

PSG/SiO₂ 보호막 처리된 Al-1%Si 박막배선에서의 Sodium과 수분 게터링에 관한 연구

김진영*

광운대학교 전자재료공학과, 서울 139-701

(2013년 3월 21일 받음, 2013년 5월 1일 수정, 2013년 5월 2일 확정)

PSG/SiO₂ 보호막 처리된 Al-1%Si 박막배선 내 sodium (Na)과 수분(H₂O) 게터링(gettering) 현상을 측정, 분석하였다. PSG/SiO₂ 보호막과 Al-1%Si 박막을 상압CVD (APCVD: atmosphere pressure chemical vapor deposition)법과 DC 마그네트론 스퍼터로 각각 증착하였고, 이차이온 질량분석기(SIMS: secondary ion mass spectrometry)를 이용한 깊이분포측정(depth profiling) 분석을 통해 PSG/SiO₂ 보호막으로부터 Al-1%Si 박막배선 층까지의 sodium과 수분 등 성분들의 분포를 확인하였다. Sodium과 수분 피크 모두 Al-1%Si 박막배선 내부보다는 막 간 계면에서 강하게 나타났다. PSG와 SiO₂ 보호막 계면에서는 sodium 피크는 관찰되었지만 수분 피크는 관찰되지 않았다.

주제어 : PSG/SiO₂ 보호막, Al-1%Si, Sodium, 수분, SIMS

I. 서 론

전자소자의 초고집적화에 따른 박막배선 선평의 지속적인 감소는 배선 재료 및 보호막의 개선을 요구하고 있다 [1-3]. 알루미늄(Al) 박막은 우수한 기판 접착력, 공정의 용이성, 비교적 저렴한 공정비용 등의 많은 장점 때문에 집적회로의 박막배선 재료로 오랫동안 사용되어지고 있다. 구리(Cu) 박막은 알루미늄 박막에 비하여 비저항 값이 낮으며 전자적 이동(electromigration)에 대한 우수한 내성을 가지고 있어서 알루미늄 박막배선의 대체 배선재료로서 많은 가능성을 보이며 연구되고 있다 [1]. 금속 박막배선 위의 보호막은 장기간의 외부 환경 노출에도 소자의 안정화 및 신뢰성 향상, 수명연장 등을 위해 사용되며 보호막 하지층인 박막배선에 따라 다양한 종류, 다양한 형태의 보호막이 적용되고 있다 [1-3]. 구리 박막배선의 경우 실온에서조차 쉽게 산화막이 형성되는 단점이 있는데, Al₂O₃, SiO₂, 그리고 SiN 등의 보호막이 산화막 형성 방지 등을 위해 적용되고 있다 [1]. PSG (phosphosilicate glass) 보호막은 소자의 신뢰성에 악영향을 미치는 sodium 이온 등 불순물의 게터링 효과 개선 및 수분에 대한 저항성을 향상시키고, 평탄한 표면(smooth topography)을 형성하며, 열처

리 중 외부확산(outdiffusion) 방지 등을 위해 많이 사용되는 SiO₂ 박막과의 응력(stress)을 감소시키는 것으로 알려져 있다 [2-4]. 이 밖에도 무기물과 유기물 등을 이용한 다양한 형태의 보호막이 초고집적화 된 전자소자에서 연구되고 있다 [5-9]. 제조 공정 과정 또는 외부 환경으로부터의 sodium 이온, 수분, 그리고 산소 등 불순물의 박막배선 내부로의 투과는 열팽창계수 차에 의한 열적응력, 서로 다른 원자 간의 결합상태, 깨진 결합(broken bond) 등 요인으로 인한 계면에서의 결합, 미세구조(microstructure)적 결합, 나노크기의 기공(nanoscale pore) 등 결합들의 수, 크기, 막의 밀도 등의 영향을 받으며, 전자소자 특성 저하, 동작 불량 및 결함발생 등의 중요한 요인으로 작용할 수 있다 [7-14]. 이러한 중요성 때문에 보호막 처리된 박막배선에서 sodium과 수분 등 불순물의 게터링 현상에 관한 체계적인 연구가 요구되고 있다.

본 연구에서는 PSG/SiO₂ 보호막과 Al-1%Si 박막을 상압 CVD 법과 DC 마그네트론 스퍼터로 각각 증착한 후 sodium과 수분 게터링에 관하여 조사하였다. 동적 이차이온 질량분석기(dynamic SIMS)를 이용하여 PSG/SiO₂ 보호막으로부터 하부 Al-1%Si 박막배선 층까지 깊이분포측정 분석을 하였고, sodium과 수분 등 성분들의 분포를 확인하였다.

* [전자우편] jykim@kw.ac.kr

II. 실험

Al-1%Si 박막은 열산화법(thermal oxidation)으로 SiO₂층을 5,000 Å 두께로 성장시킨 p형 Si(100)기판 위에 DC 마그네트론 스퍼터를 사용하여 증착하였으며 두께는 7,000 Å 이었다. Al-1%Si 박막층 위에 상압CVD법으로 PSG와 SiO₂ 보호막을 각각 3,000 Å 두께씩 증착하였다. 실험에 사용된 PSG/SiO₂/Al-1%Si 박막배선 구조를 Fig. 1에 나타내었다.

보호막 및 Al-1%Si 박막내의 sodium과 수분 등 성분들의 분석을 위해 이차이온 질량분석기(SIMS, IMS 6F from CAMECA)를 사용, dynamic SIMS에 의한 깊이분포측정을 하였다. 대부분의 2차 이온은 피층돌 표면의 가장 바깥 원자층으로부터 방출되므로 표면에 민감한 방법으로 극미량 분석이 가능하며 불순물 깊이분포측정 등에 널리 사용되고 있다 [8,11]. SIMS 분석에서 스퍼터링 현상에 의해 방출되는 입자의 상대적 이온화률은 분석시 사용되는 이온빔의 종류에 의해 차이가 많이 난다 [11]. 분석하기 위한 원소에 따라 세슘이온(Cs⁺)과 산소이온(O₂⁺)빔을 사용하였으며, 두 이온 빔에 의한 측정 성분들 그리고 분석 조건을 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다.

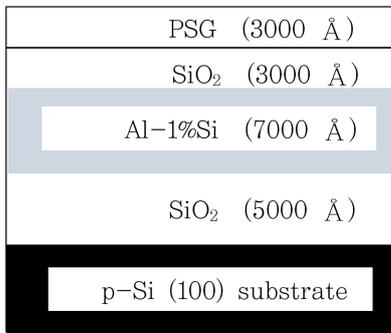


Figure 1. The PSG/SiO₂/Al-1%Si thin film interconnection structure.

Table 1. Measured secondary ions and analytical conditions of dynamic SIMS (for O₂⁺ primary ion beam).

Primary ion beam	O ₂ ⁺
Measured secondary ions	Positive ions (O, Na, Al, Si)
Impact energy	7.5 keV
Beam current	80 nA
Raster size	100×100 μm
Measured area	33 μm (Φ)

III. 결과 및 고찰

Fig. 2는 산소이온(O₂⁺)빔을 이용한 SIMS 깊이분포측정 분석결과로써, 알루미늄(Al), 실리콘(Si), 산소(O) 원소의 깊이에 따른 분포를 나타낸다. PSG/SiO₂ 보호막과 하부 배선 재료인 Al-1%Si 박막의 형성을 확인할 수 있으며, 배선 상부 보호막인 PSG와 SiO₂층 사이의 계면은 실리콘과 산소 원소의 성분 분포상으로는 명확히 구별되어 나타나지 않음을 보여준다.

Fig. 3은 세슘이온 빔을 이용한 SIMS 깊이분포측정 분석 결과로써, PSG/SiO₂ 보호막에서의 인(P)의 분포를 나타낸다. PSG 보호막 층에서의 P를 확인할 수 있으며 일부는 접하고 있는 하부 SiO₂ 보호막 층으로 확산된 것으로 판단된다.

Fig. 4는 산소이온 빔을 이용한 SIMS 깊이분포측정 분석결과로써, sodium (Na)과 Al 원소의 분포를 나타낸다. Sodium은 PSG와 SiO₂ 두 보호막 층 사이의 계면, 그리고 SiO₂ 보호막과 Al-1%Si 박막배선 사이의 계면에서 강한 피크가 관찰됨을 알 수 있다. Sodium은 박막 제조과정 등 요인으로부터 오염될 수 있으며 [10,13], mobile 이온이므

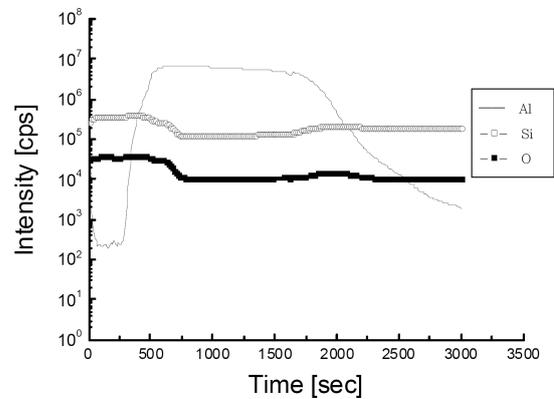


Figure 2. SIMS depth profile of PSG/SiO₂/Al-1%Si thin film interconnections (for Al, Si, and O).

Table 2. Measured secondary ions and analytical conditions of dynamic SIMS (for Cs⁺ primary ion beam).

Primary ion beam	Cs ⁺
Measured secondary ions	Negative ions (H, H ₂ O, Al, P)
Impact energy	15 keV
Beam current	15 nA
Raster size	100×100 μm
Measured area	33 μm (Φ)

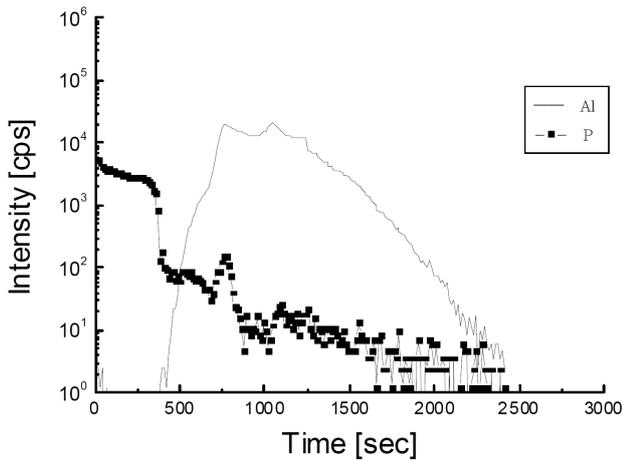


Figure 3. SIMS depth profile of PSG/SiO₂/Al-1%Si thin film interconnections (for Al and P).

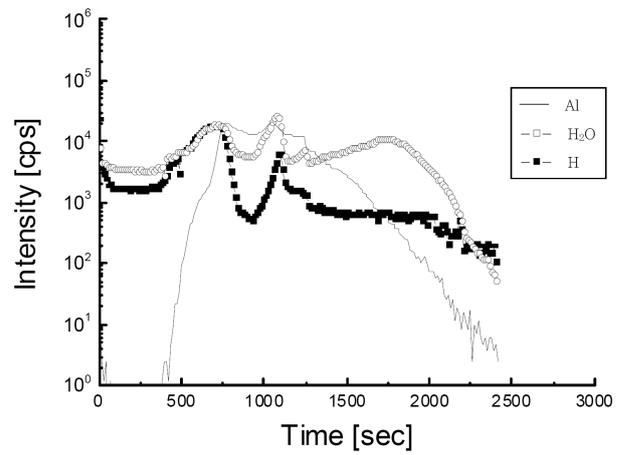


Figure 5. SIMS depth profile of PSG/SiO₂/Al-1%Si thin film interconnections (for Al, H₂O, and H).

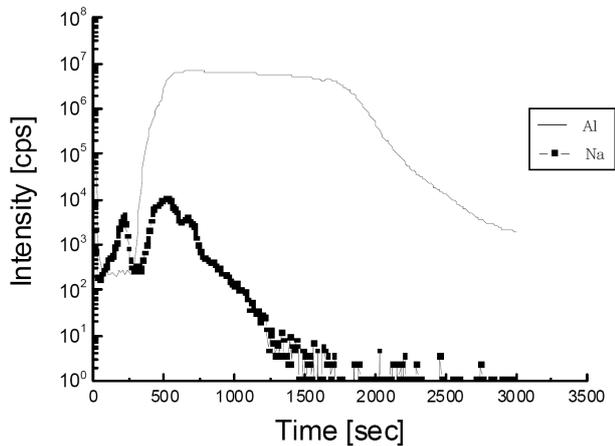


Figure 4. SIMS depth profile of PSG/SiO₂/Al-1%Si thin film interconnections (for Al and Na).

로 수분 등과 함께 전자소자의 특성 저하 및 결함 발생 등의 중요한 원인이 되는 불순물로서 작용할 수 있다[2,4, 7-10]. PSG 보호막은 SiO₂ 막의 응력을 완화시키고 sodium의 게터링 효과를 높이기 위해 많이 사용되어지고 있다 [2,4]. 본 연구 결과 PSG/SiO₂ 보호막 처리된 Al-1%Si 박막배선에서 sodium의 게터링은 주로 PSG 보호막과 SiO₂ 보호막 사이의 계면 그리고 SiO₂ 보호막과 Al-1%Si 박막배선 사이의 계면 등 계면에서 나타나는 것으로 보인다. Al-1%Si 박막배선 내에서 sodium 피크가 관찰되지 않은 것은 상부 PSG/SiO₂ 보호막에 의한 계면에서의 게터링 효과 때문인 것으로 판단된다. PSG 보호막은 sodium 이온 등 불순물에 대한 게터링 효과가 뛰어나 전자소자 등의 안정화 및 신뢰성 향상에 도움이 되는 것으로 보고된 바 있다 [2,4].

Fig. 5는 세슘이온 빔을 이용한 SIMS 깊이분포측정 분석결과로써, 수분(H₂O)의 깊이에 따른 분포를 나타낸다. 질량 18 H₂O⁻를 측정하였고, 질량 1 H⁻ 또한 측정, 비교하여 수분의 분포를 확인하였다. 18 H₂O⁻와 1 H⁻의 깊이분포 측정 결과 막 내에서 비슷한 분포를 나타내었고, 이로써 측정된 1 H⁻ 이온은 수분으로부터 세슘이온 빔에 의해 방출된 이차 음이온으로 판단된다. 수분의 경우 Al-1%Si 박막배선 상부 보호막인 PSG/SiO₂ 보호막과 Al-1%Si 박막배선 사이의 계면에서 강한 피크가 나타났으며, 또한 Al-1%Si 박막과 하부 SiO₂ 열산화막 층 사이의 계면에서도 수분의 피크가 관찰되었다. PSG와 SiO₂ 보호막 계면에서는 sodium (Na)은 강한 피크가 관찰되었지만(Fig. 4) 수분(H₂O)의 피크는 관찰되지 않았다(Fig. 5). 이는 PSG와 SiO₂ 보호막 계면에서는 mobile 이온인 sodium이 수분보다 게터링 효과가 크게 나타났기 때문인 것으로 사료된다. SiO₂ 보호막과 Al-1%Si 박막 배선 사이의 계면에 비해 PSG와 SiO₂ 두 보호막 층 사이의 계면은 PSG 보호막의 인(P)이 Fig. 3에서 확인한 바와 같이 SiO₂ 보호막 내로 일부 확산되어 비슷한 SiO₂ 기본 구조의 계면 특성을 갖게 되고, 이러한 계면 특성이 sodium과 수분의 게터링 현상에 영향을 미친 것으로 사료된다. 또한 sodium 및 수분 모두 표면에서 보다 계면에서 강한 피크가 나타났으며, 이는 PSG/SiO₂ 보호막 처리된 Al-1%Si 박막배선의 계면에서 게터링되었기 때문인 것으로 사료된다. SIMS 분석 시 계면에서 스퍼터링 및 이온화률이 상대적으로 높아 계면에서 피크가 나타날 수 있으나 Fig. 2에서 PSG와 SiO₂ 층 사이의 계면

에서는 실리콘과 산소 원소의 강한 계면 피크가 관찰되지 않은 것으로 보아 스퍼터링률 및 이온화률의 영향보다는 계면에서의 깨진 결합 등 결합 특성의 영향으로 PSG/SiO₂ 보호막 처리된 Al-1%Si 박막배선에서 sodium과 수분 게터링이 나타난 것으로 사료된다.

IV. 결 론

PSG/SiO₂ 보호막 처리된 Al-1%Si 박막배선에서 dynamic SIMS를 이용한 깊이분포측정 분석 결과 sodium (Na)은 PSG와 SiO₂ 두 보호막 층 사이의 계면, 그리고 SiO₂ 보호막과 Al-1%Si 박막 배선 사이의 계면에서 강한 피크가 관찰되었고, 수분(H₂O)의 경우는 PSG/SiO₂ 보호막과 Al-1%Si 박막배선 사이의 계면과 Al-1%Si 박막과 SiO₂ 열산화막 층 사이의 계면에서 강한 피크가 관찰되었다.

Sodium과 수분 피크 모두 Al-1%Si 박막배선 내부에서 보다는 막 간 계면에서 강하게 나타났다. Al-1%Si 박막배선 내에서 sodium과 수분의 피크가 관찰되지 않은 것은 상부 PSG/SiO₂ 보호막에 의한 계면에서의 게터링 효과 때문인 것으로 사료된다. PSG 와 SiO₂ 보호막 계면에서는 sodium 피크는 관찰되었지만 수분 피크는 관찰되지 않았다. 이는 sodium과 수분 등 불순물의 게터링 현상이 계면에서의 결합 특성에 의해 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다.

박막배선 내의 sodium과 수분 등 불순물은 전자소자 특성 저하 및 결합발생 등의 중요한 요인으로 작용할 수 있다. 보호막 처리된 박막배선에서 불순물의 게터링 특성에 대한 이해는 전자 소자의 안정화 및 신뢰성 향상에 도움이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음. 포항공과대학교 나노기술집적센터의 장비를 사용하여 SIMS 분석을 하였으며 김성규 박사님의 도움에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] C. Hang, Y. Tian, C. Wang, and N. Wang, *Thin Solid Films* **524**, 224 (2012).
- [2] J. M. Ha, H. J. Shin, S. W. Lee, Y. W. Kim, and J. K. Lee, *Kor. J. Mater. Res.* **3**, 166 (1993).
- [3] Y. S. Park and J. Y. Kim, *J. Korean Vac. Soc.* **5**, 161 (1996).
- [4] M. H. Lee, *Thin Film Technology*, (Dooyangsa, Seoul, 2009), p. 165.
- [5] G. Dingemans and W. M. M. Kessels, *J. Vac. Sci. Technol. A* **30**, 040802 (2012).
- [6] E. S. Cho and S. J. Kwon, *J. Korean Vac. Soc.* **22**, 26 (2013).
- [7] T. S. Kwon, Y. K. Moon, W. S. Kim, D. Y. Moon, K. T. Kim, S. Y. Shin, D. S. Han, J. G. Park, and J. W. Park, *J. Korean Vac. Soc.* **19**, 495 (2010).
- [8] B. M. Henry, A. G. Erlat, A. McGuigan, C. R. M. Grovenor, G. A. D. Briggs, Y. Tsukahara, T. Miyamoto, N. Noguchi, and T. Nijima, *Thin Solid Films* **382**, 194 (2001).
- [9] I. H. Park, G. W. Hyung, H. B. Choi, S. W. Hwang, and Y. K. Kim, *J. Korean Vac. Soc.* **17**, 195 (2008).
- [10] D. Rafaja, H. Kostenbauer, U. Muhle, C. Loffler, G. Schreiber, M. Kathrein, and J. Winkler, *Thin Solid Films* **528**, 42 (2013).
- [11] J. W. Lim and M. Isshiki, *J. Korean Vac. Soc.* **13**, 79 (2004).
- [12] M. H. Lee, B. F. Hsieh, and S. T. Chang, *Thin Solid Films* **528**, 82 (2013).
- [13] P. Kerber, L. M. Porter, L. A. McCullough, T. Kowalewski, M. Engelhard, and D. Baer, *J. Vac. Sci. Technol. A* **30**, 061407 (2012).
- [14] K. Y. Lee, S. I. Kim, J. Y. Kim, K. E. Kwon, Y. W. Kang, J. W. Son, J. W. Jeon, M. C. Kim, and C. W. Lee, *J. Korean Vac. Soc.* **21**, 328 (2012).

A Study on the Sodium and Moisture Gettering in PSG/SiO₂ Passivated Al-1%Si Thin Film Interconnections

Jin Young Kim*

Department of Electronic Materials Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701

(Received March 21, 2013, Revised May 1, 2013, Accepted May 2, 2013)

The sodium (Na) and moisture (H₂O) gettering phenomena were measured and analyzed in PSG/SiO₂ passivated Al-1%Si thin film interconnections. PSG/SiO₂ passivation and Al-1%Si thin films were deposited by using APCVD (atmosphere pressure chemical vapor deposition) and DC magnetron sputter techniques, respectively. SIMS (secondary ion mass spectrometry) depth profiling analysis was used to determine the distribution of sodium and moisture throughout the PSG/SiO₂ passivated Al-1%Si thin film interconnections. Both sodium and moisture peaks were observed strongly at the interfaces between layers rather than within the Al-1%Si thin film interconnections. Sodium peaks were observed at the interface between PSG and SiO₂ passivations, while moisture peaks were not observed.

Keywords : PSG/SiO₂ passivation, Al-1%Si, Sodium, Moisture, SIMS

* [E-mail] jykim@kw.ac.kr