있듯이, R_s 감도 테스트

로 이전에 R_s 테스트와 동일한 방법으로 모니터링을 하고자 하는 도스 대역에서 10 %당 0.44 Ω /sq.의 변화량을 알 수 있다. 스펙의 한계는 3 Ω /sq.로 모니터링 범위를 설정하였다.

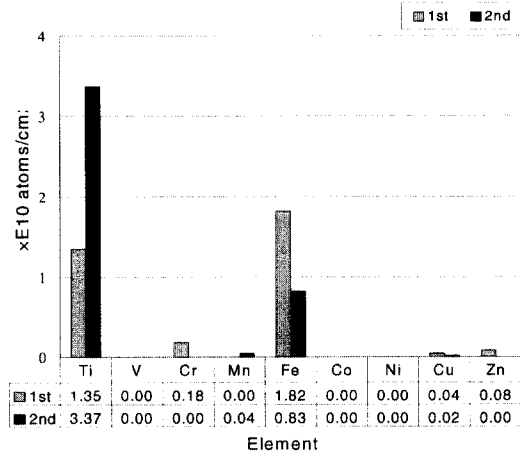


그림 6. 안티몬 주입에 의한 금속 오염 실험.
Fig. 6. Metal contamination test by antimony implant.

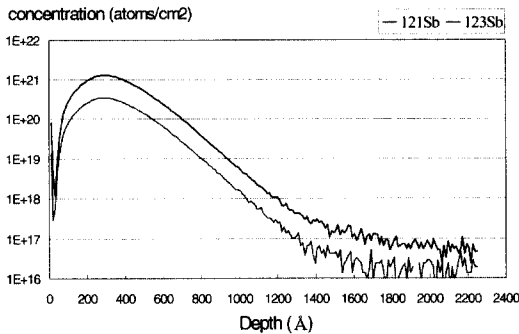


그림 7. 안티몬 SIMS 테스트.
Fig. 7. Antimony SIMS profile.

금속의 오염 정도를 알아보기 위해 MCLT 웨이퍼에 Sb^+ , 60 keV, 4.5×10^{15} , 0/0, 6 mA 조건으로 이온 주입을 하여 TXRF(전반사 형광 X-RAY) 테스트를 하여서 오염 정도를 측정하여 보았다. 실험은 2차례 각각의 웨이퍼당 5포인트를 측정하여 그림 6과 같이 데이터 중 최대를 곱출된 양을 표기하였는데, 스펙이 $< 5.0 \times 10^{10}$ 이므로 모든 원소가 스

펙을 만족하는 결과와 나왔다.

이온주입된 안티몬의 동위 원소를 측정하기 위해 SIMS 테스트를 이용하여 실험하였다. 그림 7은 조건을 Sb^+ , 60 keV, 4.5×10^{15} , 0/0, 6 mA로 하여 측정된 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 이온주입된다. AMV를 121로 설정하여 진행하므로 자연상태 동위원소의 높은 비율을 나타낸다.

4. 결론

안티몬은 Bi-CMOS 공정의 SSR(super steep retrograde) 채널을 형성하기 위해 새로 도입되었다. 본 실험에서 사용된 Sb_2O_3 를 통한 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 이용한다. 기화기를 이용하게 되면, 기존의 장비 빔 튜닝 시간보다 10배에 가까운 시간이 소요된다. 기존의 사용하던 인이나 비소에 비해 무거운 원소로 스퍼터링에 의한 파티클 오염을 우려하여, 먼저 파티클의 개수를 측정하여 보니, 28.4개 (스펙 < 40개)로 스펙을 만족하는 결과와 나왔다. 최적의 모니터링 조건을 TW와 R_s 는 실제 런 진행 조건보다 변화량이 가장 큰 1.0×10^{15} 대역에서 모니터링에 적합할 것으로 사료된다. 실험 결과를 토대로 장비의 이상 유무를 판단하는 주기적인 모니터링 조건은 Sb^+ , 60keV, 4.5×10^{15} , 0/0, 6 mA조건으로 이온 주입을 실시하여 R_s 타겟은 146.5 Ω /sq. 스펙 한계는 3 Ω /sq., 조정 한계는 $\pm 2 \Omega$ /sq.으로 모니터링 범위를 설정하여 장비를 점검하는 것이 최적이라고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2003년도 조선대학교 교내 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음

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, 1993.
- [2] K. Shibahara, N. Mifuji, K. Kawabata, T. Kugimiya, H. Furumoto, M. Tauno, S. Yokoyama, M. Nagata, S. Miyazaki, and M. Hirose, "Low resistive ultra shallow junction for sub 0.1 μm MOSFETs formed by Sb implantation", IEDM Tech. Dig., p. 579, 1996.
- [3] N. Kawakami, K. Egusa, and 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, 2001.
- [4] T. Marin, W. G. Jr. Boyd, and 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, p. 307, 1996.
- [5] J. M. Reyes, "SbF₃ as Vaporizer Feed Material for the Bernas Dual Vaporizer in the E220/500 Implanters", Conference on Ion Implantation Technology, No. 9, p. 542, 2000.
- [6] T. B. Reed, "Free Energy of Formation of Binary Compounds", MIT Press., 1971.
- [7] P. Banks, M. Dobson, B. Krimbacher, A. Allen, and A. Murrell, "Novel species implantation using Applied Materials 9500 \times RTM and \times R LEAPTM implanters", Ion Implantation Technology Proceedings, Vol. 1, p. 358, 1998.