

## 이온주입p-n이음반도체방사선검출기의 제작공정과 에너지분해능결정

리철광, 고명선, 안정도

위대한 수령 김일성 동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《원자력을 생산에 받아들이기 위한 연구사업을 전망성있게 진행하며 방사성동위원소와 방사선을 공업과 농촌경리를 비롯한 여러 부문들에 널리 적용하여야 할것입니다.》  
(《김일성전집》 제27권 391페이지)

현재 평면형공정기술을 리용하여 이온주입p-n이음반도체방사선검출기의 불감층을 정밀하게 형성하여 매우 높은 스펙트르특성을 얻고있다.[3] 이와 관련하여 이미 반도체기술 컴퓨터지원설계 Silvaco TCAD[1, 2]의 공정모의기 ATHENA를 리용하여 혼입물주입층이 수십nm정도로 매우 얇은 이온주입p-n이음반도체방사선검출기의 합리적인 불감층두께를 결정하였다.

론문에서는 불감층두께가 결정된 조건에서 집적회로제작에 널리 리용되고있는 평면형공정기술로 이온주입p-n이음반도체방사선검출기를 제작하고 검출기의 기본특성량인 에너지분해능을 결정하였다.

### 1. 제 작 공 정

제작공정은 평면형공정기술의 집적회로제작공정과 크게 차이하지 않는다. 중요한 차이는 우선 방사선검출기의 불감층문제와 관련하여 이온주입에너지대역이 1keV정도로서 집적회로제작공정에서 일반적으로 리용되는 에너지대역보다 훨씬 작다는것이다. 또한 리용되는 반도체박편은 방사선검출기급재료로서 일반반도체소자제작에 쓰이는 반도체재료에 비하여 혼입물농도가 훨씬 낮고 나르개수명이 대단히 길다는것이다. 이에 따라 이온주입조건이 달라지게 된다. 이온주입p-n이음반도체방사선검출기제작공정은 다음과 같다.(그림 1)

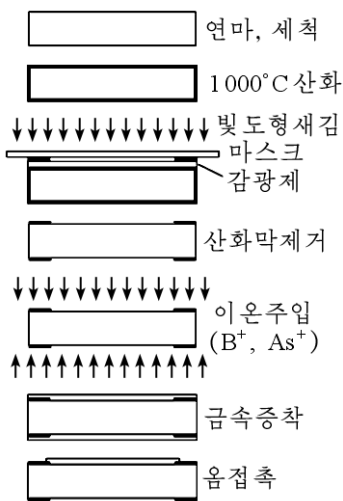


그림 1. 이온주입p-n이음반도체방사선검출기제작공정

① 규소박편을 연마하고 세척한 다음 1 000°C의 산화분위기속에서 산화시킨다.

② 첫 빛도형새김단계에서 박편의 두 면에 얇은 감광층을 씌운 다음 마스크를 통하여 빛을 쏘여준 후 현상한다.

③ 농도가 낮은 불산으로 검출기동작면과 뒤면전극형성면에서 SiO<sub>2</sub>을 제거한다.

④ 주입에너지 1keV, 주입선량 10<sup>14</sup>/cm<sup>2</sup>로 붕소이온을 주입한다. 이때 남아있는 SiO<sub>2</sub>은 주입과정에 주입이온에 대하여 마스크로 작용하므로 검출기동작면은 오직 SiO<sub>2</sub>이 제거된 구역에만 형성된다. 이때 주입된 붕소의 최대농도가 10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup>인 p<sup>+</sup>층이 형성되는데 이것은 전극금속과의 특성이

좋은 음접촉을 실현하는데 유리하다.

⑤ 이온주입한 다음 박편을 1 000℃에서 10s동안 급속열처리를 진행한다.[3] 혼입물 확산과 관련하여 열처리온도와 시간을 정확히 설정하는것이 중요하다.

이온주입공정흐름에서 급속열처리를 진행하는것은 우선 이온주입에 의하여 발생하는 반도체박편의 결정결함을 열처리로 없애는것과 함께 급속열처리시간동안에 일어나는 혼입물확산을 될수록 줄이자는것이다. 이 열처리는 검출기가 구조적으로 안정하도록 고온에서 짧은 시간동안 진행한다. 짧은 시간 고온처리를 진행하는것은 높은 선량의 이온주입에 의하여 형성된 결정결함을 열처리할 때 열처리온도가 낮을수록 혼입물확산이 더 크게 일어나기때문이다. 이것은 두 경우를 보면 알수 있다.

가장 낮은 열처리온도에서 결정결함에 대한 결정성회복속도는 대단히 낮으며 따라서 결함을 없애자면 오랜 시간이 요구되는데 이것은 1 000℃ 또는 그 이상의 온도에서 일어나는 확산만큼 강화된다.

가장 높은 열처리온도에서 대부분의 결정결함은 약 0.2s동안에 제거된다. 이 시간에 확산은 거의 일어나지 않으며 결정과괴를 제거하기 위한 열처리시간은 1s미만으로서 매우 짧다. 따라서 이온주입전 박편의 혼입물분포와 주입에 의한 혼입물분포의 재분포는 거의 일어나지 않는다. 그리하여 결정성회복을 위한 열처리에서는 오히려 높은 온도에서 순간적으로 진행하는 급속열처리를 진행하는것이 합리적이다.

열처리시간은 재료의 열관성때문에 10s로 설정한다. 급속열처리과정에 온도를 100℃/s 정도로 증가하도록 설정하면 9s동안에 대략 900℃에 도달한다. 확산법칙에 의하면 900℃이하의 온도에서 일어나는 확산은 거의 무시할수 있다. 따라서 1 000℃까지 도달하는 나머지 1s동안에 급속열처리가 진행되어 결정성이 충분히 회복되게 된다.

⑥ 검출기뒤면전체에  $n^+$  층이 형성되도록 비소를 주입한 다음 800℃에서 열처리를 진행하여 결정손상을 회복하고 주입된 원자들이 살창마디에 정확히 놓이도록 한다. 이 온도에서는 혼입물확산이 거의 일어나지 않으므로 혼입물분포는 변하지 않는다.

⑦ 동작면적에 증착방법으로 금박막을 매우 얇게 형성하여 앞면전극을 형성하며 뒤면에 알루미늄을 증착하여 뒤면의 음접촉을 실현한다.

⑧ 두번째 빛도형새김으로 금층과 알루미늄층을 처리하여 최종적인 전극모양을 형성한다. 금속과 동작면의  $p^+$  층사이 그리고 금속과 뒤면의  $n^+$  층사이에는 특성이 좋은 음접촉이 실현된다.

⑨ 알루미늄의 녹음점보다 낮은 온도인 420℃에서 가열하여 전극금속들과 규소사이의 음접촉을 실현한다. 금-규소의 공정온도는 370℃이므로 이 과정에 앞면에 증착된 금과 규소계면사이에 금규화물이 형성된다.

⑩ 조립밀봉하여 검출기제작을 완성한다.

## 2. 에너지분해능결정

에너지분해능을 결정하기 위한 측정체계는 그림 2와 같다. 측정체계는 이온주입 p-n이음반도체 방사선검출기, 전하수감예비증폭기, 선형증폭기, 다통로진폭분석기로 구성되어있다. 분해능을 결정하기 위하여 측정한  $^{241}\text{Am}$ 의  $\alpha$  스펙트르는 그림 3과 같다.

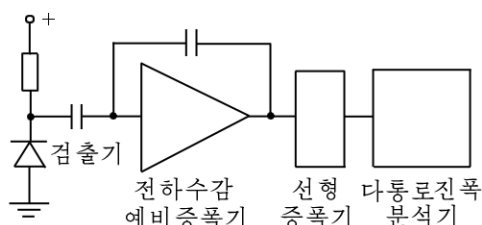


그림 2. 분해능측정체계

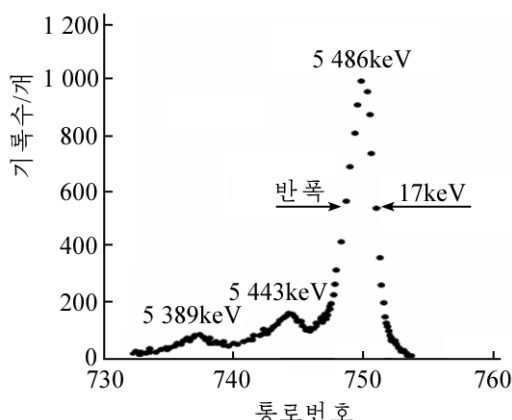


그림 3.  $^{241}\text{Am}$ 의  $\alpha$  스펙트럼

그림 3에서 보는바와 같이  $^{241}\text{Am}$ 의 봉우리들이 완전히 갈라져있으며 분해능은 5486keV의  $\alpha$  입자에 대하여 반폭이 17keV로서 검출기의 스펙트럼특성이 아주 높다는것을 알수 있다.

결과적으로 얻어지는 분해능은 검출기의 불감층두께와 p-n이음모서리효과, 검출기의 역전류, 측정체계의 회로잡음 등 여러 인자의 총체적인 결과로서 매 인자들에 의한 분해능은 실험적으로 확증되어야 한다.

## 맺는 말

평면형공정기술을 리용하여 이온주입p-n이음반도체방사선검출기를 제작하고 그것의 에너르기분해능을 결정하였다. 검출기의 분해능은 5486keV의  $\alpha$  입자에 대하여 방온도에서 17keV이다. 이것은 에너르기분해능이 같은 반도체박편으로 만든 금규화물-규소이음형반도체방사선검출기보다 3keV이상 개선된다는것을 보여준다.

## 참고 문헌

- [1] N. Guenifi et al.; Phosphorus, Sulfur Silicon and the Related Elements, 193, 2, 92, 2017.
- [2] A. Omar et al.; Radiation Measurement, 122, 121, 2019.
- [3] A. Omar et al.; Radiation Measurement, 129, 106, 2019.

주체109(2020)년 6월 5일 원고접수

## Manufacturing Process and Determination of Energy Resolution of the Ion Implantation p-n Junction Semiconductor Radiation Detector

Ri Chol Gwang, Ko Myong Son and An Jong Do

We made the ion implantation p-n junction semiconductor radiation detector by using the planar technology and determined the energy resolution. The energy resolution is 17keV at room temperature for  $\alpha$  particle of 5486keV.

Keywords: semiconductor detector, ion implantation detector