

습도가 InP 터널 MIS 소자의 전기적 특성에 미치는 영향

(Humidity Effects on the Electrical Properties of InP Tunnel MIS Diodes)

林漢祚*, 鄭相九*, 金顯男*

(Han Jo Lim, Sang Koo Chung and Hyun Nam Kim)

要 約

InP 표면에 화학적 방법으로 성장시킨 산화막을 금속과 n-InP 사이에 삽입시켜 제작한 InP 터널 MIS (metal-insulator-semiconductor) 소자의 전기적 특성과 그 불안정성을 조사하였다. 성장된 박막은 In_2O_3 와 P_2O_5 가 혼합된 형태를 이루고 있었으며, 그 두께는 약 200\AA 으로 추정되었다. 이 MIS다이오드의 순방향 전류와 역방향 전류는 진공중에서의 약간의 열처리로도 증가하였으며, 다습한 분위기에서는 감소되는 현상이 관측되었다. 이와 같은 전류-전압 특성곡선의 변화 및 그 불안정성은 수분의 흡수에 따른 산화막의 물리 화학적 특성과 경계면 상태밀도의 변화에 기인되는 현상임을 논의하였다.

Abstract

The electrical properties and their instability of InP tunnel MIS diodes fabricated by inserting the chemically grown oxide between metal and n-InP (100) surface have been investigated. The structure of the grown oxide was the mixture of In_2O_3 and P_2O_5 , as was other low-temperature grown oxide, and its thickness was estimated to be the order of 200\AA . The forward and reverse currents increased even with slight heat treatment of diodes in vacuum, and they were reduced when the diodes were exposed to humid ambient. It was discussed that the observed instability in I-V characteristics is due to a change of the physico-chemical properties of the oxide film and of the interface states between oxide and InP according to the absorption of H_2O .

I. 序 論

III-V족 화합물반도체의 일종인 InP는 GaAs와 더불어 고주파 회로소자 및 광전소자로서 최근 활발히

연구되고 있다.^{1,2)} 그러나 n-InP/금속 접합에서 금속의 일함수와 거의 무관하게 0.5V로 고정되어 나타나는 낮은 접합전위³⁾ 인하여 나타나는 Schottky다이오드에서의 과도한 누설 전류는, 이물질(을 전자소자로 이용하는데 있어서 하나의 장벽이 되고 있다.⁴⁾ 이와 같이 과도한 역방향전류를 감소시키는 방법으로서 금속과 반도체 사이의 경계면에 절연박막을 삽입하여 터널 MIS구조를 제작하는 것이 일반적 경향이다. 예로서 Wada와 Majerfeld는 실산을 사용하여 InP 표면에 산화막을 형성시켜서 터널 MIS 소자를 제작하는 경우

*正會員, 亞州大學校 工科學科 電子工學科

(Dept. of Electron. Eng., Ajou Univ.)

接受日字: 1984年 3月 12日

(※本 論文은 1983年度 文教部 學術研究助成費에 의하여 이루어진 것임.)

Au/InP 소자의 경우와 비교하여 유효접합전위가 0.53 V에서 0.9V로 증가하는 사실을 보고하였다.⁴⁾

그러나 광전류 방법으로 측정된 결과에 의하면, n-InP 터널 MIS 구조에서 실제 전위장벽은 Schottky 구조에 비하여 증가하지 않음이 보고되고 있다.^{3,5,6)} 이와 같이 측정방법에 따른 결과의 차이는 전류-전압(I-V) 특성이나, 용량-전압(C-V) 특성방법에 의한 터널 MIS 소자의 접합전위에 관한 측정은 절연층에서의 전압강하로 인하여 영향을 받음에 기인한다.^{16,7)} 더우기 InP 표면에 양극방법으로 성장된 산화막(anodic oxide)의 불안정성이 보고되고 있을 뿐만 아니라,^{8,9)} MIS 소자나 쇼트키 소자의 불안정한 전기적 특성 역시 보고되었다.¹⁰⁾ 그러나 InP MIS 소자의 전기적 특성이 불안정한 원인에 관하여서는 아직 밝혀진 바 없다.

본 논문에서는 화학적 방법으로 성장시킨 절연박막을 InP와 Au 사이에 삽입시켜 제작한 MIS 소자에서의 전류-전압 특성곡선의 변화를 주위 습도조건과 낮은 온도에서의 열처리 과정과 관련하여 조사하였다. 또한 이 결과를 산화박막과 경계면 상태가 소자의 전자 수송기구(transport mechanism)에 미치는 영향과 관련하여 살펴봄으로써 관측된 전류-전압 특성곡선의 변화는 MIS 소자가 수분을 흡수함에 따른 산화박막의 물리적 성질과 경계면 상태밀도의 변화에 기인됨을 밝혔다.

II. 절연박막이 터널 MIS 소자의 I-V 특성에 미치는 영향

이동도(mobility)가 비교적 높은 반도체로 제작된 이상적인 쇼트키 소자에서의 전자 수송기구는 일반적으로 열이온적 방출모형(thermionic emission model)로 설명되는 바 이 경우 순방향전류 I는

$$I = A^* S T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_0}{kT}\right) \left\{ \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right\} \quad (1)$$

로 주어진다.¹⁷⁾ 여기서 A*는 유효 리차드슨 상수(effective Richardson constant)로서 InP의 경우(m*=0.078m₀) A*=9.4Acm⁻²K⁻²의 값을 갖는다. S는 소자의 단면적, T는 절대온도, ϕ₀는 전위장벽, k는 볼츠만 상수이며, n은 이상계수(ideality factor)로서 전위장벽이 인가된 바이어스에 무관한 이상적인 경우 1의 값을 가진다.

금속전극과 반도체 사이에 절연박막을 삽입시켜 터널 MIS 구조를 형성시키는 경우, 삽입된 절연박막에 의한 효과는 다음과 같이 요약할 수 있다.^{17,12)}

1) 절연층에서의 전압강하로 인하여 이상적 쇼트키 소자에 비하여 실제 영바이어스 접합전위가 낮아진다.

2) 순방향전류의 경우, 전자가 절연박막을 터널현상으로 통과하여야 하므로 주어진 바이어스에서의 전류는 쇼트키 소자의 경우에 비하여 감소하며, 전위장벽이 바이어스의 함수가 되므로 이상계수는 증가한다.

3) 역방향전류의 경우, 경계면 박막은 바이어스가 증가함에 따라 유효전위장벽을 감소시키므로 역방향전류가 포화되지 않는다.

4) 절연박막과 반도체 사이에 존재하는 경계면 상태에 의한 재결합전류(recombination current) 역시 전류-전압 특성곡선 및 이상계수에 영향을 미친다.

InP 터널 MIS 소자의 접합전위는 쇼트키 소자의 경우와 비교하여 변함이 없으므로,^{3,5)} 전류-전압 특성곡선에서 관측되는 유효접합전위의 증가는 완전히 절연박막에서의 전압강하에만 기인된다. 이 경우 박막에서의 전압강하는

$$\Delta\phi_0 = E_i d = \frac{Q_{ss} d}{\epsilon_i} \quad (2)$$

로 주어지며, 여기서 E_i는 절연박막에서의 전계, ε_i와 d는 그림 1에 보이바와 같이 각각 박막의 유전율과 폭이다. 경계면에서의 전하 Q_{ss}는 경계면 상태밀도 D_s와 표면 페르미 준위(surface Fermi level) qϕ₀의 정의와 관련되어

$$Q_{ss} = -qD_s(E_F - q\phi_0 - q\phi_b) \quad (3)$$

으로 나타내지며, 여기서 E_F는 반도체의 에너지 갭이다.

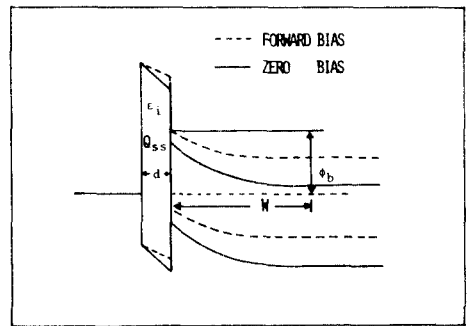


그림 1. 터널 MIS 소자의 구조
Fig. 1. Structure of tunnel MIS diode.

바이어스 V가 V>3kT/q인 경우, 이상계수 n은 (1) 식으로부터

$$\frac{1}{n} = \frac{kT}{q} \frac{d}{dV} \left(\ln \frac{I}{S} \right) = 1 - \frac{\partial\phi_0}{\partial V} \quad (4)$$

로 주어진다. 여기서 ϕ_e 는 유효전위장벽이며, 이식에서 보는 바와 같이 $\partial\phi_e/\partial V = 0$ 이면 이상적 쇼트키 다이오드의 경우이며 $\partial\phi_e/\partial V$ 가 바이어스에 따라 변하지 않으면 모든 순방향전류 영역에서 n 은 일정하다. 유효전위장벽에 포함되는 미세한 영상전하에 의한 전위강하(image-force lowering)를 무시한다면 $\partial\phi_e/\partial V = \partial\phi_s/\partial V$ 가 되며

$$n = 1 + \frac{d\epsilon_s}{W(dqD_s + \epsilon_1)} \quad (5)$$

로 나타내진다. 여기서 ϵ_s 는 반도체의 유전율 W 는 공핍층의 폭이다.

경계면 절연박막은 다이오드의 직렬저항(series resistance) R_s 에 역시 영향을 미친다. 그러나 R_s 는 반도체의 체적저항 등과도 연관되므로 R_s 의 값으로부터 삽입된 절연박막의 물리적 성질에 관한 정량적 정보를 얻을 수는 없다. 한편 절연박막과 반도체의 경계면에 존재하는 경계면 상태가 MIS소자의 전류-전압 특성 곡선에 미치는 영향은 많이 보고되고 있으며,^(11,12) 경계면 상태의 형태(donor type 혹은 acceptor type 여부)뿐만 아니라, 그 에너지준위와 상태밀도등에 관련된다. 일반적으로 경계면 상태는 MIS소자에서 재결합전류의 원인이 되며 $n=2$ 의 값을 갖는 재결합전류 성분은 낮은 바이어스 영역에서 나타나므로,⁽¹³⁾ MIS소자의 전류-전압 특성곡선에 있어서 낮은 바이어스 영역에서의 이상계수 증가의 주요원인이다.

III. 실험

본 실험에 사용된 시료들은 불순물이 주입되지 않은

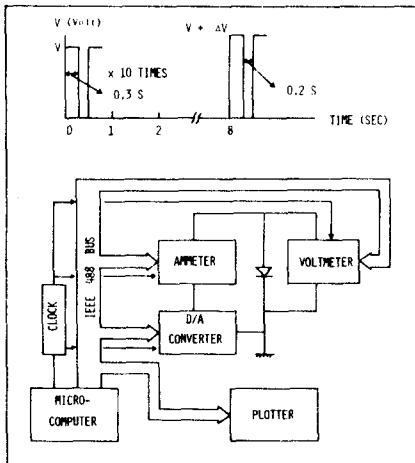


그림 2. 전류-전압 측정 시스템의 블럭선도
Fig. 2. Block diagram of I-V measurement system using pulse sequence shown in inset.

자유전자 농도 $5 \times 10^{16} e/cm^3$ 인 (100)면의 LEC(liquid encapsulated czochralski) n-InP이었다. 시료들은 직경 $0.3\mu m$ 알루미늄 가루를 사용하여 표면연마한 후 2% 브롬-메타놀로 애칭하였다. 표면산화 박막은 이 시료들을 50 vol.% 질산용액에 20초 동안 산화시켜서 제작하였으며, 성장된 산화박막의 구조는 RIBER-INC.의 Auger스펙트로메타로 조사하였다. 쇼트키 접촉은 $4.5 \times 10^{-3} cm^2$ 의 넓이로 산화된 표면에 진공증착시켜서 형성시켰으며, 음성접촉은 산화박막이 형성되지 않은 후면에 Au-Ge를 진공증착시킨 후 $300^\circ C$ 의 N_2 분위기에서 확산시켜서 이루었다. 순방향전류의 줄열효과가 박막에 미치는 영향을 줄이기 위하여 전류-전압 특성곡선 측정은 그림 2와 같은 장치를 사용하여 펄스를 가하면서 행하였다.

IV. 결과 및 논의

그림 3에 표면산화물의 구조를 조사한 Auger스펙트럼을 나타내었다. 이 스펙트럼에서 인듐의 MNN 전이에 의하여 나타나는 397eV와 404eV에 해당하는 피크로부터 인듐은 $InPO_4$ 의 결합이 아닌 In_2O_3 의 결합임이 잘 나타나고 있다.⁽¹⁴⁾인 역시 P_2O_5 의 결합임이 관측되었다. InP의 산화결과, 산화물에서 In_2O_3 와 P_2O_5 가 혼합된 상태가 형성되는 현상은, 역시 낮은 온도에서 표면산화막이 형성되는, 양극방법으로 성장된 산화막(anodic oxide)의 경우와 잘 일치한다.^(9,14) 그림 3에서 나타나는 오염물질인 산화되지 않은 탄소(271eV Auger 선)는 오세분석중 표면에 흡착된 것이므로,⁽¹⁵⁾ 그림 3으로부터 본실험의 MIS구조에 사용된 절연박막은 In_2O_3 와 P_2O_5 의 혼합체임을 잘 알 수 있다. 한편 이 혼합

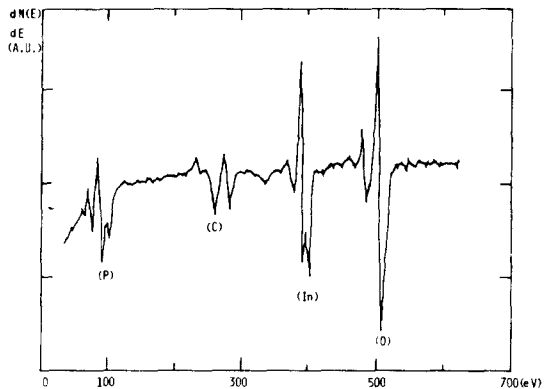


그림 3. InP표면에 화학적 방법으로 성장된 산화막의 오세 스펙트럼
Fig. 3. Auger spectrum of chemically grown oxide on InP surface.

체의 절연성은 P_2O_5 와 In_2O_3 의 성분비에 따라 변하며 P_2O_5/In_2O_3 의 비가 1.3일때 최대값을 가짐이 잘 알려져 있는 바,¹⁶⁾ 본 실험에서 성장된 박막은 $20 \sim 50 M\Omega \cdot cm$ 의 저항율을 갖고 있었다. 그러나 캐빈방법에 의한 접촉전위측정(topographic contact potential difference measurement) 결과, 표면산화물의 저항율이 균일하지 않음이 관측되었으며, 이와같은 현상은 ellipsometer에 의한 산화박막의 두께 측정실험에서 산화된 표면으로부터의 반사광이 과도하게 확산되는 결과로 다시 확인되었다. 이와 같이 박막의 물리화학적 성질이 균일하지 않은 현상은 낮은 온도에서 성장된 박막이 In_2O_3 와 P_2O_5 가 덩어리(island) 형태로 혼합된 비정질임에¹⁷⁾ 기인되는 것으로 생각된다.

그림 4에 대표적인 실온에서의 전류-전압 특성곡선을 나타내었다. 순방향전류는 $\ln I$ 대 V 로 나타낸 것으로 이로부터 (1)식을 이용하여 전위장벽 ϕ_b 와 이상계수 n 을 결정하였으며, 역방향전류는 I 대 V 로 나타내었다. 특성곡선(c)를 보이는 D1 다이오드는 성장시킨 박막을 $250^\circ C$ 의 질소가스 분위기에서 10분동안 열처리한 후 금을 증착시켰으며, 열처리하지 않은 표면 박막에 금을 증착시켜 제작한 D2 다이오드에서의 특성곡선은 (a)로 나타났다. 특성곡선(b)는 D2 다이오드를 $10^{-3} Torr$ 의 진공과 $100^\circ C$ 의 온도에서 10분동안 열처리한 후 실온에서 측정된 것으로 어느 주어진 바이어스에서의 순방향전류, 역방향전류 모두 (a)곡선에 비하여 증가하고 있다. 그림 4에서 관측되는 주변조건에 따른 특성곡선의 변화를 면밀히 살펴 보기 위하여 다른 MIS다이오드 D3를 진공에서 열처리하거나, 다시 수분을 흡수시킴에 따른 실온에서의 전류-전압 특성곡선의 변화를 그림 5에 나타내었다. 제작된 직후의 특성곡선은 (a)로 주어졌으며, 이 다이오드를 $80^\circ C$, $10^{-3} Torr$ 의 분위기에서 2시간 동안 2V 60Hz의 역방향 구형파를 인가한 후 같은 진공에서 측정된 실온에서의 특성곡선은 (b)와 같이 변화하였다. 곡선(b) 상태의 다이오드를 진공이나 드라이어에 챔버속에 보관하는 경우 특성곡선은 (b)상태에 계속 유지되었다. 이 다이오드를 진공에서 제거한 다음 실내에 14시간 방치한 후 측정된 특성곡선은 (c)와 같았으며, 그 이후는 변화가 관측되지 않았다. 곡선(a) 상태나 곡선(c) 상태로 부터 시료들을 $100^\circ C \sim 120^\circ C$, $10^{-3} Torr$ 의 분위기에서 10분간 열처리 함으로써 곡선(b) 상태를 관측할 수 있었으며, 곡선(b) 상태의 다이오드에 다습한 분위기를 형성하는 경우 특성곡선은 (a)상태로 회복되지 않고 반드시 (c)상태로 변화하였다. 곡선(b) 상태와 곡선(c) 상태는 다이오드의 주변조건을 변화시킴으로써

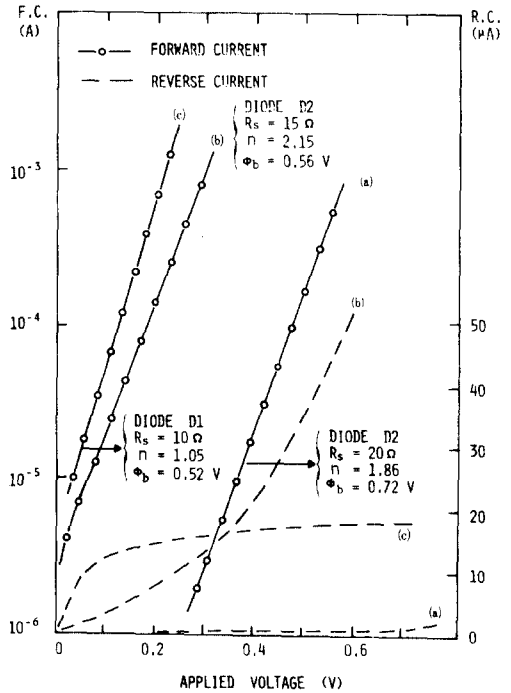


그림 4. 제작된 InP 턴넬 MIS 다이오드의 실온에서의 전류-전압 특성곡선

- (a) 성장된 박막을 열처리하지 않은 다이오드 D2
- (b) 본문 내용의 열처리 이후 D2의 특성곡선
- (c) 쇼트키 접촉이전 열처리한 다이오드 D1

Fig. 4. Room temperature $I - V$ characteristics of InP tunnel MIS diodes.

- (a) Diode D2 without heat treatment of as-grown oxide.
- (b) Diode D2 obtained after the heat treatment given in text.
- (c) Diode D1 with the heat treatment of grown oxide before Schottky contact.

반복적으로 얻을 수 있었다. 그리고 곡선(b) 상태에서 곡선(c) 상태에 이르기 위하여 다이오드를 100%습도 분위기에 장시간 유지하는 경우, 결국은 (c)상태의 특성곡선이 불안정해지면서 다이오드의 직렬저항이 급격히 증가하는 현상이 관측되었다.

그림 4와 5의 결과로부터 다음과 같은 고찰이 가능하다. D1 다이오드의 경우 포화 역방향 전류가 존재하며 $n=1.05$ 의 작은 이상계수로 부터 이 다이오드가 이상적 쇼트키 다이오드, 즉 절연박막이 거의 존재하지 않는 다이오드임을 알 수 있다.¹⁷⁾ 반면 D2 다이오드에서는 $n=1.86$, $n=2.15$ 의 큰 값과 포화되지 않고 계속 증가하는 역방향전류로 부터 II 절의 2)와 3)에서 논의

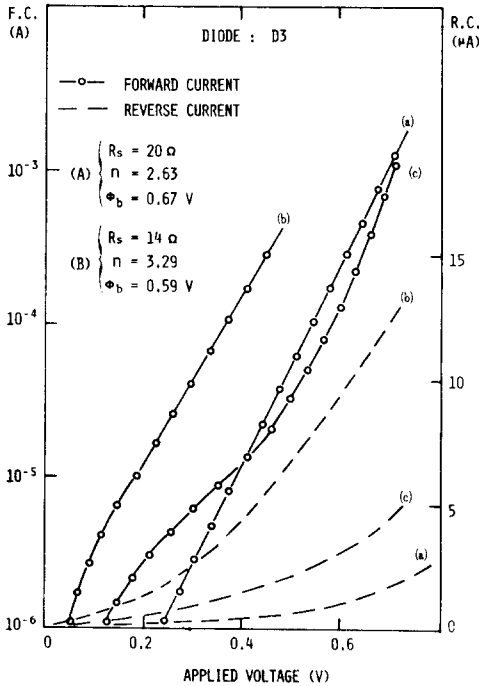


그림 5. 다이오드의 주변조건을 변화시킴에 따른 실온에서의 전류-전압 특성곡선의 대표적 변화
 (a) 열처리 이전의 특성곡선
 (b) 10^{-3} Torr의 진공에서 열처리한 이후의 특성곡선
 (c) 열처리한 이후 실온에서 14시간 방치한 이후 특성곡선

Fig. 5. Typical room temperature I-V Characteristics subjected to ambient conditions.
 (a) Characteristics before heat treatment.
 (b) Characteristics after heat treatment in a vacuum of 10^{-3} Torr. No change was observed in the characteristics after 4 days in the same vacuum.
 (c) Characteristics after the heat-treated diode was exposed to ordinary ambient for 14 hours.

한 바와 같이 절연박막이 존재하며 이로 인하여 주어진 바이어스에서의 전류가 감소했음을 알 수 있다. 그림 4의 (a)와 (c)곡선을 비교할 경우, 절연박막에서의 전위강하에 의하여 나타나는 유효전위장벽 증가 $\Delta\phi_b$ 는 0.2V임을 알 수 있다. (2)식과 (3)식에 $q\phi_b = E_g/3$ ^{10,11)}, $E_g = 1.35\text{eV}$, $D_s = 0.3 \times 10^{11}\text{cm}^{-2}eV^{-1}$ ¹¹⁾을 취하여 추정된 박막의 폭은 180\AA 으로서 이는 박막 제조시간과 폭의 관계를 외삽한 실험치로 얻은 Wada 등의 결과와¹¹⁾ 잘 일치한다. D3다이오드의 경우, $\Delta\phi_b = 0.1\text{V}$ 를 취하여 박막의 폭을 약 150\AA 으로 추정할 수 있었다. 그림 4와 그림 5의 순방전류에 관한 (a) 곡선과 (b) 곡선을 비교함으로써, 주변조건을 변화시킴에 따른

특성곡선의 변화를 표 1과 같이 요약할 수 있다. 특히 다이오드에 수분을 흡수시킬 경우 순방전류는 $\ln I$ 대 V 그래프에서 비직선적이며 높은 바이어스 영역에서는 (a) 곡선에 가깝고 낮은 바이어스 영역에서는 (a) 곡선과 (b) 곡선 사이의 값을 가지며, 순방전류의 증가가 바이어스를 증가시킴에 따라 점차 둔화되다 다시 증가함을 알 수 있다.

표 1. MIS다이오드의 주변조건 변화에 따른 특성 변화

Table 1. Variation of the characteristics due to the ambient conditions.

특성 조건	D 2			D 3		
	ϕ_b (V)	n	R_s (Ω)	ϕ_b (V)	n	R_s (Ω)
열처리 전	0.72	1.86	20	0.67	2.63	20
열처리 후	0.56	2.15	15	0.59	3.29	14
수분흡수 후	비직선적					

턴넬 MIS다이오드의 전류-전압 특성곡선에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 경계면 산화막의 성질과 경계면 상태이므로^{11,12)} 지금까지 그림 4와 5에서 관측된 결과들을 이들에 의한 영향을 중심으로 살펴보자. 저온에서 InP표면에 성장된 산화막은 불안정하며^{8,9)} 특히 Studna와 Gualtieri는 양극방법으로 성장된 산화막을 100% 습도 분위기에 6시간 노출시킬 경우 박막의 두께가 초기의 800\AA 에서 1100\AA 으로 증가하는 현상을 보고한바 있다.¹¹⁾ 그들은 같은 실험에서 박막이 수분을 흡수함에 따라 유전상수가 감소하며, 광흡수모서리(optical absorption edge)는 1eV 증가함을 관측하였다. 따라서 본 실험의 경우, 그림 5와 표 1에서 보는 바와 같이 열처리 이전이나 열처리 이후 다습한 분위기에 유지된 다이오드에서 관측되는 특성곡선에 비하여 저온열처리후 건조한 분위기에 유지된 다이오드에서는 직렬저항 R_s 가 감소하며, 특성곡선 역시 전도성이 좋은 영역에서 관측되는 현상은 수분흡수에 따른 박막폭의 변화로 쉽게 설명할 수 있다. 한편 턴넬 MIS 소자의 이상계수 n은 경계면 상태에 의한 영향을 고려하지 않는 경우, (5)식에 의하여 박막의 유전상수 및 폭과 관련되고 있다. 만약 관측된 특성곡선의 변화가 오직 박막의 유전상수와 폭에만 관련된다면, 열처리 이후의 박막에 비하여 더 작은 ϵ_1 의 값과 더 큰 d값을 갖는 성장직후의 박막(as-grown oxide layer)으로 이루어진 다이오드는 더 큰 n 값을 가져야 할 것이다. 그러나 표 1에서 보듯이 열처리후 건조한 곳에 보관된 소자에서의 n값이 더욱 큰 값을 갖고 있다. 더욱이 열처리 이후 수분을 흡수시킨 MIS소자에서는 경계면 상

태를 거친 재결합전류에 의한 영향으로 알려진 낮은 바이어스 영역에서의 순방향전류 곡선의 비직선성^{12,13}이 나타나고 있다. 따라서 InP 터널 MIS 다이오드에서 수분흡수에 따른 전류-전압 특성곡선의 변화는 산화막의 물리적 성질과 더불어 경계면 상태 밀도와도 관련됨을 쉽게 알 수 있다. 산화막과 InP의 전이영역에서는 약 100Å에 걸쳐서 인듐과 인의 결합이 In₂O₃와 P₂O₅의 결합에서 InP결합으로 점차 바뀌며 P₂O₅가 경계면에 축적되고 있다.¹⁴ 따라서 경계면 상태의 근원으로 dangling bond와 P₂O₅를 가정할 수 있으며, 더욱이 경계면에 축적되는 P₂O₅는 수분에 대단히 불안정하므로 이들이 습도에 민감한 경계면 상태의 주원인일 수 있다. 또한 그림 5의 (a)곡선과 (c)곡선의 차이는 성장직후의 산화막막과 열처리 이후의 산화막막의 물리적 성질의 차이와도 관련될 것이며, 열처리 이후에는 (a)곡선 상태가 관측되지 않고 (b)와 (c)상태가 반복적으로 관측되는 현상은 열처리 이후의 막막이 성장직후의 막막에 비하여 비교적 안정됨을 말해준다. 이와 같은 현상은 양극방법으로 성장된 산화막막에서 열처리 이후에는 산화막막의 유전상수와 폭이 초기상태로 회복되지 않는 사실과¹⁵ 일치한다. 한편 다이오드를 100% 습도 분위기에 장시간 보관하는 경우 직렬저항이 급격히 증가하면서 특성곡선이 불안정해지는 현상은 산화막막의 폭이 커짐에 따라 터널링현상에 의한 전류가 더이상 유지될 수 없게 되는 것으로 생각된다.

V. 結 論

본 실험에서는, 실온에서 질산을 사용하여 InP의 표면을 산화시키는 경우, 낮은 온도에서 다른 방법으로 성장시킨 산화막막의 경우와 같이 In₂O₃와 P₂O₅가 혼합된 형태의 산화막이 형성됨을 보였으며, 이들 산화막을 삽입하여 제작된 InP 터널 MIS소자에서 전류-전압 특성곡선의 불안정성이 수분의 흡수와 관련됨을 실험적으로 밝혔다. 이들 결과를 역시 낮은 온도에서 막막이 성장되는 양극방법으로 성장된 산화막에 있어서 수분흡수에 따른 막막의 물리화학적 성질의 변화와 관련시켜 살펴봄으로써, 이들 특성곡선의 변화는 산화막막의 폭과 유전상수 등 물리적 성질 뿐만 아니라, 경계

면 상태에도 관련됨을 보였다. 따라서 InP 터널 MIS 다이오드의 전기적 불안정성은 낮은 온도에서 성장된 막막인 In₂O₃와 P₂O₅가 혼합된 구조가 습도에 민감함에 기인됨을 알 수 있다.

參 考 文 獻

- [1] J.S. Barrera and R.J. Archer, *IEEE Trans. Electron. Devices*, ED-24, 1023, 1975.
- [2] J.J. Hsieh, *Appl. Phys. Lett.* 28, 283, 1976.
- [3] W.E. Spicer, I. Lindau, P. Skeath, C.Y. Su and P. Chye, *Phys. Rev. Lett.* 44, 420, 1980.
- [4] O. Wada and A. Majerfeld, *Electron. Lett.* 14, 125, 1978.
- [5] D.V. Morgan, M.J. Howes and W.J. Delvin, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 11, 1341, 1978.
- [6] D.V. Morgan and J. Frey, *Phys. Stat. Sol. (a)* 51, K29, 1979.
- [7] E.H. Rhoderick, *Metal Semiconductor Contacts*. Clarendon, Oxford, 1978.
- [8] A.A. Studna and G.J. Gualtieri, *Appl. Phys. Lett.* 39, 965, 1981.
- [9] C.W. Wilmsen, *J. Vac. Sci. Techn.* 19, 279, 1981.
- [10] K. Hattori and Y. Izumi, *J. Appl. Phys.* 52, 5699, 1981.
- [11] Sze, *Physics of Semiconductor Devices*. 2nd Ed. John Wiley, New York, 1981.
- [12] G. Pananakakis, G. Kamarinos and P. Viktorovitch, *Rev. Phys. Appl. (FRA)* 14, 639, 1979.
- [13] C.H. Henry, R.A. Logan and F.R. Merritt, *J. Appl. Phys.* 49, 3530, 1978.
- [14] C.W. Wilmsen and R.W. Kee, *J. Vac. Sci. Techn.* 14, 953, 1977.
- [15] T.A. Carlson, *Photoelectrons and Auger Spectroscopy*. Plenum, New York, 1978.
- [16] D.L. Lile and D.A. Collins, *Appl. Phys. Lett.* 28, 554, 1976.