

## 비정질Si/결정질 Si Heterojunction의 $J-V$ 특성

姜 準 熙

材料工學科

(1980. 3. 26 접수)

### 〈요 약〉

비정질 Si(*a*-Si)/ 결정질 Si(*c*-Si) heterojunction의  $J-V$  특성을 조사하기 위하여 *a*-Si/*c*-Si/Pd heterojunction-Schottky barrier 복합체를 사용하였다.

*a*-Si은 약  $10^{-8}$ Torr의 진공속에서 다결정 Si을 진공증착시켜 제작하였으며 600K하에서 hydrogenation과 annealing처리가 되었다.

*a*-Si/*c*-Si heterojunction의  $J-V$  특성은 이중 Schottky barrier model로 설명될 수 있으며  $V=(kT/q)[\beta_1 \log(J/J_{01}+1) - \beta_2 \log(1-J/J_{02})]$ 의 식을 만족한다. 여기서  $\beta_1$ 과  $\beta_2$ 는 diode quality factor이다.

## $J-V$ Characteristics of Amorphous Si/Crystalline Si Heterojunction

Kang, Joon-Hee

Dept. of Materials Science

(Received March 26, 1980)

### 〈Abstract〉

To investigate the  $J-V$  characteristics of amorphous Si(*a*-Si)/crystalline Si(*c*-Si) heterojunction, *c*-Si/*a*-Si/Pd heterojunction-Schottky barrier complexes were used. *a*-Si films were fabricated by vacuum ( $\sim 10^{-8}$  Torr) evaporation of polycrystalline Si and then hydrogenated and annealed at 600K.

The  $J-V$  characteristics of *a*-Si/*c*-Si heterojunction can be explained by double Schottky barrier model and is given by  $V=(kT/q)[\beta_1 \log(J/J_{01}+1) - \beta_2 \log(1-J/J_{02})]$ , where  $\beta_1, \beta_2$  are diode quality factors.

### I. 서 론

heterojunction을 이루는 두 반도체는 서로 다른 band 구조를 가지고 있으므로 많은 물리적인 양들(자유전하의 effective mass, band gaps, 전자친화력, 유전상수등)이 서로 다른 값을 갖게 된다. 이 양들의 차이는 heterojunctions의 제작과정에 따라 많은 차이를 나타낼 수 있다.

*a*-Si/*c*-Si heterojunctions의 경우에도 *a*-Si은 band gap이 시료제작방법에 따라 상당한 차이가 나지만 hydrogenation된 *a*-Si인 경우 대략 1.7~2.0 eV<sup>(1~2)</sup>이며 *c*-Si은 약 1.1eV의 band gap을 갖고 있다. 또한 이 물질들은 서로 다른 구조적인 차이

점들을 갖고 있기 때문에 많은 interface states가 존재할 것이 예상된다. 따라서 접합부분에는 이중 depletion layer가 형성되어 이중 Schottky barrier가 형성된다<sup>(3~4)</sup>고 생각된다. 이렇게 가정한 model에 의하여 여러가지 heterojunction들의  $J-V$  특성이 설명된다.<sup>(5~6)</sup>

이 논문에서는 intrinsic *a*-Si에 전극을 ohmic contact 시키는 것이 상당히 어려우므로  $J-V$  특성을 알 수 있는 Schottky barrier를 첨가하여 Pd/*a*-Si/*c*-Si Schottky barrier-heterojunction 복합체를 사용하여 *a*-Si/*c*-Si heterojunction의  $J-V$  특성을 조사하였다. 조사방법으로는 *a*-Si/*c*-Si heterojunction의  $J-V$  특성이 이중 Schottky barrier model에 의하여 주어진다고 가정하고 이 model에

의해서 주어지는  $J-V$  특성과 Pd/ $a$ -Si Schottky barrier의  $J-V$  특성을 합하여 Pd/ $a$ -Si/ $c$ -Si Schottky barrier-heterojunction 복합체의  $J-V$  특성을 만족하는가를 살펴보았다.

## II. 이중 Schottky barrier model과 Schottky barrier-heterojunction 복합체의 $J-V$ 특성

intrinsic  $a$ -Si는  $n$ -type의 성질을 갖고 있으므로 intrinsic  $a$ -Si/ $n$ -type  $c$ -Si heterojunction은  $n-n$  heterojunction을 이루게 되며 그림 1과같은 band

구조를 갖게 된다. 접합부분의 많은 interface states를 생각하면  $a$ -Si/ $c$ -Si heterojunction은 두개의 Schottky barrier로 구성되어 지며 각각의  $J-V$  특성은

$$J_1 = J_{01} [e^{\frac{qV_1}{\beta_1 kT}} - 1] \quad (1)$$

$$J_2 = -J_{02} [e^{-\frac{qV_2}{\beta_2 kT}} - 1] \quad (2)$$

에 의하여 주어진다. 여기서 식(1)은 metal/ $a$ -Si Schottky barrier의  $J-V$ 특성이며 식(2)는 metal/ $c$ -Si Schottky barrier의  $J-V$  특성을 나타낸다.<sup>(7)</sup>

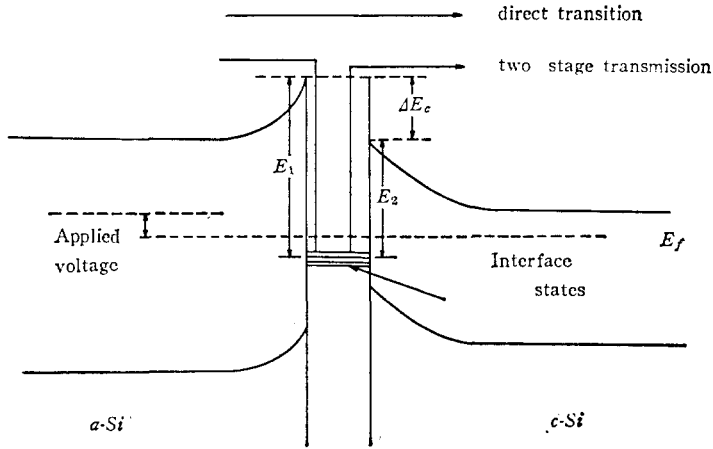


Fig. 1 Schematic band diagram of  $a$ -Si/ $c$ -Si heterojunction.

$a$ -Si과  $c$ -Si 자체의 저항을 무시하면  $a$ -Si/ $c$ -Si의  $J-V$ 특성은  $J_1$ 과  $J_2$ 는 같은 값을 가지므로  $J$ 라 놓고  $V_1+V_2$ 를 전체전압  $V$ 라 놓음으로써 다음과 같이 주어진다.

$$V = \frac{kT}{q} \left[ \beta_1 \log \left( \frac{J}{J_{01}} + 1 \right) - \beta_2 \log \left( 1 - \frac{J}{J_{02}} \right) \right] \quad (3)$$

$a$ -Si의 비저항은 상당히 크므로  $a$ -Si자체의 저항을  $R$ 이라 하면  $a$ -Si 박막 위에 증착된 금속과  $a$ -Si에 의해 형성된 Schottky barrier의  $J-V$ 특성은

$$J = J_0 [e^{\frac{qV}{\beta kT}} - 1] \quad (4)$$

의 식을 만족하므로 Pd/ $a$ -Si/ $c$ -Si Schottky barrier-heterojunction 복합체는

$$V = JR + \frac{kT}{q} \left[ \beta \log \left( \frac{J}{J_0} + 1 \right) + \beta_1 \log \left( \frac{J}{J_{01}} + 1 \right) - \beta_2 \log \left( 1 - \frac{J}{J_{02}} \right) \right] \quad (5)$$

의 식을 만족하게 된다. 여기서  $\beta, \beta_1, \beta_2$ 는 실험적으로 결정되어지는 값이며  $J_0, J_{01}, J_{02}$ 는 시료의 종류나

상태에 따라 결정되어지는 값으로써 실험에 의하여 구할 수 있다.

## III. 실험방법

### 1. 시료제작

$a$ -Si/ $c$ -Si heterojunction을 얻기 위하여  $a$ -Si를 적층성장된  $n-n^+$ 형 단결정 Si wafer의  $n$ 형 표면위에 진공증착시켰다. 이때 사용된 단결정 Si의  $n$ 형 부분은  $\sim 20\mu\text{m}$ 의 두께였으며 비저항은  $\sim 5\Omega\text{cm}$ 였고,  $n^+$ 형 부분은 두께가  $250\sim 290\mu\text{m}$ 이었으며 비저항은  $\leq 0.015\Omega\text{cm}$ 였다. 이 단결정 Si를 buffered HF와 D. I. water로 산화막을 제거한 후  $n$ 형 부분위에  $1\sim 2\mu\text{m}$ 의 두께로  $a$ -Si를 진공증착시켰다. 이때의 증착속도와 진공도는 각각  $1\sim 5\text{\AA}/\text{sec}$ ,  $\sim 5 \times 10^{-7}$  torr 이었다.  $a$ -Si박막은 99.9999% 이상의 순도를 갖는 다결정 Si를 Varian 922-0020 electron-gun

system에 의해 가열시켜 증착시킴으로써 얻었다.

a-Si을 증착시킨 다음 in-situ로 ~150mtorr의 수소기체를 집어 넣고 직류방전(~1kV/cm) 시킴으로써 hydrogenation<sup>(6)</sup>된 a-Si을 얻었다. 그 다음에 Schottky barrier를 얻기 위해 a-Si 표면 위에 in-situ로 100Å 정도의 두께로 Pd를 진공증착시켰다. 이때 얻어진 hydrogenation된 a-Si은 상온에서 1.2×10<sup>8</sup>Ωcm의 비저항을 갖고 있었다. 전극으로는 Al을 진공증착시켜 사용하였다.

2. J-V 특성 측정

J-V 특성은 digital multimeter와 electrometer를 사용하여 측정하였으며 current source로서는 Hewlett Packard 6263B DC power supply를 사용하였다. 측정 중에 있는 시료들은 모두 검은 철으로 광차단을 하였다.

IV. 실험결과 및 고찰

hydrogenation시키지 않은 a-Si을 사용한 Pd/a-Si/c-Si 시료는 빛을 쬐어 주었을때 open circuit voltage(V<sub>oc</sub>)를 나타내지 않아 Pd/a-Si의 J-V 특성을 알 수 없었으나 hydrogenation시킨 a-Si을 사용한 시료는 빛을 쬐어 주었을때 open circuit voltage를 나타내어 그림2에 보여지는 바와 같이 Schottky barrier의 J<sub>sc</sub>-V<sub>oc</sub>특성에 적용되는

$$J_{sc} = J_0 [e^{\frac{qV_{oc}}{\beta kT}} - 1] \quad (6)$$

의 식을 만족하였다. 여기서 J<sub>sc</sub>는 short circuit current를 나타낸다. 그림2에서 J<sub>0</sub>는 ~7×10<sup>-8</sup>A이고 β는 ~1.45의 값을 가짐을 알 수 있다.

한편, 그림2에 보여지고 있는 같은 시료에 대한 J-V 특성을 보면 J<sub>sc</sub>-V<sub>oc</sub>특성으로부터 상당히 구부러져 나타나고 있음을 알 수 있다. 이것은 a-Si의 큰 비저항과 a-Si/c-Si heterojunction에 의한 것으로 생각되어지며 a-Si/c-Si heterojunction은 접합 부분에 많은 interface states가 존재할 것이 예상되므로 이중 Schottky barrier model이 생각되어질 수 있다. 따라서 이 model을 사용하면 a-Si의 저항은 1.2×10<sup>4</sup>Ω이므로 이 실험에서 사용한 시료는 식(5)의 J-V 관계식을 만족하여야 한다. metal/c-Si Schottky barrier의 β값은 대략1의 값을 갖는 것으로 알려져 있으며 그림2에 나타나 있는 Pd/c-Si Schottky barrier의 J-V관계식으로 부터 얻은 β~

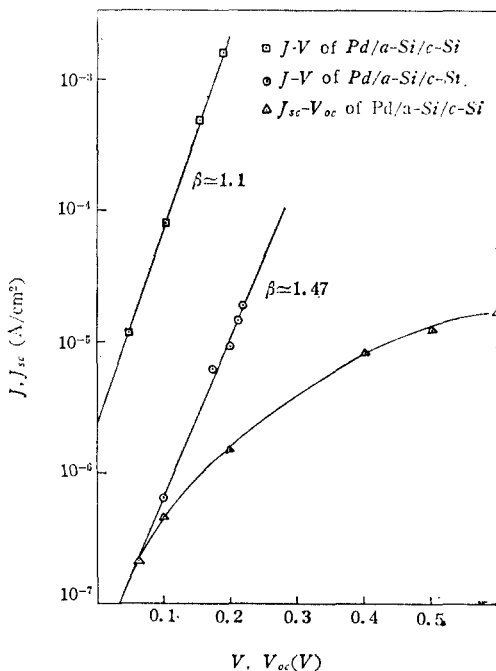


Fig. 2 J-V, J<sub>sc</sub>-V<sub>oc</sub> relations of Pd/a-Si/c-Si complex and J-V relation of Pd/c-Si Schottky barrier.

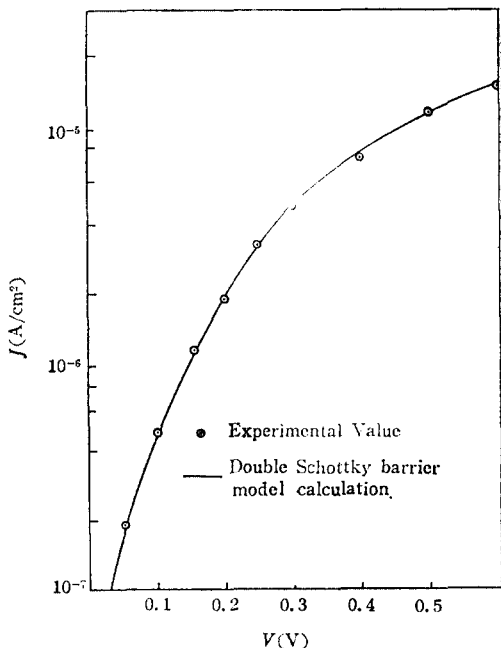


Fig. 3 J-V characteristics of Pd/a-Si/c-Si complex.

1.1의 값을 사용하여  $J_{01}$ ,  $\beta_2$ ,  $J_{02}$ 를 적당히 조절하여 그림2의 실험결과와 비교하면  $J_{01} \cong 5.4 \times 10^{-7} \text{A}$ ,  $\beta_2 \cong 13$ ,  $J_{02} \cong 5 \times 10^{-6} \text{A}$ 를 얻을 수 있으며 이 값을 대입한 식 (5)의  $J-V$ 특성은 그림3에 보여지는 바와 같으며 실험치와 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

유사한 조건하에서 제작한 시료를 위와 같은 방법으로 하여  $J_{01}$ 과  $J_{02}$ 는 각각  $2.2 \times 10^{-6} \text{A}$ ,  $2 \times 10^{-4} \text{A}$ 로 하고  $\beta_1$ 과  $\beta_2$ 는 같은 값 1.1, 13을 사용하여 double Schottky barrier model에 적용한 결과 실험치와 잘 일치하였다.

따라서  $\alpha\text{-Si}/c\text{-Si}$  heterojunction의  $J-V$  특성은

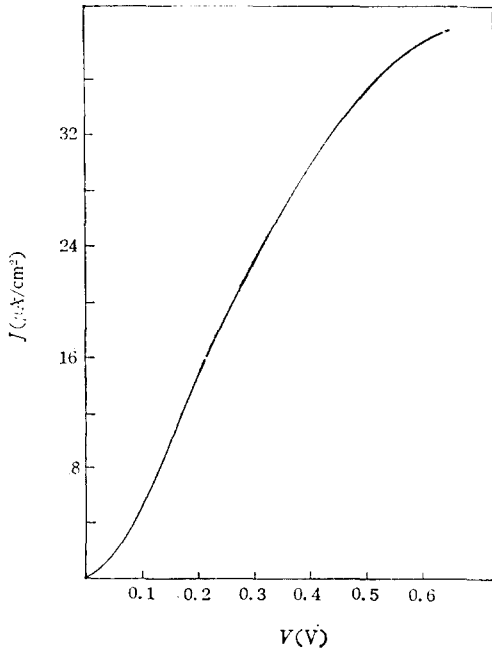


Fig. 4  $J-V$  characteristics of  $\alpha\text{-Si}/c\text{-Si}$  heterojunction.

이중 Schottky barrier model에 의하여 잘 설명되

어 질 수 있으며  $\alpha\text{-Si}$ 의 저항에 의한 효과와  $\text{Pd}/\alpha\text{-Si}$  Schottky barrier에 의한 효과를 제거하면  $\alpha\text{-Si}/c\text{-Si}$  heterojunction의  $J-V$ 특성은

$$V = \frac{kT}{q} \left[ \beta_1 \log \left( \frac{J}{J_{01}} + 1 \right) - \beta_2 \log \left( 1 - \frac{J}{J_{02}} \right) \right]$$

에 의하여 주어지며 그림3의 시료에 대한  $J-V$ 특성은 그림4에 보여지는 바와 같다.

## V. 결 론

$\alpha\text{-Si}/c\text{-Si}$  heterojunction은 접합부분에 많은 interface states가 존재하게 되므로  $J-V$ 특성은 이중 Schottky barrier model에 의하여 잘 설명되어질 수 있으며  $J = (kT/q) [\beta_1 \log(J/J_{01} + 1) - \beta_2 \log(1 - J/J_{02})]$ 에 의하여 주어진다.  $\beta_1$ ,  $J_{01}$ ,  $\beta_2$ ,  $J_{02}$ 는 interface states와  $\alpha\text{-Si}$ 와  $c\text{-Si}$ 의 구조적 상태에 관계되는 값으로  $\alpha\text{-Si}$ 을 제작하는 방법이나 조건에 따라 달라질 수 있으며 실험으로 결정될 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. H. Fritzsche, C. C. Tsai and P. Persans, Solid state technology, January 55-60(1978).
2. C. Lee, New Physics, 18, 15(1978).
3. C. Van Opdorp and H. K. J. Kanerva, Solid-St. Electron., 10, 401(1967)
4. W. G. Oldham and A. G. Milnes, Solid-St. Electron., 7, 153(1964).
5. R. K. Mueller, J. Appl. Phys., 30, 546(1959).
6. R. K. Mueller, J. Appl. Phys., 32, 640(1961).
7. R. Williams, RCA Review, 30, 306(1969).
8. J. Jang, J. H. Kang and C. Lee, Proc. 11th Int. Conf. on Amorphous and Liquid Semiconductors, Cambridge(1979).