

論 文
35~10~7

Al-Al₂O₃-Si (N型) 의 MAS 構造에 있어서 高電界에 의한 Carrier 注入과 트랩에 관한 研究

A Study on Carrier Injction and Trapping by the High Field for MAS (Al-Al₂O₃-Si(n)) Structure

李 英 姬*·朴 成 熙**
(Young-Hi Lee · Sung-Hee Park)

Abstract

The present study was carried out to investigate the mechanism which contral the voltage instability and the breakdown of CVD Al₂O₃ on Si substrates. Our sample were metal-Al₂O₃-Si Capacitors with both Al and Au field plates. Electron injection and trapping, with resultant positive flatband voltage shift, occur at fields as low as 1~2[MV/cm]. We developed an approximate method for computing the location of the centroid of the trapped electrans. Our results indicate that the electrons are trapped near the injecting interface, at least for fields less than about 5 [MV/cm]. Because of continued charging, a true steady state is probably never reached, and the only unique I-V curve is the one obtained initially, when the traps are empty. We measured this I-V curve for both polarities of applied voltage, using a fresh sample for each point. The observed current densities are much larger than those obtained in thermally grawn SiO₂.

1. 序 論

半導體分野에서 絶緣膜으로써 SiO₂膜이 거의 많이 活用되고 있다. 그러나 SiO₂膜이 半導體素子에 있어서 가장 理想的인 carrier의 트랩핑條件을 만족하는 물질이라고는 볼 수 없이 이에 관한 物性的 解析과 實驗的인 研究가 많은 연구가들에 의해 추진되고 있다. 또한 SiO₂膜의 특성개선 및 보완면에서 활발히 연구되고 있는 것으로는 PSG, Si₃N₄ 및 Al₂O₃膜 등이 있다.

PSG膜은 MOS FET 등의 특성에서 不安定性을 잘 보완하고 있고, Si₃N₄膜은 不揮發性 메모리素子에서의 絶緣膜으로써, 또는 酸化 및 에칭 마스크로서 그有用性を 認定받고 있다. 그러나 Al₂O₃ 膜은

이온의 運動에 대한 저항과 放射強度 및 낮은 threshold電壓의 MOS FET構成 및 不揮發性, 메모리素子の 活用 可能性등에 있어서 SiO₂보다 더욱 優秀한 性能을 가진다고 評價받고 있다.^{1,2} 따라서, 本論文에는 SiO₂膜의 차밀도와 膜의 可動이온 및 트랩밀도의 특성개선점이 있으므로 半導體素子の 絶緣膜으로써 Al₂O₃膜에 관한 活用性を 定量的으로 考察하기 위해 Al₂O₃膜을 形成하여 高電界 注入効果 와 트랩핑현상을 검토하였고 그活用性を 모색코져 하였다.

2. 理論的 考察

酸化膜 내에서 電荷트랩핑 현상은 C-V特性的의 時間的인 變化를 考察함으로써 解析될 수 있고, 酸化膜 내에서 電氣的特性을 나타내는 Flat-band 電壓은 金屬界面으로부터 평균거리 x에 대하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.³

*正 會 員: 檀國大 工大 電子工學科 教授 · 工博

**正 會 員: 湖西大 工大 電子工學科 副教授

接受日字: 1986年 5月 2日

$$V_{FB} = \frac{-Q_T x}{\epsilon_r \epsilon_0} \quad (1)$$

Q_T 가 負電荷일때와 正電荷일때의 V_{FB} 상태는 달라진다. 트랩된 金屬界面으로 부터 電荷의 平均거리 x 에 대한 酸化膜内 電荷分布 $\rho(x)$ 를 金屬部分과 半導體部分에서 注入되는 carrier 상태에 따라 두가지로 그림 1에 나타내었다.

그림내에 첨자쓰는 注入되는 carrier들에 대한 印加電壓의 極性を 表示한 것이며 트랩되는 電荷에

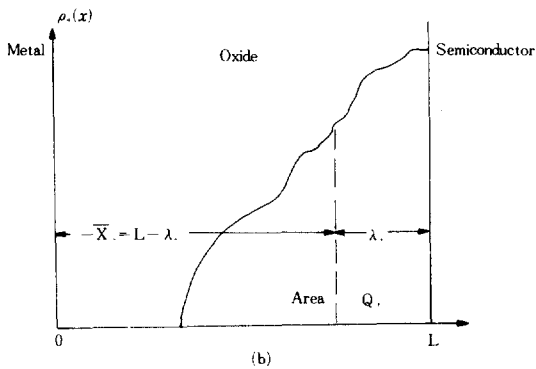
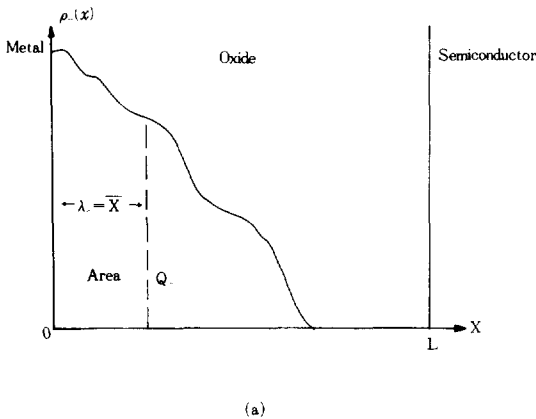


그림 1. 酸化膜内의 電荷分布 (a) 金屬面에서 電子들의 注入에 의한 트랩된 電荷(負電界板), (b) 半導體面에서 電子들의 注入에 의한 트랩된 電荷(正電界板)

Fig. 1. Two arbitrary oxide charge distributions (a). Trapped charge resulting from injection of electrons from the field plate (field plate negative), (b) Trapped charge resulting from injection of electrons from the substrate (field plate positive)

의하여 나타나는 ΔV_{FB} 는 다음과 같다.

$$\Delta V_{FB} = -\frac{\Delta Q_{ss}}{C_0} = \frac{\int_0^L x \rho(x) dx}{C_0 L} \quad (2)$$

x 는 金屬界面으로 부터의 거리이며, ΔQ_{ss} 는 表面狀態의 電荷密度(C/cm^2) 變化量, C_0 는 單位面積當酸化膜의 容量, L 는 酸化膜의 두께이다. ΔQ_{ss} 를 무시하면,

$$\Delta V_{FB} = -\frac{\int_0^L x \rho(x) dx}{C_0 L} \quad (3)$$

로 되고, 電荷分布의 平均中心點은 다음과 같다.

$$\bar{x} = \frac{\int_0^L x \rho(x) dx}{\int_0^L \rho(x) dx} = \frac{1}{Q} \int_0^L x \rho(x) dx \quad (4)$$

식 (3), (4)에서

$$\Delta V_{FB} = -\frac{Q \bar{x}}{C_0 L} \quad (5)$$

이 되며 식 (5)을 그림 1 (a), (b)에 각각 적용시키면,

$$\Delta V_{FB} = -\frac{Q \bar{x}}{C_0 L} = -\frac{Q \lambda}{C_0 L} \quad (6-a)$$

$$\Delta V_{FB} = -\frac{Q \bar{x}_+}{C_0 L} = -\frac{Q (L - \lambda_+)}{C_0 L} \quad (6-b)$$

$$\Delta V_{FB} + \Delta V_{FB+} = -\frac{1}{C_0 L} [Q \lambda_- + Q (L - \lambda_+)] \quad (7)$$

로 나타낼 수 있다. 그림 1의 두가지 電荷分布는 대략 中間面에 대해 상호대칭이며, $Q_+ = Q_-$, $\lambda_+ = \lambda_-$ 로 하면 식 (6-a), (7)로부터

$$\frac{\lambda}{L} = \frac{1}{1 + \Delta V_{FB+} / \Delta V_{FB}} \quad (8)$$

을 얻을 수 있다. 여기서 λ 는 電子의 平均注入거리이며, (8)식은 電荷分布의 형상에 무관하고, ① 界面狀態에서의 電荷는 무시할 수 있고, ② 두 bias 極성에 대한 電荷分布는 $x = \frac{1}{2}L$ 인 면에서 상호대칭이다.

이러한 가정에 의하여 이루어졌다. 대략적인 트랩밀도를 위하여 $\rho(x)$ 의 임의의 모형을 가정해야 한다. 따라서, 생각할 수 있는 分布는 상자분포(Box distribution)로서 $0 < x < 2\bar{x}$ 에 대해서는 $\rho(x) = -eN$, $2\bar{x} < x < L$ 에 대해서는 $\rho(x) = 0$ 로 가정하면 ΔV_{FB} 는

$$\Delta V_{FB} = \frac{\int_0^{2\bar{x}} x \rho(x) dx}{C_0 L} = \frac{-\int_0^{2\bar{x}} x (-eN) dx}{C_0 L} = \frac{2eN \bar{x}^2}{C_0 L} \quad (9)$$

$$N = \frac{C_0 L \Delta V_{FB}}{2e \bar{x}^2} \quad (10)$$

을 얻을 수 있다. 만약 포물선형의 分布로 가정하여 $0 < x < \frac{8}{3}\bar{x}$ 에서 $\rho(x) = -eN_0 \left[1 - \left(\frac{3}{8} \frac{x}{\bar{x}} \right)^2 \right]$, $\frac{8}{3}\bar{x} < x < L$ 에서 $\rho(x) = 0$ 로 놓으면

$$N_0 = \frac{9 C_0 L \Delta V_{FB}}{16 e \bar{x}^2} \quad (11)$$

를 얻을 수 있고, (10)식과 (11)식을 비교함으로써 $N_0 = \frac{9}{8}N$, $N = \frac{2}{3}N_0 = \frac{3}{4}N_0$ 의 관계로 나타낼 수 있으며, 여기서 N_0 는 界面의 트랜스미트도, N 는 포물선형 분포에 대한 평균 트랜스미트도이다. 또한 指數函數의 일 分布에 대해서는 $\rho(x) = -eN_0 \exp(-x/x)$, $0 < x < \infty$ 로 가정하면 \bar{x} 는 L 의 작은 부분이므로 ∞ 까지 電荷分布를 확장시킬 수 있으며, 이 경우 $\rho(L) = -eN_0 \exp(-L/x)$ 는 무시할 정도로 작은 값이다. 따라서 $x \rightarrow 0$, $x \rightarrow \infty$ 의 구간사이에서 (9)식의 적분값은 다음과 같이 얻을 수 있다.

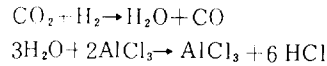
$$N_0' = \frac{C_0 L \Delta V_{FB}}{e \bar{x}^2} \quad (12)$$

이 結果를 식(10)과 비교하면 $N_0' \rightarrow 2N$ 이 되고 트랜스미트도는 주로 두께의 변수에 의하여 결정되며, $10^{18} \sim 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 의 범위가 합리적이라고 생각할 수 있다.

3. 素子の製作

比抵抗이 $4 \sim 6(\Omega \cdot \text{cm})$ 인 n-Si를 基板으로 使用하였다. 試유에 암모니아-과산화수소와 암모니아-염산($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}_2, \text{NH}_3 + \text{HCl}$)으로 이를 세척하였

다. Wafer들을 CVD反應室에 直接넣어서 H_2 와 N_2 gas를 흘려주었다. 다음에 素子들은 光學溫度計로 溫度를 觀察하면서 約 900°C 까지 熱을 가하였다.²⁾ H_2 gas는 1.2l/min 의 흐름율로, AlCl_3 와 CO_2 gas를 각각 0.5l/min 및 0.164l/min 의 율로 흘려준다. AlCl_3 carrier gas는 保溫器를 통하여 $108 \pm 0.25^\circ\text{C}$ 溫度로 하여주고 carrier gas 압력은 2.289Torr 로 하였다. 이러한 CVD 장치에서 AlCl_3 는 0.0132% CO_2 는 1.44% 분포율로 하여 $\text{CO}_2/\text{AlCl}_3$ 율은 $1.44/0.0132 = 109$ 로 하였다. Deposition의 과정에서 생기는 基本的인 反應은 다음과 같다.²⁾



450\AA 두께의 酸化膜이 형성되는데 約 330sec 의 침전시간이 걸린다. 침전이 끝난후 溫度를 H_2 gas 분위기속에서 200°C 以下로 강하 하였으며 N_2 gas로 바꾸어 흘려보내면서 素子를 常溫狀態로하여 酸化膜의 接觸面에 Al이나 Au의 金屬膜을 증착시켰다. 우리들의 실험에 使用된 素子の 전극은 $200 \sim 1,000 \text{\AA}$ 의 두께를 갖는 Au나 Al이었다. 이점측들의 작은 원형점(dot) 직경은 대략 $500 \mu\text{m}$ 와 $1000 \mu\text{m}$ 인 것으로 진공증착법을 이용하여 金屬을 입힌것이다. 本實驗에서는 주로 450\AA 크기의 Al_2O_3 박막을 使用하였다. 이때 酸化膜 두께를 나노스코프(nano scope)로 결정하였고, 450\AA 酸化膜 測定에서 約 2% 정도의 오차가 있었다. 이때 酸化物의 比誘電常數는 高周波의 蓄積酸化物容量과 dot 직경을 측정하여 계산한다.

$$C_s = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{L} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 \left(\frac{\pi}{4} d^2 \right)}{L}$$

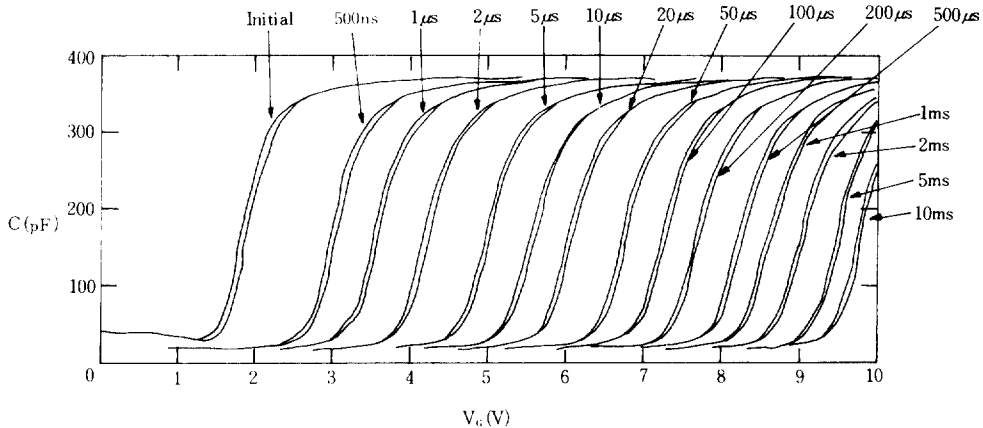


그림 2. Al-(450Å) Al₂O₃-(n)Si 에 +25[V] bias 상태의 C-V 曲線에 대한 時間的인 變化(素子面積 : $2 \times 10^{-3} \text{cm}^2$)
 Fig. 2. Time evolution of C-V curve for Al-(450 Å) Al₂O₃-(n)Si sample under +25[V] bias. Area; $2 \times 10^{-3} \text{cm}^2$

여기서, C_0 는 용량, ϵ_{ox} 는 8.5~10.5 범위의 값이고 初期의 flat-band 電壓과 界面狀態密度는 Lebovich의 測定法¹²에 의해 測定된다. 初期定量的 負의 固定電荷에 따라 flat-band 電壓이 일반적으로 1~2[V]이고 界面狀態 밀도는 10^{11}cm^{-2} 정도의 크기이다.

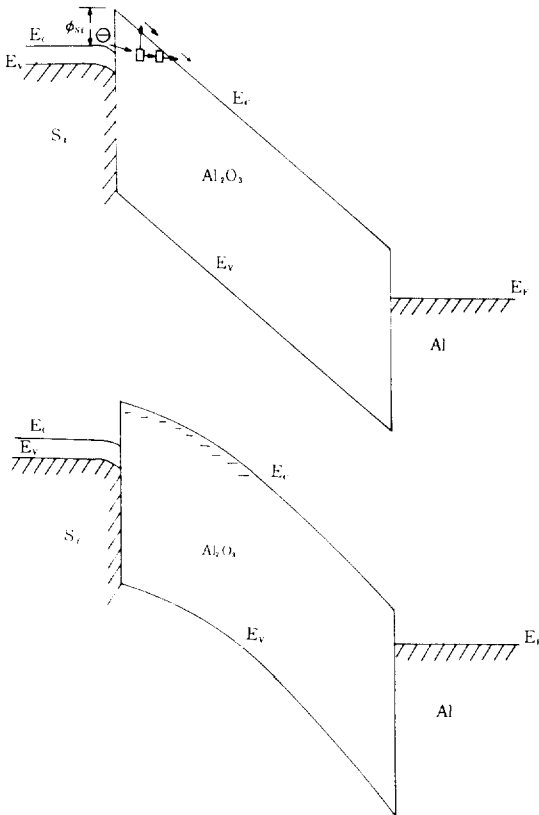


그림 3. n-Si의 正bias에서 주입과 트랩을 나타내는 밴드 diagram (a) Si의 전도대로 부터 電子들의 酸化膜內에 트랩으로 터널링 하므로서 주입된다. (혹은 酸化膜 전도대로 터널링하여 트랩된다), (b) 트랩된 電子들로 인해 밴드가 휘어지고, 正flat-band shift가 이루어진다.

Fig. 3. Band diagrams illustrating injection and trapping under positive bias on n-Si (a) electrons are injected by tunneling from conduction band to traps in oxide (or tunnel to oxide conduction band and then are trapped). (b) trapped electrons bend bands and cause positive flat-band shift.

4. 測定結果 및 考察

4.1 測定結果

酸化膜內的 電荷트랩은 C-V 曲線의 時間的인 變化로 부터 觀察할 수 있다. 電荷트랩상태를 나타내는 ΔV_{FB} (flat-band shift)는 酸化膜內 單位面積當 트랩된 電荷量(Q_T)에 따라 V_{FB} 의 狀態가 달라진다고 생각할 수 있다. 이에 대한 實驗過程은 다음과 같다. 그림 2는 25[V]로 bias된 Al₂O₃/n-Si 素子の C-V 特性에 대한 時間的인 變化를 나타내었다. 가장 왼쪽에 나타나 있는 初期狀態(t=0)의 曲線에서 부터 酸化膜內에 負電荷量의 增加에 따라 경과時間이 길어질 수록 曲線은 右側으로 점차 이동되고 있다.^{6,10} 이에 대한 밴드모형을 그림 3에 나타내었다.⁸

그림에서 n형 Si으로 부터 電子들은 酸化膜속으로 注入됨을 알 수 있고, 트랩된 電子들에 따라 ΔV_{FB} 가 나타난다. 電子들이 酸化膜을 直接터널링하거나 carrier 트랩핑에 의하여 酸化膜傳導帶內로 注入하여 터널링(trap-assisted tunnelling) 되는 것으로 생각된다.⁷ Al-Al₂O₃-(n)Si의 素子에 正bias된 電壓에 따라 경과시간에 따른 ΔV_{FB} 의 變化를 그림 4에 나타내었다. 印加된 電壓이 15~22.5[V] 범위에서는 曲線들의 경사가 거의 같고 22.5[V] 이상에서는 曲線의 기울기가 印加電壓에 따라 증가하고 있다.

이들의 特性曲線을 3가지 注入영역으로 나누어 보면 ①, subthreshold 영역 (대략 bias 15V 이하영역) ②, $\Delta V_{FB} \propto \log t$ 인 threshold 以上の 영역 (대략 bias 15V 以上の 비례영역) ③, ②의 경우와는 다른 主입기구를 구성하는 高電界영역 (대략 bias 23V 이상

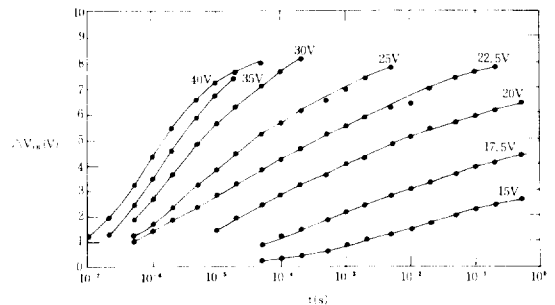


그림 4. 正電壓을 印加한 Al-(450Å)Al₂O₃-(n)Si 에 대한 t와 ΔV_{FB} 관계 (t는 注入시간)

Fig. 4. Flat-band shift vs $\log t$ for Al-(450Å)Al₂O₃-(n)Si with positive applied voltage as a parameter (the time is injection time)

영역) 등으로 고려할 수 있다. 그림 5는 注入時間을 10⁴(s)까지 고려하여 正bias시킨 경우에 대한 ΔV_{FB} 를 나타낸 것이다. 이 곡선들은 서로 거의 평행하게 나타나고 있으며, ΔV_{FB} 차이를 나타내는 특성곡선사이의 간격도 거의 같게 이루어지고 있어 10⁴(s)까지는 뚜렷한 ΔV_{FB} 의 포화상태가 없다. 金屬의 종류에 따른 特性變化를 고찰하기 위하여 Al 대신 Au를 증착한 素子를 製作하였으며 그 特性을 그림 6에 나타 내었다. 그림 6과 그림 5을 비교하여 볼 때 正bias 특성곡선에 있어서 거의 差異가 없어 電極에 無關함을 알 수 있으므로 이는 正bias에 대한 酸化膜의 電荷는 Si부터 注入되는 電子에 의

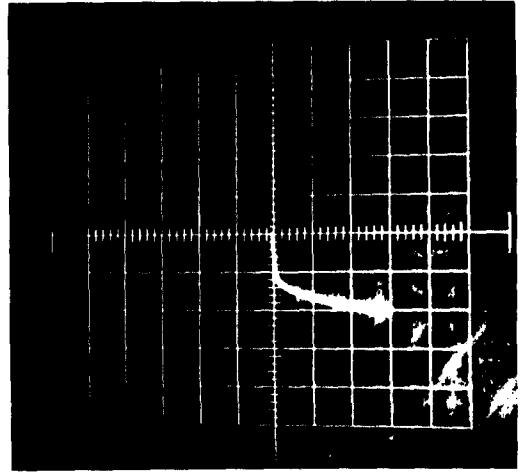


그림 7. Al-(450Å)Al₂O₃-Si(n)에 V₀=30(V)을 加했을 때의 電流파형. 면적: 2×10⁻³cm². 수직축: 5mA/cm, 수평축: 5μs/cm.

Fig. 7. Current wave form for V₀=30(V) an Al-(450Å)Al₂O₃-Si(n). Area: 2.0×10⁻³cm². Vertical 5mA/cm, Horizontal 5μs/cm.

해 構成된다는 사실을 입증해주고 있다. 한편 그림 7에는 素子에 正의 계대상電壓을 印加한 後の 電流흐름상태를 나타냈다.

이 특성으로부터 電流는 앞에서 언급된 바와 같이 트랩핑효과에 의하여 t=0後에 갑자기 감소됨을 알 수 있다.

t=0에서 界面電界는 印加電壓으로 부터 계산될 수 있고, 트랩들이 部分的으로 채워질때 그 상황은 界面電界가 트랩충전 効果의 影響을 받는 가운데 注入電流는 界面電界와 界面부근에서의 트랩 점유기 간등에 대한 函數關係로 나타나므로 매우 복잡한 양상이 된다. 또한 電子들이 熱的運動에 의해 트랩과 트랩사이를 hopping하기 때문에 溫度에 대한 의존성도 매우 복잡하게 연관되어 있다. 이와 같은 다양한 變化에 의한 複雜性을 제거하고 보다 근사화된 상태에서 注入過程을 고찰하기 위해 荷電되지 않은 素子의 실온상태에서의 I-V 특성을 측정한 結果를 그림 8에 나타냈다.

이 그림에서 電流密度的 初期值들을 종축에 나타내 있으며 그림의 3~9(MV/cm) 電界에 대한 10⁻¹~10²(A/cm²)범위에 대한 結果는 熱的으로 成長된 SiO₂의 素子에 필드電壓을 加하여 얻은 Avron의 結

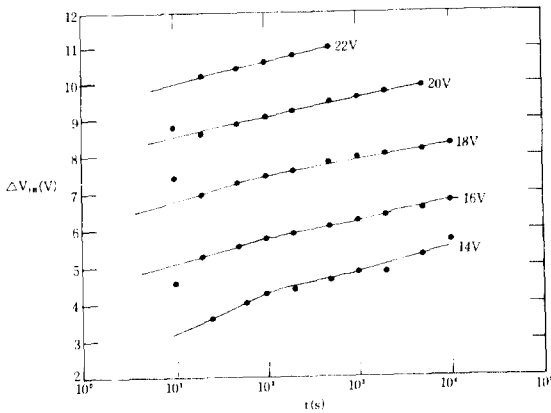


그림 5. 正電壓을 印加한 Al-(475Å)Al₂O₃-Si(n)에 있어서 log t와 ΔV_{FB} 의 관계

Fig. 5. Flat-band voltage shift vs log t for Al-(475Å)Al₂O₃-Si(n) with positive applied voltage as a parameter.

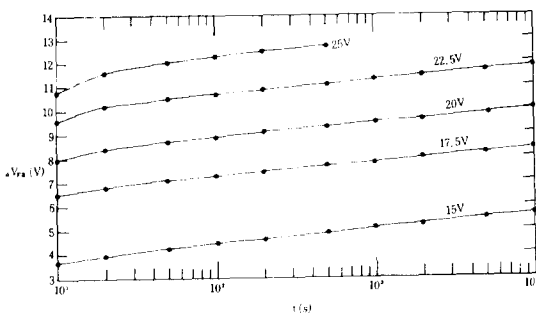


그림 6. Au-(540Å)Al₂O₃-Si(n)에 正電壓을 印加할 때의 log t에 대한 ΔV_{FB}

Fig. 6. Flat-band voltage shift vs log t for Au-(540Å)Al₂O₃-Si(n) with positive applied voltage as a parameter.

빛과 비교하여 보면 대략 9~11 (MV/cm)에서 10^{-4} ~ 10^0 (A/cm²) 정도의 차이가 나타나고 있다.⁸⁾ 이러한 현상은 두 材料間에 注入過程의 相違性을 반영해주는 것으로 볼 수 있다. Si에서 SiO₂의 전도대로 直接터널링하는 과정과 Al₂O₃에서 보다 쉽게 트랩되는 메카니즘과는 대조가 된다. 한편 그림 9 에는 10³ sec 까지의 電流흐름 상태를 나타내었으며 이 값들은 그림 8 에 나타난 初期電流보다는 작아지고 있다. 이러한 현상은 電氣傳導特性에 있어서 初期에 트랩핑이 강하게 作用하고 그後에 트랩밀도상태가 변함으로 감자기 弱해지는 것으로 생각되며, 트랩점유와 溫度는 이러한 過程에서 重要的 역할을 한다고 본다.

4.2 測定結果에 대한 考察

Al₂O₃의 傳導메카니즘은 I-V關係를 觀察함으

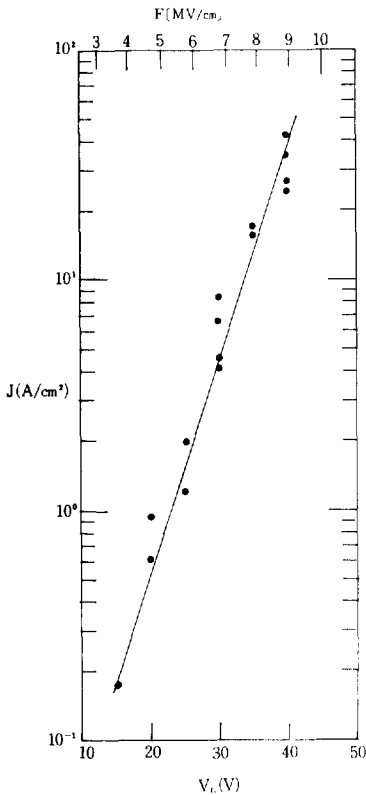


그림 8. Al-(450Å) Al₂O₃-Si(n)에 印加한 正bias 에 대한 初期電流密度. 素子面積 : 2.0 × 10⁻³ cm²

Fig. 8. Initial current density vs applied positive bias on Al-(450Å) Al₂O₃-Si(n) Area : 2.0 × 10⁻³ cm².

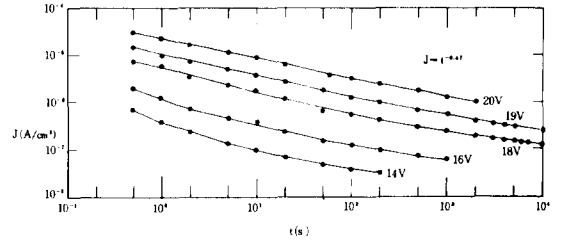


그림 9. Al-(450Å) Al₂O₃-Si(n)에 正bias 상태에서의 log t와 log J 관계

Fig. 9. log J vs log t for positive bias on Al-(450Å) Al₂O₃-Si(n). Area : 2.0 × 10⁻³ cm².

로써 쉽게 알 수 있으며 그림 8 에 高電界 범위내에서 I-V 특성을 이미 나타낸 바 있다. 많은 量의 電荷가 트랩핑되어 이 트랩핑된 電荷가 結연체에서의 電界分布를 變化시킬 경우 I-V 曲線의 測定에 많은 問題點이 노출되며 이러한 경우에는 注入界面에서의 電界를 精確히 파악할 수 없고, 印加電壓을 結연체 두께에 대한 平均電界로서 高찰할 수 있다.⁹⁾ 충전현상에 따라 電流는 어느특정 印加電壓에 대한 時間의 函數關係로 나타나지만 모든 트랩들이 비었을 때 初期電流를 測定하면 그때 印加된 電界는 界面電界와 같게 될 것이다. 이 方法이 本論에서 活用한 實驗的인 方法이다. Walden에 의하여 제안된 다른 方法은 時間에 대한 flat-band 電壓 (V_{FB})의 變化特性으로부터 間接的으로 初期電流를 求하여 Si 界面에서 注入特性을 나타내는 有用한 方法中的 하나이다. 그러므로 n-Si에 正bias 인 경우에 대해 Walden 方法에 의한 解析結果와 本論에서 實驗的으로 求한 I-V 曲線을 比較하여 考察하기로 한다.

우선 Walden 方法을 간단히 요약하기 위해 몇가지 가정을 하면 다음과 같다.¹⁰⁾ (1) 金屬-半導體의 일 函數差와 表面狀態電荷를 무시한다. (2) 트랩된 電荷의 平均中心거리 x에 대한 時間의 의존성은 트랩된 全電荷量 Q_T(t)에 대한 時間의 의존성에 비하여 무시한다. (3) 트랩된 電荷의 순간적인 變化 dQ_T/dt는 電流密度에 대한 간단한 函數關係로 취한다. 즉, dQ_T/dt = (J/J₀)ⁿ⁻¹, n > 1 이고, Q_T는 界面을 통과한 全電荷量, J₀는 初期電流密度, n은 트랩되는 程度를 특성화한 定數로서 印加電界와 溫度에 의존한다. 그리고 t = 0에서 dQ_T/dt|_{t=0} = (J₀/J₀)ⁿ⁻¹ = 1 이 되며, 이것은 完全한 트랩핑을 표시하고, J(t) ≤ J₀ 일때 dQ_T/dt ≤ 1로 된다. (4) I-V 關係에 있어서는 다음과 같은 一般的인 式으로 나타낼 수 있다.¹¹⁾

$$(470)$$

$$J(F_s) = J_0(F_s) \exp[f(F_s)], \quad (13)$$

여기서 F_s 는 界面的 電界, $J_0(F_s)$ 와 $f(F_s)$ 는 F_s 에 따라 $\exp[f(F_s)]$ 보다 서서히 變하는 函數關係이므로 다음과 같은 式으로 근사화되고 있다.³⁾ 즉,

$$\ln(1+t/t_0) = n[f(F_s(o)) - f(F_s(t))], \quad (14)$$

여기서 $t_0 = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 L}{n \bar{x} J_1} \frac{1}{df(F_s)/dF_s} \Big|_{F_s=F_s(o)=V_B/L}$ 이다. (5) J_1 을 실험식으로 나타내면

$$J_1 = \frac{m \epsilon_r \epsilon_0}{a' t_0^2 L} \quad (15)$$

이 되며, 여기서 m 과 t_0 는 $\log t$ 와 ΔV_{FB} 의 特性曲線의 線型部分에서 외삽법으로 決定되는 기울기와 軸과의 교차점이고 또한 $a' = ax/L$ 이며, a 는 傳導機構에 의존하는 상수로써 一般的으로 $1 < a < 2$, $0.5 < \frac{x}{L} < 1$,의 범위에서 定해진다. 式(15)와 그림 4을

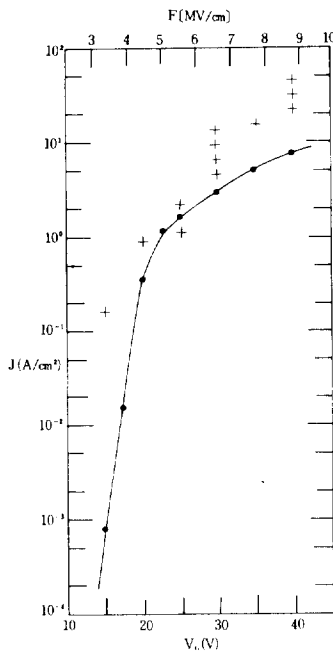


그림 10. Al-(450Å)Al₂O₃-Si(n)의 初期正bias의 I-V 특성. 素子面積: 2.010⁻³cm²
●: Walden 方法에 의한 계산값.
+: 직접 측정된 값(그림 8 참조)

Fig. 10. Initial positive bias I-V characteristics of Al-(450Å)Al₂O₃-Si(n) samples. Area: 2×10⁻³cm²
●: calculated by walden method.
+: measured directly(sec Fig8)

利用하여 그림 8의 측정결과를 얻는데 利用했던 Al-(450Å)Al₂O₃-Si(n)에 대하여 Walden 方法에 의한 계산결과를 $a'=0.5$ 인 경우에 그림 10에서 나타내었다. 그림 10의 Walden 方法에 의한 特性曲線을 考察하여 볼때 V_c 에 대한 電流密度 J의 變化가 급진적으로 增加하는 低電界영역과 그변화양상이 둔화되어 서서히 增加하는 高電界영역으로 나누어지고 있음을 알 수 있다. 그리고 F^2 에 대한 $\log J$ 變化狀態를 나타낸 그림 11을 살펴 볼때 高電界領域에서는 直線的인 關係가 얻어지고 있음을 알 수 있다. 그림 10과 그림 11에서 曲線의 變化率과 高電界 및 低電界의 境界領域을 알 수 있으며 이들關係를 實驗式으로 나타 내면 다음과 같다.

$$J_{LF} = J_{LF}(0) \exp(F/F_c), \quad F \leq 4.5 \text{ MV/cm}, \quad (16)$$

$$(J_{LF}(0) = 1.0 \times 10^{-11} \text{ A/cm}^2, \quad F_c = 1.8 \times 10^5 \text{ V/cm})$$

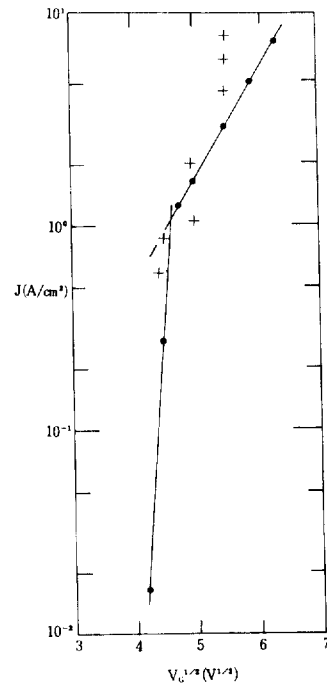


그림 11. V_d 와 $\log J$ 關係에서 그림 10의 初期正bias I-V 특성.
●: walden 方法에 의한 계산치.
+: 직접 측정된 값(그림 8 참조)

Fig. 11. Initial positive-bias I-V characteristics of Fig.10, plotted as $\log J$ vs V_{d1}
●: calculated by log walden method,
+: measured directly (sec Fig8)

$$J_{HF} = J_{HF}(0) \exp\left\{ \left(F/F_c \right)^{1/2} \right\}, F \geq 4.5 \text{ MV/cm}$$

$$(J_{HF}(0) = 5.8 \times 10^{-3} \text{ A/cm}^2; F_c = 1.7 \times 10^5 \text{ V/cm})$$

(17)

이들식으로 부터의 結果에 있어서 F_c 에 대한 낮은 低電界의 結果들은 $F_c = 1.4 \times 10^5 \text{ V/cm}$ 이고, Si 위에 Al_2O_3 膜의 두께가 1035\AA 인 경우에 대하여 Walden 方法에 의한 計算결과와 잘부합되고 있다. 그러나 Walden은 $J_{HF}(0)$ 에 대해서는, $J_{HF}(0) = 6.1 \times 10^{-3} \text{ A/cm}^2$ 의 값을 얻은 것으로 되어있다. 우리가 實驗的으로 測定한 電流密度값이 거의 Walden 方法에 의한 特性曲線과 잘부합되고 있다. 한편 I-V 特性曲線의 실제 기울기는 더 클 수도 있으므로 F_c 는 本論文의 값보다 작은 것으로 생각된다. I-t 特性變化率(그림9)을 Walden과 Kampshoff등에 의해 얻어진 特性들과¹³⁾ 비교하면 일반적으로 $J(t) \propto t^{-n}$ 로 나타낼 수 있으며 여기에 n 은 파라미터로서 Walden은 n-Si에 正bias를 印加한 경우 $\frac{1}{n} = 0.5$ 값을 얻었고 이는 本論文에서 얻은 結果 $\frac{1}{n} = 0.47$ (그림 9 참조)와 잘 비교가 된다.

5. 結 論

本論文에서는 MOS素子の gate 絶緣膜로서 活用되고 있는 종래의 SiO_2 보다 이온성 電氣傳導에 대한 優秀한 抵抗効果와 radiation hardness에 관한 優秀性 및 낮은 threshold의 電壓 MOSFET 등에 대한 실현가능성에 대해 Al_2O_3 膜에서 그性能의 優秀性이 認定되고 있다. 電氣的인 特性을 좀더 면밀히 검토하여 그 活用性を 제시하여 보고 金屬-Al₂O₃-Si로 構成된 MOS 構造에 있어서의 高電界 注入 효과와 carrier 트랩핑 현상을 관찰하여 보았다. gate 절연체로써 Al_2O_3 膜이 活用될 경우 主要問題點은 酸化膜内の 電子트랩핑 효과에 의해 야기되는 V_{FB} 의 不安定性을 나타내고 있다. 따라서 本論文에서는 荷電粒子的 注入과 트랩핑에 關한 메카니즘을 조사한 결과 다음 몇가지 結論을 얻을 수 있었다.

- i) 1~2(MV/cm) 程度の 낮은 電界에서 ΔV_{FB} 을 나타내는 電子注入과 트랩핑이 발생한다.
- ii) 트랩핑되는 電子들의 中心點 位置를 구하는 大략적인 方法을 제시했다.
- iii) 관찰한 電流密度는 熱的으로 成長된 SiO_2 의 그것 보다 훨씬크다.

이와 같이 박막인 Al_2O_3 膜 特性을 관찰하여 박막의 活用性を 모색코자 하였다.

참 고 문 헌

- 1) M. T. Duffy et al, "Interface Properties of Si-(SiO₂)-Al₂O₃ Structures", RCA Laboratories, Princeton, New Jersey. pp. 372~377. 1970.
- 2) J. KOLK and E. L. HEASELL, "A Study of Charge Trapping in the Al-Al₂O₃-Si, MIS System", Electrical Engineering Department. University of Waterloo, pp. 101~107, 1979.
- 3) R. H. Walden, "A method for the Determination of High-Field Conduction Laws in Insulating Films in the Presence of Charge Trapping", J. Appl. Phys. 43. 1178. 1972.
- 4) David J. Elliott, "Integrated Circuit Fabrication Technology", McGraw-Hill Book Company, pp. 101~124.
- 5) M. Lenzlinger et al, "Fowler-Nordheim Tunneling into Thermally Grown SiO₂", J. Appl. Physics. 40. pp. 278~281. 1969.
- 6) Karl H. Zaininger. et al, "Radiation Resistance of Al₂O₃ MOS Devices", IEEE Trans on Electr. Devices. ED-16. 4. p. 333. 1969.
- 7) 成萬永, 朴永鐘, "CVD Al₂O₃ 內에 初期符電粒子的 注入에 關한 解析", 電氣學會誌 32(8), p. 22. 1983.
- 8) 成萬永 外 2人, "Al Implantation 結果로서 SiO₂內의 電子트랩핑 效果에 關한 考察", 電氣學會誌, 31(8), p. 52. 1982.
- 9) Hülya, Birey "Thickness Dependence of the Dielectric Constant and Resistance of Al₂O₃ Films". J. Appl. phys 48(12). Decem p. 4209. 1977.
- 10) Toshio Tanaka et al, "The Characteristics of Al-Al₂O₃-Si Structures Formed by Reactive Sputtering", Japen J. Phys 7. 1420 1968.
- 11) P. Solomon, "High-field electron trapping in SiO₂". J. ApL. Phys. Vol. 48. No. 9, September 3943. 1977.
- 12) E. H. Nicollian et al, "MOS Physics and Technology", Bell Laboratories Murray Hill. New Jersey. pp. 190~200. 1982.
- 13) R. H. Walden and R. J. Strain, "Conduction in films of Pyrolytic Al₂O₃," the Eighth Annual proceeding on Reliability phys. 1970.