

불순물 확산을 동시에 수행하는 수정된 직접접합방법으로 제작된 pn 접합 실리콘소자의 특성

Characterization of Silicon Structures with pn-junctions Fabricated by Modified Direct Bonding Technique with Simultaneous Dopant Diffusion

김상철, 김은동, 김남균, 방 옥, L. S. Kostina
(Sang-cheol Kim, Eun-dong Kim, Nam-kyun Kim, Wook Bahng, L.S. Kostina)

Abstract

A simple and versatile method of manufacturing semiconductor devices with pn-junctions used the silicon direct bonding technology with simultaneous impurity diffusion is suggested. Formation of p- or n- type layers was tried during the bonding procedure by attaching two wafers in the aqueous solutions of $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Ga}(\text{NO}_3)_3$, HBO_3 , or H_3PO_4 . An essential improvement of bonding interface structural quality was detected and a model for the explanation is suggested. Diode, Dynistor, and BGGTO structures were fabricated and examined. Their switching characteristics are presented.

Key Words : Silicon Direct Bonding, Diode, Thyristor, Buried Gate GTO,

1. 서 론

“웨이퍼 직접접합”은 일반적으로 어떠한 다른 접착제를 사용하지 않고 두 장의 경면 연마된 웨이퍼를 상온에서 완벽하게 붙이는 것을 의미한다. 웨이퍼 접합은 대체적으로 직접접합과 용융접합 등으로 구별된다. 초기에 국부적으로 접합된 웨이퍼에 일정한 압력을 가하게 되면 접합면적이 점차적으로 확장되면서 틈이 없는 완벽한 접합을 이루게 된다.

고체물질 접합은 지난 수세기 동안 계속되어 왔다. 1792년 Desagulier는 두 개의 납 원형구에 압력을 가하게 되면 서로 강하게 붙는 다는 것을 보였다. 이 경우 강한 소성변형이 일어나게 되어 깨지기 쉬운 반도체 웨이퍼에 적용하기는 어렵다. 정밀한 길이 측정에 사용되는 매우 정밀하게 연마된 금속을

붙이는 현상이 1세기 전에 독일 기술자에 의해 실현되었고 정밀한 프리즘으로 사용되는 유리에서도 관측되었다. 1969년 Wallis와 Pommerantz는 실리콘웨이퍼와 나트륨이 함유된 유리웨이퍼를 500°C 까지 온도를 올리면서 전계를 가하여 접합하였다. 또한 1985년과 1986년 일본의 과학자들은 두장의 웨이퍼 사이에 산화층을 형성시키지 않으며 접합할 수 있는 기술을 개발하였다. 이 기술은 현재 반도체 공정에서 광범위하게 사용되고 있는 실리콘웨이퍼 직접접합기술의 모태가 되었으며, IBM 연구진에 의해서 산화막과 실리콘웨이퍼를 직접접합하고 한쪽의 웨이퍼를 수 μm 정도로 연마하여 SOI (silicon-on-insulator) 웨이퍼를 만들게 되었다.

2. 실험 방법

전력반도체소자는 수천 볼트 이상의 고전압을 견디기 위하여 깊은 pn 접합을 요구한다. 이러한 깊은

한국전기연구원 전력반도체그룹
(경남 창원시 성주동 28-1)
Fax : 055-280-1590
E-mail : sckim@keri.re.kr

pn 접합을 형성하기 위한 일반적인 방법은 불순물 확산, epi 성장, 그리고 이온 주입방법 등이다. 그러나 수십 μm 의 확산 깊이를 얻기 위해서는 확산시간이

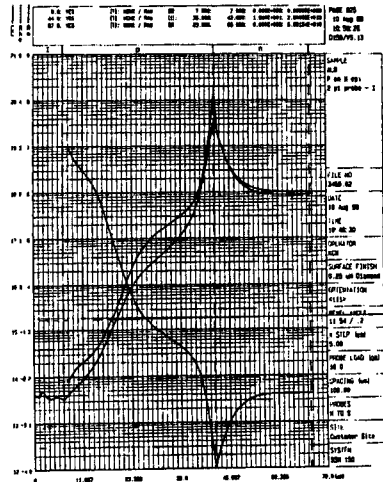


Fig. 1. Diffusion results of Al-B.
($T=1250^{\circ}\text{C}$, $t=8\text{hr}$, $X_j=43\mu\text{m}$)

길게는 수십 시간이 요구되는 등 공정상의 많은 난점이 있다. 현재 Thyristor 소자의 경우 p-형 불순물로 확산이 빠른 알루미늄을 사용하고 있다. 그림 1

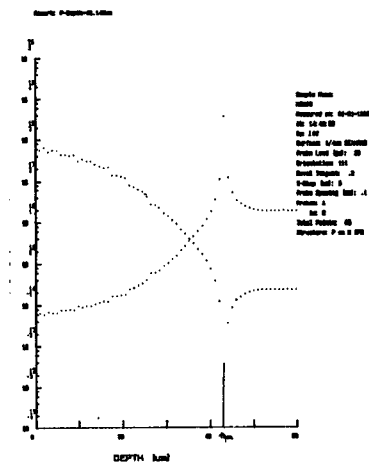


Fig. 2. Diffusion results of Boron
($T=1250^{\circ}\text{C}$, $t=70\text{hr}$, $X_j=37\mu\text{m}$)

과 그림 2에 Al-B를 불순물로 사용하여 1250°C 의 온도에서 8시간 확산을 수행하여 $43\mu\text{m}$ 의 접합깊이를 얻은 결과와 보론만을 사용하여 1250°C 의 온도에서

70시간 확산하여 $37\mu\text{m}$ 의 접합깊이를 얻은 결과를 나타내었다.

지난 10여년 동안 실리콘 직접접합 기술은 고전압 전력반도체 소자의 분야에서 괄목할 만한 정도로 진보를 하게 되었다[1,2]. 그러나 많은 경우 접합한 웨이퍼는 불순물로 인하여 웨이퍼 표면의 뒤틀림에 의한 탄성변형이 일어나게 되어 실리콘웨이퍼의 직접접합을 불가능하게 만든다. 경계면의 구조특성을 향상시키고 표면조직의 영향을 줄이기 위해서 저자들은 한 장의 웨이퍼에 미세한 홈(groove)구조를 형성하고 고온 공정을 수행할 경우 응력을 해소하고 홈 주변으로 결함 등이 몰려들어 사라지는 홈구조 웨이퍼의 직접접합을 제안한 바 있다[3,4].

본 논문에서는 대면적 전력반도체 소자를 제작하기 위해서 사용되는 실리콘웨이퍼 직접접합과 불순물 확산을 동시에 수행하는 간단한 방법을 제안하고자 한다. 실리콘웨이퍼를 직접접합하기 전에 경면 연마된 실리콘웨이퍼를 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 용액에 처리한다. $\text{Ga}(\text{NO}_3)_3$, HBO_3 또는 H_3PO_4 등을 웨이퍼 표면에 회전 건조하고 95°C 에서 4시간동안 열처리한다. 두 장의 웨이퍼를 서로 face-to-face 방법으로 붙인 후에 p-형 또는 n-형 확산층을 형성하기 위하여 고온($1150^{\circ}\text{C} \sim 1250^{\circ}\text{C}$)에서 공정을 수행한다. 그림 3에 본 실험에 사용된 공정 순서도를 나타내었다.

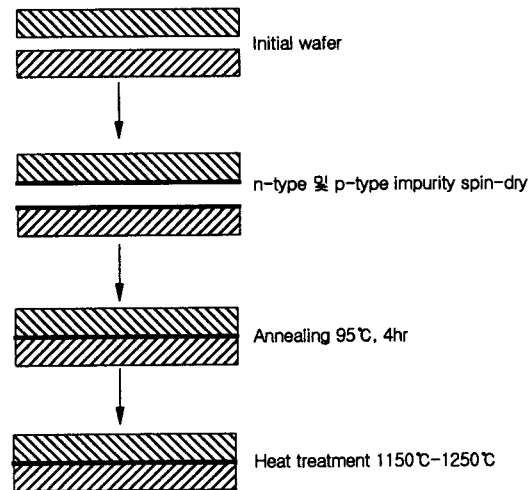


Fig. 3. Schematic of wafer-bonding process flow.

그림 4에 저항률이 $20\Omega \cdot \text{cm}$ 인 n-형 실리콘웨이퍼에 p-형 불순물을 동시에 확산한 결과를 나타내었

다. 5시간동안 1250°C에서 확산을 수행한 결과 30 μm 의 확산깊이를 얻을 수 있었으며 접합 경계면에서의 불순물 농도는 $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 이었다. 이 결과에서 일반적인 방법으로는 불가능한 경면 연마된 웨이퍼에 알루미늄 확산이 본 연구에서 제안된 방법으로는 가능하였으며 이것은 알루미늄 불순물이 접합되는 웨이퍼 사이의 경계면에서 화학적으로 증착되어 가능한 것으로 판단된다.

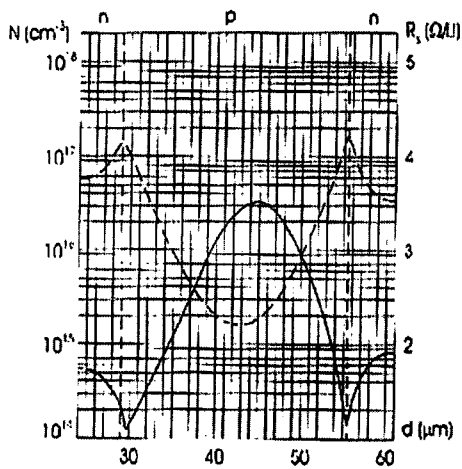


Fig. 4. Aluminum diffusion and spreading resistance profiles in the vicinity of bonding interface of bonded Si/Si sample:
 linear line : Al concentration (N);
 dashed line : spreading resistance (R_s).

그림 5에 접합된 경계면의 접합상태를 X-ray와 SEM을 이용해서 측정한 결과를 나타내었다. 그림에서 x축은 접합된 면적을 나타내며 y축은 실험에 사용된 웨이퍼 쌍의 수를 나타낸다. (a)의 경우는 일반적으로 많이 사용되는 탈이온수(DI water)만을 사용하여 접합한 경우를 나타내고 있으며 (b)의 경우는 알루미늄을 불순물로 사용하여 접합한 경우를 보여주고 있다. 접합에 사용된 웨이퍼는 1.5" 웨이퍼로 일반적인 방법과 비교하여 떨어지지 않는 결과를 얻을 수 있었다. 본 실험에서는 대부분의 웨이퍼 쌍이 96% 이상의 양호한 접합면적을 보여주고 있으며 92% 정도의 비교적 양호한 접합면적을 보이는 웨이

퍼 쌍을 고려하면 80% 이상의 접합 성공률을 보이고 있으나 100%에 근접한 결과를 얻기 위해서는 웨이퍼 접합면에 대한 정밀한 연구가 계속되어야 할 것으로 보인다.

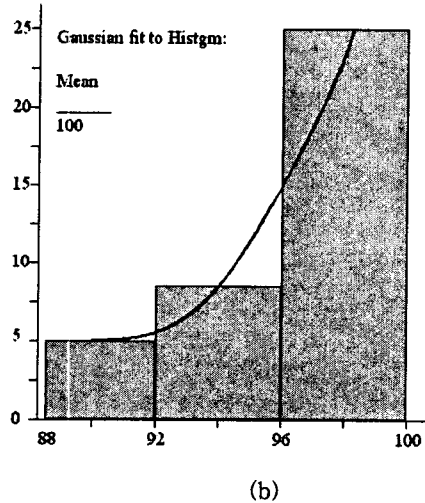
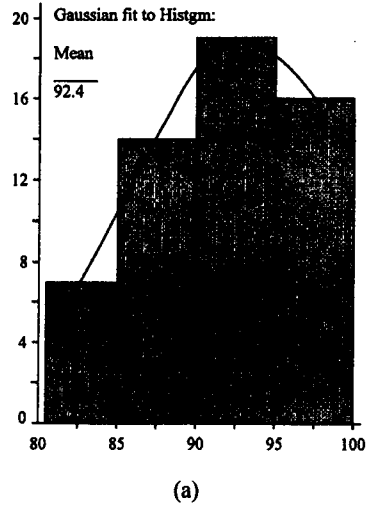


Fig. 5. Histograms of percent of bonded area: a) DI water-bonded; b) Al bonded samples.

고온에서 열처리하는 동안에 불순물 확산의 결과 접합 경계면으로부터 pn 접합의 접합 깊이가 깊게 형성됨을 보이고 있다. 본 실험에서는 동작면적이 12 cm^2 인 직접접합 방법을 이용한 pn 접합 다이오드를 제작하였다. 다이오드의 전기적 특성은 그림 6에서

보듯이 직접접합웨이퍼를 사용하여 제작된 전력 다이오드의 I-V 특성이 접합 경계면에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있으며 일반적인 확산법으로 제작된 다이오드와 같은 특성을 얻을 수 있었다.

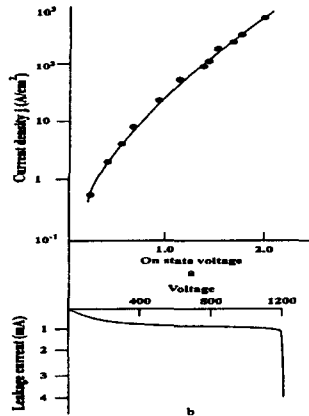


Fig. 6. Current-voltage characteristic of SDB-diode with $S=12\text{cm}^2$

3. 결론

본 연구에서는 실리콘 웨이퍼 직접접합 방법을 이용하여 p-형 및 n-형 불순물을 직접접합과 동시에 웨이퍼의 접합면에 확산되는 방법을 제시하였으며 이러한 방법을 통하여 pn 접합 다이오드를 제작하였고 제작된 다이오드의 I-V 특성을 측정하였다. 접합면의 상태는 일반적인 탈이온수를 사용한 경우와 비교할 수 있는 정도의 접합 특성을 얻을 수 있었으며 제작된 다이오드의 순방향 및 역방향 I-V 특성 역시 확산법에 의해 제작된 다이오드와 거의 동일한 특성을 얻을 수 있었다. 본 연구를 통하여 역접호 Dynistor 소자 및 매물 게이트 GTO 사이리스터 소자를 제작하였고 일반적인 방법으로 제작된 소자와 비교하였다. 이와 관련된 결과는 계속적으로 발표할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 중점기술개발사업의 전력반도체 기술개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] R. Wilson, H. S. Gamble, S. J. N. Mitchell, Proceedings of 1st International Symposium on Semiconductor Wafer Bonding: Science, Technology and Applications, The Electrochemical Society, Pennington, NJ, 1992, 92-7, pp. 433-436
- [2] Q. Y. Tong, U. Gösele, Semiconductor wafer bonding: science and technology 1999, (John Wiley & Sons, Inc. New York, Chaps.4,5
- [3] E. D. Kim, N. K. Kim, S. C. Kim, I. V. Grekhov, T. V. Argunova, L. S. Kostina, and T. V. Kudriavtseva, Electronic Letters, 1995, 31, (23), pp. 2047-2048
- [4] T. S. Argunova, I. V. Grekhov, L. S. Kostina, T. V. Kudriavtseva, M. Y. Gutkin, J. Hartwig, E. D. Kim, S. C. Kim, N. K. Kim, Jpn. J. Appl. Phys., 1998, 37, pp.6287-6289.
- [5] I. V. Grekhov, A. Gorbatyuk, L. S. Kostina, S. Korotkov, Sol. St. Electronics, 26, 1983, p.1132