

논문 2015-52-11-4

# 중수소 결합 형성 방법에 따른 다결정 실리콘 광검출기의 광반응 특성

( Photo-response of Polysilicon-based Photodetector depending on  
Deuterium Incorporation Method )

이 재 성\*

( Jae-Sung Lee<sup>Ⓢ</sup> )

## 요 약

다결정 실리콘으로 구성된 금속-반도체-금속(MSM) 구조의 광검출기의 광 응답 특성을 개선시키기 위해 중수소를 사용한 후속 공정을 행하였다. 다결정 실리콘 내 중수소 결합 형성 방법에 따른 광검출기의 특성 변화를 전기적 측정을 통해 비교하였다. 광검출기는 Schottky 접합 특성을 갖기 위해 Al/Ti 전극 금속이 사용되었다. 본 연구에서는 광 흡수 영역인 다결정 실리콘 내에 중수소 결합을 형성시켜 다결정 실리콘 내에 존재하는 결함을 효과적으로 passivation하여 결함밀도를 감소시키고자 한다. 후속 중수소 공정으로는 열처리 확산 방법과 이온 주입 방법을 각각 사용하였다. 중수소 열처리 확산 방법을 통해서 중수소는 다결정 실리콘의 표면 근처에 대부분 존재하였다. 다결정 실리콘의 표면은 광 흡수가 일어나는 부분이므로 중수소의 결합을 통해 광 응답 특성이 개선됨을 확인하였다. 중수소 이온 주입 방법을 통해서 중수소를 다결정 실리콘 내부로 쉽게 분포시킬 수 있지만 다결정 실리콘 표면 근처에 결함을 만들 수 있어 광 응답 특성을 저하시키는 원인이 되었다.

## Abstract

The photo-response characteristics of polysilicon based metal-semiconductor-metal (MSM) photodetector structure, depending on deuterium treatment method, was analyzed by means of the dark-current and the light-current measurements. Al/Ti bilayer was used as a Schottky metal. Our purpose is to incorporate the deuterium atoms into the absorption layer of undoped polysilicon, effectively, for the defect passivation. We have introduced two deuterium treatment methods, a furnace annealing and an ion implantation. In deuterium furnace annealing, deuterium bond was distributed around polysilicon surface where the light current flows. As for the ion implantation, even though it was a convenient method to locate the deuterium inside the polysilicon film, it creates some damages around polysilicon surface. This deteriorated the photo-response in our photodetector structure.

**Keywords :** Metal-semiconductor-metal(MSM) photodetector, Polysilicon, Photo-response, Deuterium, Passivation

\* 정회원, 위덕대학교 그린에너지공학부

(Division of Green Energy Engineering, Uiduk University)

※ 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다 (No. 2013R1A1A2057681). 중수소 이온 주입, SIMS 분석 및 전기적 분석은 양성자가속기연구센터, 한국기초과학지원연구원 및 나노융합기술원의 도움으로 진행되었습니다.

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: jaesung@uu.ac.kr)

Received ; July 16, 2015

Revised ; October 5, 2015

Accepted ; October 30, 2015

## I. 서 론

실리콘에 대한 광학적 연구는 1980년부터 Soref에 의해 시작되어 오랜 동안 진행되어 왔다<sup>[1-2]</sup>. 실리콘은 파장이 1,100nm 이하 (band-to-band 흡수)인 빛에 대해 반응을 하며, 흡수되는 빛은 가시광선 영역을 포함한다. 실리콘을 사용한 광검출기 (photodetector)에 대한 연구는 빠른 속도(대역폭 > 5 GHz), 높은 반응성 (responsivity), 낮은 dark current (<1 $\mu$ A), 낮은 바이어스 전압 (<5V), 고집적화 등에 초점을 맞추고 있다. 이러한 요구 조건을 만족하기 위해서 제조방법이 간단하고 제조비용이 저렴한 박막의 다결정 실리콘이 연구되어 왔다<sup>[3]</sup>. 일반적으로 다결정 실리콘은 상용으로 사용되는 반도체 공정에서 LPCVD(Low pressure Chemical Vapor Deposition) 방법으로 제조된다.

광검출기에서 광반응을 높이기 위해서는 암전류(dark current)를 낮추고, 광전류(light current)를 높이는 방법이 고려되어야 한다. 광검출기 구조로써 금속-실리콘-금속(metal-semiconductor-metal ; MSM) 구조가 가능하며 이때 실리콘은 다결정 실리콘을 사용하며 금속과의 접합은 Schottky 접합을 이루게 된다<sup>[4]</sup>. 광 흡수 부분을 다결정 실리콘으로 사용하게 되는 경우 제조비용을 낮출 수 있으나, 고속용 소자로 사용할 때 quantum efficiency가 낮아지는 단점을 갖고 있다<sup>[5]</sup>. 그러므로 다결정 실리콘의 물질 특성을 개선시켜 광전도율(photoconductance)을 높이는 연구가 필요하다. MSM 구조에서 금속과 다결정 실리콘 계면의 Schottky 장벽의 높이에 따라 역방향 암전류 크기가 결정되며, 장벽의 높이는 image force lowering과 계면 전하 포획 등으로 조절할 수 있다. 즉, 금속과 다결정 실리콘 사이의 존재하는 계면 전하의 밀도를 감소시키면 역방향 암전류를 줄일 수 있다. 광전류는 빛에너지 흡수에 따른 전자-정공 쌍의 생성 및 이동에 의해 생성된다. 전자-정공 쌍의 생성 원인은 주로 에너지 밴드 개념에서 inter-band 생성, intra-band 생성, 및 extrinsic 생성으로 분류된다. 생성된 전자-정공 쌍이 광전류로 전환되기 위해서는 이동 중 재결합 및 포획 등의 과정이 가급적 없어야 한다. 그러므로 다결정 실리콘의 grain 및 grain boundary에서 결함 요소가 적어야 한다.

반도체 metal-oxide-semiconductor (MOS) 소자의 경우 각 물질의 구성에서 발생할 수 있는 결함 요소를

중수소 이온으로 결합시켜 소자의 신뢰성을 높이는 방법이 제시되었다. 특히, 게이트 절연막의 계면 결함의 생성을 효과적으로 억제할 수 있다고 알려져 있다<sup>[6]</sup>. 다결정 실리콘의 경우, grain boundary에서 불안정한 Si 결합(grain 사이의 계면 부정합)이 존재하게 되는데, 이는 반도체의 MOS 구조에서 실리콘과 게이트 절연막(실리콘 산화막)의 계면 상태와 화학적 특성이 유사하다. 상온에서 중수소(수소)의 확산 계수는 Si에서는 약 10-15 cm<sup>2</sup>/s 이며, SiO<sub>2</sub>에서는 약 10-11 cm<sup>2</sup>/s를 나타낸다<sup>[7]</sup>.

본 연구에서는 광반응 특성이 우수한 다결정 실리콘 구성의 광검출기를 제조하고자 하였다. 광검출기의 구조는 MSM 구성을 갖고 있다. 다결정 실리콘은 불순물 도핑이 되지 않은 진성 물질이며 금속과의 접합에서 Schottky 접합 특성이 나타난다. 다결정 실리콘에서는 grain boundary가 전류 흐름의 장벽 역할(전위 장벽)을 하게 된다.

본 연구에서는 MSM 구조의 Schottky 접합 및 grain과 grain boundary에서 불안정 결함 요소(trap 또는 defect)를 줄이기 위해서 중수소 결합을 다결정 실리콘에 형성하고자 하였다. 이는 MOS 구조에서 미 결합 계면 결함을 passivation하는 원리와 동일하다고 판단된다. Schottky 장벽에서의 passivation 효과는 이미 연구되고 있으나<sup>[8]</sup>, 다결정 실리콘에서 불안정 결함 요소의 passivation에 따른 광반응에 대한 연구는 아직 발표되지 않고 있다. 다결정 실리콘 내에 중수소 결합은 이온 주입법 및 열처리 확산법에 의해 각각 이루어졌으며, 중수소 형성 방법에 따른 다결정 실리콘의 광반응 특성을 각각에서 제조된 MSM 광검출기를 통해 조사하였다.

## II. 실 험

기본적인 광검출기를 제조하기 위해 그림 1과 같은 finger 및 bar 구조를 각각 설계하였다. 빛의 흡수가 일어나는 활성 영역의 길이 및 폭을 여러 가지로 변화시켰다. Finger 형태의 구조에서는 적절한 바이어스 전압이 인가될 때, 금속 선 사이에 나타나 있는 다결정 실리콘의 대부분이 전이 영역으로 바뀔 수 있다. 그러므로 빛 에너지를 흡수할 수 있는 전이영역 단면적이 늘어나게 된다. Bar 형태에서는 단순한 사각형의 다결정 실리콘

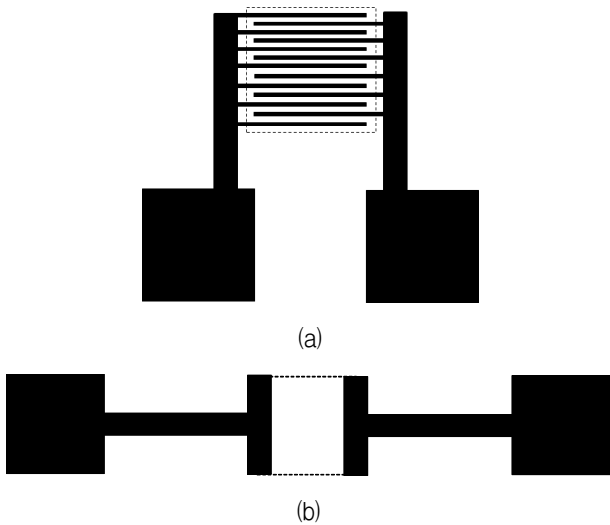


그림 1. 제조된 광검출기의 전극 형태  
(a) Finger 구조 (b) Bar 구조  
Fig. 1. Electrode patterns for the photodetector.  
(a) Finger type (b) Bar type

콘 표면에서 빛의 흡수가 일어나게 되며 광전자 응용 회로에 쉽게 적용될 수 있다. 그림 2는 제조된 소자의 단면을 보여준다. 실리콘 기판위에 400 nm의 산화막을 형성 한 후 500 nm의 다결정 실리콘을 LPCVD 방법으로 제조하였다. 표면에서의 빛의 반사를 억제하기 위해 일부 시료에서는 anti-reflection (AR) 막으로 실리콘 산화막을 150 nm 증착시켰다. 최종적으로 금속은 Al/Ti 적층 구조를 사용하였다.

제조된 기본적인 MSM 광검출기에서 후속 공정으로 중수소 열처리 확산법 및 중수소 이온 주입법의 공정을 통해 그 효과를 관찰하였다. 중수소 열처리 확산은 1기압 400°C에서 30분 동안 진행되었으며, 중수소 이온 주입은  $10^{14}$  atoms/cm<sup>2</sup>의 조사량과 4-12keV의 조사에너지로 진행되었다. 중수소 이온 주입 후 중수소 결합의 활성을 위해 질소 분위기(400°C, 30분)에서 후속 열처리를 행하였다. 중수소 이온 주입 조건은 상용 tool인 SRIM을 통해 구하였다. 제조된 소자의 구조에서 다결정 실리콘을 통한 전도는 다결정 실리콘의 표면부분을 통해 우선적으로 이루어진다고 판단되어 다결정 실리콘 표면 부근의 후속 처리에 초점을 맞추고자 한다.

중수소 처리된 광검출기의 특성과 비교하기 위해 후속 공정 처리가 되지 않은 시료(the control)와 질소 분위기(400°C, 30 분)에서 열처리한 시료도 준비하였다. 광 응답 측정을 위해 LED 광원은 850 nm 파장을 사용하였다. 전기적 특성은 semiconductor parameter

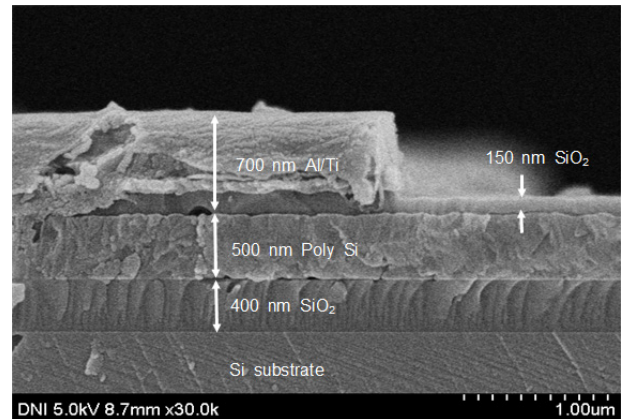


그림 2. 제조된 MSM 광검출기의 단면  
Fig. 2. The cross-sectional view of the processed MSM photodetector.

analyzer를 사용하여 측정하였다. 광반응 특성은 암전류 (Idark)와 광전류(Ilight) 측정을 통해 조사되었다.

### III. 결 과

측정에 사용된 광검출기는 입사 빛의 반사를 최소화 하기 위해 AR층을 기본으로 구성하고 있다. 사용된 소자는 네 종류로 분류된다. 중수소 이온 주입 소자, 중수소 열처리 확산 소자 및 이들 소자와 특성 비교하기 위해 후속 공정이 이루어지지 않은 소자(the control)와 단지 질소 분위기에서 열처리된 소자 (N<sub>2</sub> 400 °C anneal)가 제조되었다. 그림 3은 각 소자에 대한 암전류-전압 특성을 나타내고 있다. 다결정 실리콘 내에서 암전류는 소수 캐리어의 영향이 크게 나타나는데 이는 다결정 실리콘의 grain boundary내 결합 밀도와 관련이 있다<sup>[9]</sup>. 즉, 결합 밀도가 높으면 캐리어들의 생성 및 재결합 준위가 증가하게 되어 암전류가 증가하게 된다. 그림 3에서 열처리나 중수소 이온 주입을 행함으로써 grain boundary내 결합 밀도가 감소함을 알 수 있다. 즉, 후속 공정을 통해 grain boundary내 결합이 비활성화 되었음을 의미한다. 열처리 확산 공정에서는 분위기가스에 무관함을 보이고 있으며, 이온 주입 소자에서는 다른 종류의 소자에 비해 낮은 암전류가 나타났다. 후속 공정을 행하지 않은 소자에 비해 중수소 이온 주입 소자는 100 배 정도의 낮은 암전류를 보이고 있다.

동일한 구조의 MSM 광검출기에 빛이 조사되었을 때 측정되는 광전류는 과잉 캐리어의 생성률, 과잉 캐리어의 수명 및 Schottky 장벽과 grain boundary 장벽

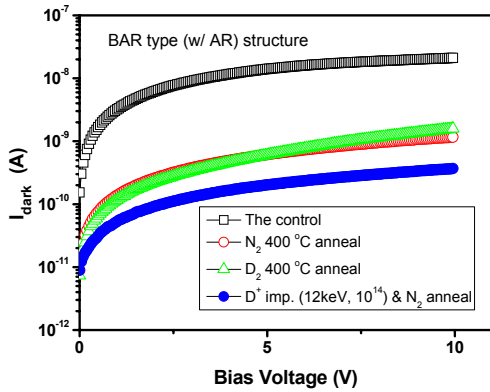


그림 3. 제조된 광검출기의 암전류-전압 특성  
Fig. 3. Dark current-voltage characteristics for the processed photodetector.

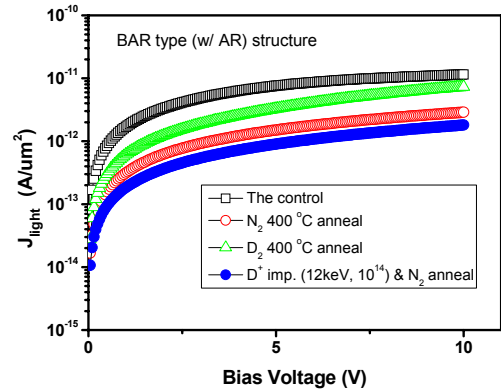


그림 4. 제조된 광검출기의 광 전류밀도 특성  
Fig. 4. Light current density characteristics for the processed photodetector.

의 높이와 관련이 있다. 그림 4는 제조된 소자의 광전류 밀도 특성을 보여 주고 있다. 각 소자에 대해 암전류 특성에 비해 광 전류량의 차이는 크지 않았다. 그러나 후속 공정을 행하지 않은 소자가 가장 많은 광전류를 보이고 있다. 이는 후속 공정의 행하지 않은 소자가 가장 낮은 Schottky 장벽 높이를 가짐을 의미한다. 동일한 온도와 인가전압에서 측정된 Schottky 장벽의 포화 전류의 크기는 Schottky 장벽 높이에 의존하게 된다. 그림 3의 포화 전류 크기를 통해 계산된 후속 공정을 행하지 않은 소자와 중수소 이온 주입 소자의 Schottky 장벽 높이 차이는 약 0.12 eV이었다. 중수소 이온 주입 소자가 가장 낮은 광전류를 보이고 있는 이유는 grain boundary passivation 효과보다는 높은 Schottky 장벽 효과가 더욱 두드러지게 나타나기 때문이다. 중수소 이온 주입을 행함으로써 결합하지 못한 중수소 이온 ( $D^+$ ) 이 금속 계면에 축적될 수 있다는 발표가 있었다<sup>[10-11]</sup>. 이러한 경우 전자 주입에 대한 Schottky 장벽이 높아질 수 있다. 실리콘 계면에서 축적된 양전하의 중수소 이온은 MOS 구조에서 발생하는 양전하 유사 도너 이온 (positive donor like states)의 역할을 할 것으로 판단된다. 그림 5의 에너지 대역 구조에서  $D^+$  축적이 발생한 경우, 그림 5(a)가  $D^+$  축적이 없는 경우, 그림 5(b)보다 Schottky 장벽이 높아 질 것으로 생각된다. 그러나 이에 대한 정확한 물리적 해석은 아직 진행 중에 있다.

질소 열처리 소자의 경우는 중수소 이온 주입 소자와 비슷한 전류 증가 경향을 보인다. 중수소 열처리 소자의 경우, 높은 바이어스 전압부근에서 후속 공정을 행

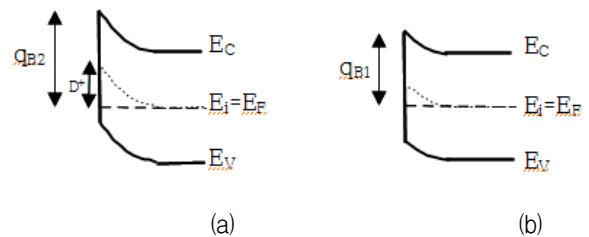


그림 5. 중수소 이온 영향의 금속/실리콘 에너지 대역  
(a)  $D^+$  축적 시 장벽높이( $Q_{B2}$ ),  
(b) 일반적 장벽높이( $Q_{B1}$ )

Fig. 5. Energy band diagram of  $D^+$  effect at the metal/Si.  
(a) Barrier height( $Q_{B2}$ ) with  $D^+$  ions,  
(b) Barrier height( $Q_{B1}$ ) without  $D^+$  ions

하지 않은 소자의 특성에 접근하고 있다.

그림 4에서 측정된 전류에는 광전류와 암전류가 함께 포함되어 있다. 그러므로 광 조사에 의해서 생성되는 실제 광전류는 측정된 전류량에서 암전류를 제외해 주어야 한다. 그림 6은 제조된 소자의 실제 광전류 밀도 특성을 보여 주고 있다. 이 결과에서는 그림 4와는 다르게 중수소 열처리 소자가 가장 우수한 특성을 보여 주고 있다. 즉, 동일한 조건에서 생성되는 광전류의 절대량이 중수소 열처리 확산을 행함으로써 증가하였다. 그러므로 여러 후속 공정 중에서 중수소 열처리 확산으로 다결정 실리콘의 grain boundary 및 금속과의 Schottky 장벽에서의 결합을 동시에 passivation과정을 통해 처리할 수 있음을 알 수 있다.

우수한 광검출기는 많은 광전류와 적은 암전류를 가져야 한다. 그러므로 광전류 대 암전류 비(light

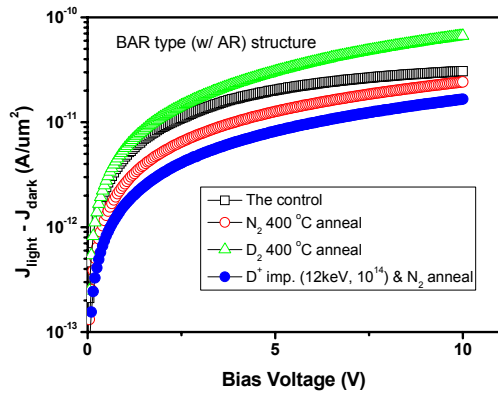


그림 6. 제조된 소자의 실제 광전류 밀도 특성. 여기서 실제 광전류는 측정된 광전류에서 암전류를 제외한 전류량  
Fig. 6. Effective light current density characteristics for the processed photodetector. Here, Effective light current means the measured light current excluding the dark current.

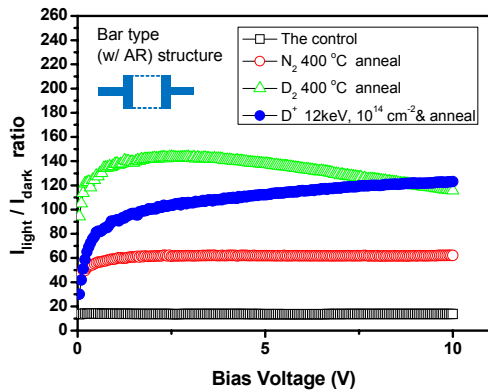
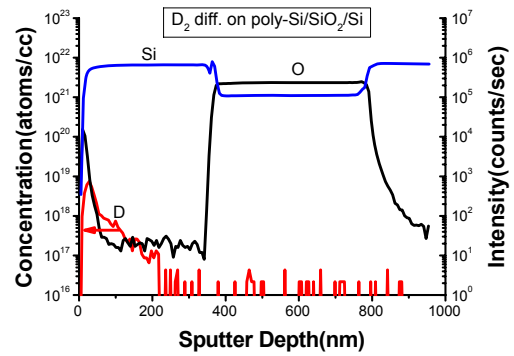
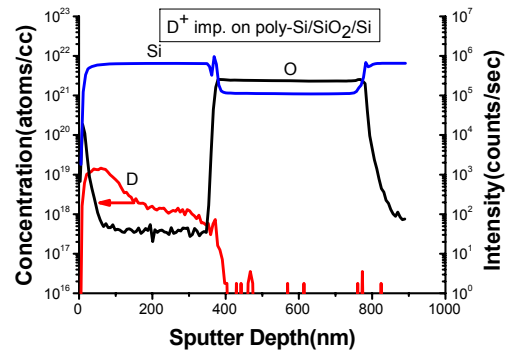


그림 7. 제조된 bar type 광검출기의 광전류 대 암전류 비  
Fig. 7. Light current-to-dark current ratio characteristics for the processed bar-type-photodetector.

current-to-dark current ratio)가 큰 값을 가져야 한다. 그림 7은 제조된 각 소자에 대한 광전류 대 암전류 비를 나타내고 있다. 중수소 공정이 진행된 소자들이 공정이 진행되지 않은 소자(the control)에 비해 개선된 특성을 보여주고 있다. 그러나 중수소 처리 방법에 따라 인가전압에 따른 전류비의 변화 경향이 다르게 나타나고 있다. 인가전압이 7 V이하인 낮은 전압에서는 중수소 열처리 소자가 우수한 특성을 보이고 있지만 7 V 이상의 인가전압에서는 중수소 이온 주입 소자가 우수한 특성을 보이고 있다. 본 연구에서 사용된 광검출기



(a)



(b)

그림 8. 다결정 실리콘/SiO<sub>2</sub>/Si 구조에서 중수소 공정 방법에 따른 중수소의 깊이 방향 분포  
(a) 중수소 열처리 확산법,  
(b) 중수소 이온 주입법

Fig. 8. Depth profile of D in polysilicon/SiO<sub>2</sub>/Si structure depending on deuterium treatment method.  
(a) Deuterium furnace annealing,  
(b) Deuterium ion implantation

는 광 흡수 영역 양쪽에 전극 금속이 형성된 구조를 갖는다. 그러므로 전류는 광 흡수 영역인 다결정 실리콘의 수평 방향으로 흐르게 되어, 저 전압 인가에는 다결정 실리콘의 표면을 통해 전류가 많이 흐르고 전압이 높아짐에 따라 다결정 실리콘의 깊이 방향으로도 전류가 흐르게 된다. 이러한 전류의 각 경로에 중수소 결합이 존재한다면 passivation 효과를 쉽게 관찰할 수 있을 것이다.

공정 방법에 따른 다결정 실리콘 내 중수소의 분포를 이차이온질량분석법(Secondary Ion Mass Spectroscopy ; SIMS) 방법으로 조사하였다. 그림 8은 중수소 열처리 확산(a) 및 중수소 이온 주입(b) 방법에 따른 중수소의 농도를 각각 나타내고 있다. 두 공정에서 다결정 실리콘

콘 내 중수소의 농도는 다르게 나타났다. 두 공정에서 진행된 다결정 실리콘 내 중수소의 분포를 비교할 수 있다. 중수소 열처리를 행함으로써 중수소를 다결정 실리콘내로 확산시키고자 하였으나 실리콘에서 중수소의 확산 계수가 낮기 때문에 다결정 실리콘 박막의 표면 근처에 중수소가 분포하고 있다. 그러나 중수소 이온 주입의 경우에는 강제적으로 중수소를 다결정 실리콘내로 주입시키기 때문에 다결정 실리콘 표면 뿐 아니라 내부에도 중수소가 분포하게 된다. 그러므로 중수소 열처리한 광검출기의 경우, 광흡수가 먼저 발생하는 다결정 실리콘 표면에서 중수소 효과를 관찰할 수 있으며, 중수소 이온 주입한 광검출기의 경우, 다결정 실리콘 표면뿐 아니라 내부에서도 중수소 효과를 관찰할 수 있을 것이다. 그러나 중수소 이온 주입을 행함으로써 다결정 실리콘 표면에 다소의 손상(damage)이 중수소 열처리에 비해 많이 발생하게 된다. 그림 7의 저 전압인 가 특성 결과에서 확인할 수 있다. 이러한 이유로 중수소 열처리 방법을 통해 다결정 실리콘 표면에 안정된 중수소 결합을 형성함으로써 동작 전압 내에서 광 응답 특성을 개선시킬 수 있었다.

그림 9는 그림 7의 실험 조건과 동일한 상태에서 다른 금속 전극 구조(finger type)의 광검출기에 대한 결과를 나타낸다. 전류비의 절댓값 차이는 있지만 그림 7과 거의 유사한 특성을 보이고 있다. 그러므로 중수소 공정 방법에 따른 광검출기의 광 응답 특성의 동일한 변화를 확인 할 수 있었다.

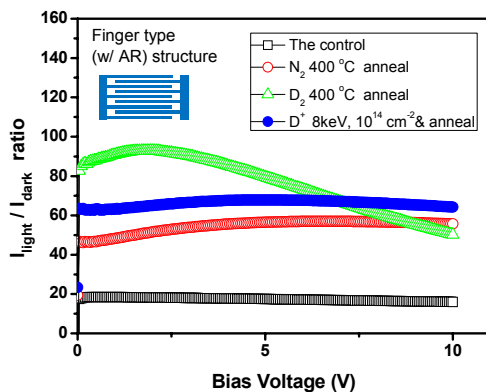


그림 9. 제조된 finger type 광검출기의 광전류 대 암전류 비

Fig. 9. Light current-to-dark current ratio characteristics for the processed finger-type-photodetector.

## IV. 결 론

Al/Ti-다결정 실리콘-Al/Ti 구조의 광검출기를 제조하여 후속 중수소 공정을 통해 광반응 특성을 개선시키기 위한 방법을 찾고자 하였다. 다결정 실리콘 내 중수소 결합을 형성함으로써 광전류 대 암전류비가 증가하였다. 이는 중수소가 다결정 실리콘의 grain boundary나 금속과 계면에 존재하는 결합을 효과적으로 비활성화 시키는 역할을 하고 있기 때문이다. 중수소를 다결정 실리콘에 분포시키는 방법으로 열처리 확산 방법과 이온 주입 방법을 제시하였다. 실리콘 물질에 대한 중수소의 낮은 확산계수로 인해 열처리 확산 방법 후에는 다결정 실리콘 표면 근처에 중수소 결합이 대부분 형성되었다. 반면, 이온 주입 방법은 물리적으로 중수소를 다결정 실리콘의 표면 뿐 아니라 내부에도 효과적으로 분포시킬 수 있었다. 그러나 이온 주입의 경우에는 다결정 실리콘 표면의 손상이 발생하게 된다. 제조된 광검출기 구조에서 빛 에너지의 흡수는 대부분이 다결정 실리콘의 표면 근처에서 일어나므로 광 응답 특성을 높이기 위해서는 표면근처의 결합 제거 및 중수소 결합 형성이 중요하다. 빛의 흡수 영역인 다결정 실리콘의 표면에서 결합을 감소시키기 위해서는 중수소 이온 주입법보다는 중수소 열처리 확산 공정이 유리한 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- [1] R. A. Soref and J. Lorenzo, "All-silicon active and passive guided-wave components for  $\lambda = 1.3$  and  $1.6 \mu\text{m}$ ", *IEEE J. Quantum Electron*, vol. 22, pp. 873-879, 1986.
- [2] R.A. Soref, and B. B. Bennett, "Kramers-kronig analysis of Electro-optical switching in silicon", *Proc. SPIE Integr. Opt. Circuit Eng.* 704, pp. 32-37, 1986.
- [3] E. Budianu, M. Purica, E. Manea, and M. Kusko, "Poly-silicon thin layer photodetector structures", *International Semiconductor Conference*, vol.1. 2003.
- [4] R. P. MacDonald, N. G. Tarr, B. A. Syrett, S. A. Boothroyd, and J. Chrostowski, "MSM photodetector fabricated on polycrystalline silicon", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.11, pp. 108-110, 1999.

- [5] T. Y. Hsiang, S. Alexandrou, and C. C. Wang, M. Y. Liu, and S. Y. Chou, "Picosecond silicon metal-semiconductor-metal photodiode", *Proc. SPIE*, 2022, 76, 1993.
- [6] J. W. Lyding, K. Hess, and I. C. Kizilyalli, "Reduction of hot carrier degradation in MOS transistors by deuterium processing," *Appl. Phys. Lett.*, vol.68, pp.2526-2528, 1996.
- [7] R. W. Lee, R. C. Frank, and D. E. Swets, "Diffusion of hydrogen and deuterium in fused quartz," *J. Chem. Phys.*, vol. 36, pp. 1026-1071, 1962.
- [8] R. L. Van Meirhaeghe, W. H. Laflere, and F. Cardon, "Influence of defect passivation by hydrogen on the Schottky barrier height of GaAs and InP contacts," *J. Appl. Phys.*, 76 (1) pp. 403-406, 1994.
- [9] H. C. Card and W. Hwang, "On the transport theory of Schottky barriers to polycrystalline silicon thin films," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-27, no. 4, pp. 700-705, 1980.
- [10] J. S. Lee, D. G. Lee, S. W. Do, and Y. H. Lee, "Study for the Reliability of Nano-Scale MOS Devices that Experienced Implantation of Hydrogen or Deuterium at the Back-End of the Process Line", *J. Korean Phys. Soc.*, vol. 50, no.5, pp.1561-1565, 2007.
- [11] J.-S. Lee, S.-W. Do, and Y.-H. Lee, "Deuterium ion implantation for the suppression of defect generation in gate oxide of MOSFET", *J. IEIE*, vol. 45, no. 7, pp.23-31, 2008.

---

저 자 소 개



이 재 성(정회원)

1987년 경북대학교 전자공학과  
학사 졸업.

1989년 경북대학교 전자공학과  
석사 졸업.

1996년 경북대학교 전자공학과  
박사 졸업.

1998년 (주)하이닉스 반도체 시스템 IC사업부 근무  
2003년 University of Illinois(UIUC) Post-Doc.  
현재 위덕대학교 그린에너지공학부 교수  
<주관심분야 : 반도체 응용 소자, 신뢰성 분석, 광  
전자 소자>