

論文 90-27-7-8

Doping된 Si 半導體의 界面構造와 活性化過程

(Interfacial Structures and Activation Processes
of Doped Si Semiconductors)

千 長 鎬*

(Jang Ho Chun)

要 約

正常的으로 도핑된 半導體 界面에서 電氣의 中性條件을 根據하여 電荷關係近似式을 定性的으로 誘導하였다. 循環 電壓方法을 使用하여 p形 및 n形 Si/CsNO₃ 水性 電解質, p形 Si/(1HF:3HNO₃:6H₂O) 電解質 溶液 界面에서 이온 吸着效果, 活性化過程, 界面構造, 整流現象, 表面 電位障壁效果등을 研究 調查하였다. 空間電荷는 pn接合構造, 整流形, 活性化過程에서 가장 重要的 役割을 한다. 電流-電壓 (I-V)特性曲線은 活性化過程中 Helmholtz 二重層 形成과 緩行表面準位 充電에 큰 영향을 받았다. p形 Si/(1HF:3HNO₃:6H₂O) 電解質 界面에서 線形 電流-電壓特性 領域이 觀測 되었다.

Abstract

The approximations of charge relationships at normally doped semiconductor interfaces were qualitatively derived basis on electrical neutrality conditions. Effects of ion adsorptions, activation processes, interfacial structures, rectifying phenomena, and effects of surface potential barriers at the p- and n-Si/CsNO₃ aqueous electrolytes, and the p-Si/(1HF:3HNO₃:6H₂O) electrolyte solutions were investigated using a cyclic voltammetric method. The space charge acts the most important role for the pn junction structures, the rectifying phenomena, and the activation processes. The Current-Voltage (I-V) characteristic curves significantly depend on developing of the Helmholtz double layers and charging of the slow surface states during the activation processes. A linear Current-Voltage characteristic region was observed at the p-Si/(1HF:3HNO₃:6H₂O) electrolyte solution interfaces.

I. 序 論

도핑된 半導體-電解質 界面에서 電氣物理的 現象은 電氣二重層 構造를 가지는 電子素子和 MIS(Metal

Insulator Silicon) 極小電子工學 技術開發에 重要的 課題가 되어 왔다.^[1-4] 界面에서 整流現象과 活性化過程의 理解는 界面構造, 즉 도핑된 半導體內的 多數搬送子 枯渴(空乏)과 이온화된 不純物(dopant)에 의한 空間電荷層, 表面 結晶格子原子的 不規則的인 配列 또는 缺陷에 起因한 急行表面準位(fast surface states), 電解質로부터 半導體 界面에 吸着된 이온에 起因한 緩行表面準位(slow surface states), 半導體 表面에 吸着된 이온層으로 構成된 Helmholtz 二重層,

*正會員, 光云大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Kwangwoon Univ.)

接受日字: 1990年 4月 26日

(※本 研究는 韓國科學財團 1990年度 一般基礎研究 費 支援으로 遂行되었음.)

靜電氣의으로 誘導된 擴散分布이온에 의한 擴散二重層의 特徵과 分布電荷關係를 正確히 알아야만 가능하다. 그러나 半導體-電解質 界面에서는 半導體-半導體 pn 接合 또는 半導體-眞空 界面과는 달리 半導體와 電解質의 種類에 따라 多樣하고도 複合的인 活性化過程이 進行되므로 定量的인 解析은 勿論, 定性的인 模型과 解析도 자주 研究報告 되지 않고 있다고 판단된다.¹⁵⁾ 一般的으로 半導體-電解質 界面에서 活性化過程은 이온의 漂移(migration), 吸着(adsorption), 分離(desorption) 現象에 關한 一連의 過程을 總稱한다. 反面에 半導體-眞空 界面에서 活性化過程은 半導體 表面에 吸着되어지는 이온 또는 原子의 分布 및 程度에 따라 變化하는 일函數에 相應하는 電位障壁 減少效果和 量子效率增加에 局限하고 있으며 光電極 또는 NEA(Negative Electron Affinity) 素子は 그 代表的인 應用例가 된다.^{16,17)} 따라서 半導體-電解質界面에서 活性化過程은 보다 包括的인 內容, 卽 이온의 吸着, 蓄積, 分離過程을 正確하게 可視화 시켜야하는 어려움이 있다.

本 論文에서는 半導體-電解質界面에서 活性化過程에 近似하게 適用할 수 있는 界面電荷關係式을 定性的으로 誘導한 後, p形 및 n形 Si 半導體-電解質界面의 構造와 活性化過程을 比較 考察하기 쉬운 CsNO₃ 水性 電解質과 (1HF:3HNO₃:6H₂O) 電解質 溶液을 選定하여 界面現象을 研究 調查하였다. 電氣物理化學의 現象에 相應하는 電流-電壓(I-V) 特性變化는 連續循環電壓(Continuous Cyclic Voltammetric) 方法으로 測定하여 電氣物理的 觀點에서 定性的 解析을 하였다.

II. 界面構造와 電荷關係 近似式

正常的으로 도핑된 半導體-電解質 界面 構造는 序論에서 言及한 것처럼 空間電荷層, 急行 및 緩行 表面準位, Helmholtz 二重層, 擴散二重層으로 이루어져 있으나 그 크기가 數 Å 또는 μ單位이므로 明確한 境界區分은 不可能하다. 따라서 平衡狀態일때 界面의 電氣的 中性條件을 利用하는 것이 簡便하며 空間電荷(Q_{sc}), 表面電荷(Q_{ss}), 이온電荷(Q_{el})는 다음과 같은 電荷關係式을 滿足시켜야 한다.

$$Q_{sc} + Q_{ss} + Q_{el} = 0 \quad (1)$$

$$Q_{ss} = Q_{ssr} + Q_{sss} \quad (2)$$

$$Q_{el} = Q_{elh} + Q_{eld} \quad (3)$$

여기서 Q_{ssr}는 急行表面準位內에 捕獲(充電)된 搬送子에 의한 表面電荷, Q_{sss}는 緩行表面準位內에 捕

獲(充電)된 搬送子에 의한 表面電荷, Q_{elh}는 Helmholtz 二重層內의 이온電荷, Q_{eld}는 擴散二重層內에 靜電氣의으로 誘導分布 되어 있는 이온電荷를 各各 나타낸다. 多數搬送子の 枯渴過程과 이온化된 不純物에 의한 空間電荷層 및 空間電荷 形成過程을 考慮하면 急行表面準位內의 捕獲된 搬送子は 多數搬送子로 推定할 수 있다. 또한 電解質쪽에서의 이온 移動度(∼10⁻³ cm²/V·s)와 擴散係數(∼10⁻⁶ cm²/s), 緩行表面準位の 弛緩時間(數分-時間)을 考慮하면^{18,19)} 電解質과 接觸하는 瞬間의 初期段階일때, 界面電荷關係式(1)은 다음과 같은 近似式으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Q_{sc} + Q_{ssr} &\approx 0 \\ \text{또는 } Q_{sc} &\approx -Q_{ssr} \end{aligned} \quad (4)$$

界面電荷 近似式(4)로 表示되는 電荷關係 및 構造는 半導體-電解質 界面에서도 半導體-金屬接合 界面(Schottky diode)과 같은 整流現象이 있음은 勿論, 相對的으로 큰 急行表面準位 役割과 效果를 豫測할 수 있다. 反面에 緩行表面準位の 弛緩時間보다 充分히 긴 時間이 경과한 경우, 緩行表面準位內에 捕獲된 搬送子에 의한 表面電荷(Q_{sss})는 Helmholtz 二重層內에 吸着된 이온電荷(Q_{elh})에 의하여 電氣的으로 遮蔽된다. 靜電氣의 吸引力에 의한 物理的 吸着일 경우, Q_{sss}와 Q_{elh}는 異符號 電荷로서 半導體 表面에서 電氣的으로 中性인 原子, 分子, 또는 donor-acceptor 結合形態로 存在해야만 한다. 이러한 假定은 吸着過程이 進行됨에 따라 表面 傳導도가 減少하는 實驗的 結果로¹⁰⁾ 뒷받침 될 수 있으며 電位障壁의 效果로 나타날 것이다. 따라서 急行表面準位密度(≤10⁹/cm²)보다 큰 緩行表面準位密度(≥10¹³/cm²)와 짧은 急行表面準位の 弛緩時間(10⁻⁸ - 10⁻³sec)을 考慮하면,¹⁸⁾ 最終段階일때 Q_{ssr}는 電荷關係式으로부터 省略할 수 있으므로 式(1)은 다음과 같은 近似式으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Q_{sc} + Q_{sss} + Q_{elh} + Q_{eld} &\approx 0 \\ \text{또는 } (Q_{sc} + Q_{sss}) &\approx -(Q_{elh} + Q_{eld}) \end{aligned} \quad (5)$$

近似式(5)를 近似式(4)에 比較하면 增加된 界面電荷는 表面電位障壁效果로 나타나 界面通過電流를 보다 減少시키는 要因으로 作用할 것이다. 近似式(4)는 이온의 分離 또는 表面分解過程에도 適用할 수 있다고 思慮된다. 그 이유는 表面電位障壁效果를 나타나게 하는 이온의 吸着結合過程은 正常的인 表面分解 및 이온分離 過程에 의하여 끊임없이 除去되기 때문이다. 換言하면 Q_{sss}와 Q_{elh}에 의한 吸着結合, Helmholtz 二重層, 緩行表面準位는 消滅되어 그에따

은 表面電位障壁效果는 더 이상 維持되지 아니하므로 電位障壁의 減少는 勿論, 表面電荷效果는 急行表面準位에 依하여 決定된다. 아울러 分解(decomposition)된 半導體電極 表面原子的 이온화 現象까지 있게되면 電解質內的 이온濃度 增加에 起因하여 界面通過電流는 더욱 커질 것이다. 正常的인 物理的 吸着으로서 近似式(5)에 相應하는 acceptor 緩行表面準位를 갖는 p形 半導體와 donor 緩行表面準位를 갖는 n形 半導體 界面의 에너지帶와 電氣二重層 構造는 各各 그림 1(a)와 (b)에 圖示되어 있다.

그림 1에서 緩行表面準位는 半導體表面 酸化膜의 有無에 큰 影響없이 형성될 수 있으므로^[11] 酸化膜은 省略 하였으며 E_c 는 傳導帶에서 가장 낮은 에너지準位, E_f 는 Fermi準位, E_v 는 價電帶에서 가장 높은 에너지準位를 나타낸다. 界面에서의 半導體 酸化膜

形成은 不可避한 現象으로 界面通過電流를 減少시키는 要因이된다. 그러나 初期段階, 이온 分離 및 表面分解 過程에서는 酸化膜의 形成과 그效果를 無視할 수 있다.

III. 實驗結果 및 考察

1. 半導體 電極 및 測定

Acceptor 不純物(Boron: $2.0 \times 10^{15}/\text{cm}^3$)로 도핑된 Si單結晶(100)을 p形 Si半導體 電極 試料로, donor 不純物(Phosphorus: $2.3 \times 10^{15}/\text{cm}^3$)로 도핑된 Si單結晶(100)을 n形 Si半導體 電極 試料로 各各 使用하였다. 各各의 半導體試料는 室溫의 (1HF:3HNO₃) 蝕刻 溶液內에서 2分間 蝕刻하여 純粹한 表面을 準備하였다. 抵抗性 接觸은 In을 使用하여 만들었으며 電解質과 直接 接觸할 半導體 電極表面을 除外한 各各 部分은 絶綠性 epoxy 시멘트로 二重密封 하였다. 製作된 p形 및 n形 Si 半導體 電極表面積은 各各 0.11cm²와 0.18cm² 이었다. 電解質로는 Cs⁺ 이온의 吸着效果와^[12,13] p-Si 및 n-Si 半導體表面의 分解作用을 考慮하여 CsNO₃ 水性電解質과(1HF:3HNO₃:6H₂O) 電解質 溶液을 各各 使用 하였다.

모든 測定實驗은 暗室內의 Pyrex 또는 플라스틱 電解槽를 使用하였다. 電極配置는 SCE(Saturated Calomel Electrode)電極을 基準電極^[12,13](RE:Reference Electrode), 白金(Pt)을 相對電極(CE:Counter Electrode), 半導體電極을 일電極(WE:Working Electrode)으로하는 標準三電極 配置 構造를 따랐다.^[12,13] 半導體 일電極의 電位는 美國 PINE社 RDE4電位計를 使用하여 連續循環의으로 인가시켰다. 循環電流-電壓(I-V)特性曲線은 美國 Houston社 2000X-Y 記錄計로 記錄 하였으며 모든 스캔率(scan rate)과 스캔電位(scan potential)는 各各 100mV/s와 -1.0-+1.0V vs. SCE 이었다. 界面에서 光電流-電壓特性은 Si 半導體 에너지 밴드갭(Eg:1.12eV)에 가장 適合한 光源을 考慮하여 美國 Melles Griot社 He-Ne 레이저(6328 Å)를 使用하였다.

2. 實驗結果 및 考察

p-Si 및 n-Si 半導體와 CsNO₃ 水性電解質 界面에서 循環電流-電壓特性 曲線은 各各 그림2, 3, 4에 圖示되어 있으며 界面電荷 近似式(4)와 (5)에서 豫想한 整流現象을 잘 보여 준다.

換言하면 順bias電壓時(pn接合:正電壓 vs. SCE, np接合:負電壓 vs. SCE) 順方向 電流가 흐르며 逆bias 電壓時(pn接合:負電壓 vs. SCE, np接合:正電壓 vs. SCE)電流가 遮斷되어 逆飽和電流(reverse saturation

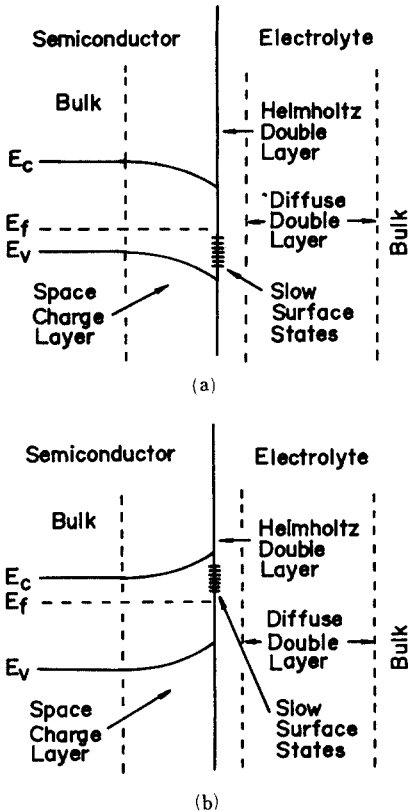


그림 1. 最終段階에서 에너지밴드와 電氣二重層 概略圖 (a) p形 半導體界面 (b) n形 半導體界面

Fig. 1. Schematic energy band diagrams and electrical double layers at the final stage. (a) p-type semiconductor interface, (b) n-type semiconductor interface.

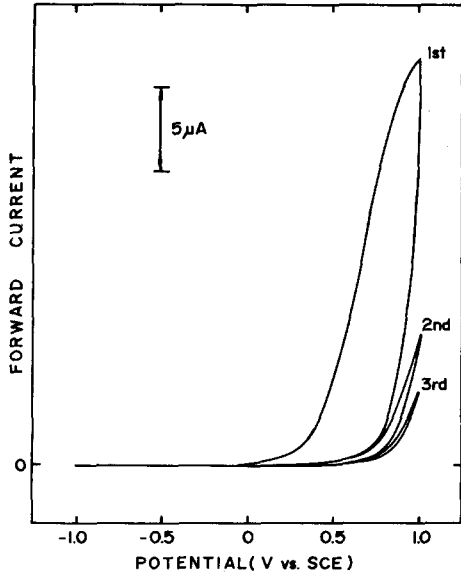


그림 2. p-Si/10⁻² M CsNO₃ 電解質 界面에서 典型的인 暗電流 循環電壓圖. (스캔電位: -1.0 - +1.0V vs. SCE, 스캔率: 100mV/s, 첫번째, 두번째, 세번째 스캔)

Fig. 2. Cyclic voltammograms of a typical dark current at the p-Si/10⁻² M CsNO₃ electrolyte interfaces (scan potential: -1.0 - +1.0V vs. SCE, scan rate: 100mV/s, 1st, 2nd, 3rd scan).

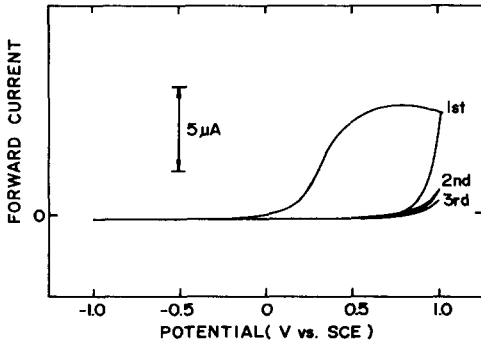


그림 3. p-Si/10⁻² M CsNO₃ 電解質 界面에서 典型的인 暗電流 循環電壓圖(스캔電位: -1.0 - +1.0V vs. SCE, 스캔率: 10mV/s, 첫번째, 두번째, 세번째 스캔)

Fig. 3. Cyclic voltammograms of a typical dark current at the p-Si/10⁻² M CsNO₃ electrolyte interfaces (scan potential: -1.0 - +1.0V vs. SCE, scan rate: 10mV/s, 1st, 2nd, 3rd scan).

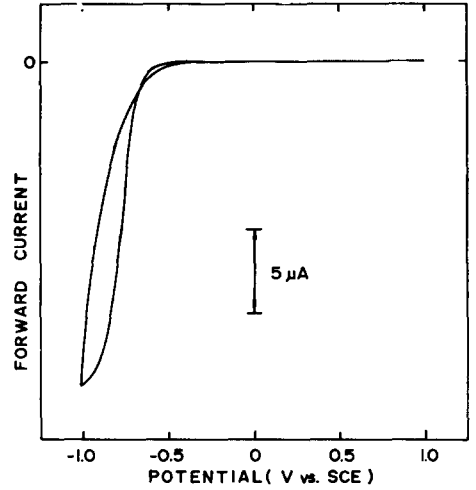


그림 4. n-Si/10⁻² M CsNO₃ 電解質 界面에서 典型的인 暗電流 循環電壓圖(스캔電位: -1.0 - +1.0V vs. SCE, 스캔率: 100mV/s, 다섯번째 스캔)

Fig. 4. Cyclic voltammogram of a typical dark current at the n-Si/10⁻² M CsNO₃ electrolyte interfaces (scan potential: -1.0 - +1.0V vs. SCE, scan rate: 100mV/s, 5th scan).

current)만이 있게 된다. pn 또는 np 接合構造와 整流現象은 電氣的으로 中性인 bulk 領域에서는 나타날 수 없으므로 電氣二重層內에서 Debye 遮蔽效果는^[14]無視할 수 있다. 앞에서 誘導된 近似式 (4), (5)와, 그림 2, 3, 4로 부터 整流現象과 pn 또는 np接合에 따른 整流形은 도핑된 半導體의 空間電荷(多數搬送子 空乏)에 依하여 決定됨을 알 수 있다. 이러한 界面現象은 Colloid半導體 界面現象과는^[15,16] 매우 다르다. 그림 2, 3, 5로부터 最大順方向電流의 急激한 減少現象은 半導體 電極 界面에서의 化學的 過程 보다는 緩行表面準位の 充電에 起因한 電位障壁 增加 때문이라고 推定할 수 있다. 그 理由は 스캔率과 時間에따른 最大順方向電流의 變化가 界面의 電氣的 等價回路 成分中 容量性 充電特性和 같기 때문이다. 또한 現象論理的 觀點에서 볼때, 電解質 또는 溶液쪽에서 觀測되는 이온의 移動度($\sim 10^{-3}$ cm²/V.s), 擴散係數($\sim 10^{-6}$ cm²/s)는 半導體쪽에서 觀測되는 電荷搬送子の 移動度($\sim 10^2$ 또는 $\sim 10^3$ cm²/V.s), 擴散係數(~ 10 cm²/s)에 比하여 매우 낮음도 이러한 事實을 뒷받침해 주고 있다. 그림 5 (또는 그림7)에 圖示된 最大順方向電流는 連續스캔時(-1.0 - +1.0V vs. SCE) 最大順方向

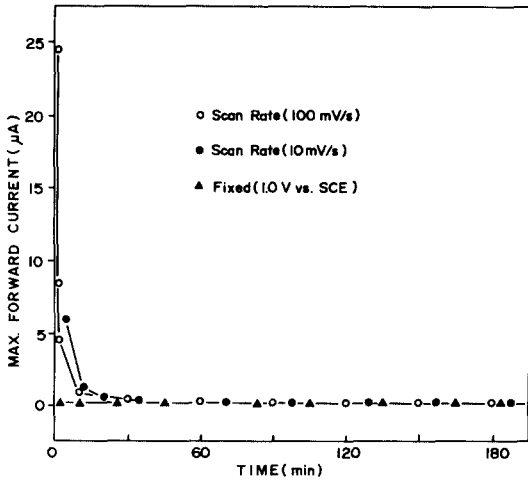


그림 5. p-Si/ 10^{-2} M C_5NO_3 水性 電解質 界面에서 相異한 스캔率에 따른 最大順方向電流 變化
 Fig. 5. Variations of maximum forward currents for different scan rates at the p-Si/ 10^{-2} C_5NO_3 aqueous electrolyte interfaces (scan potential: $-1.0 - +1.0$ V vs. SCE, scan rate: 100mV/s, 10mV/s, fixed).

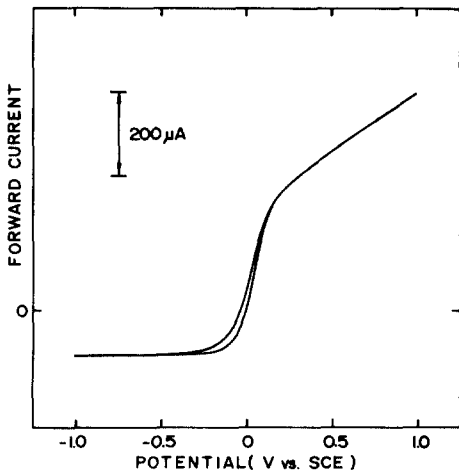


그림 6. p-Si/(1HF:3HNO₃:6H₂O)電解質 溶液 界面에서 典型的인 暗電流 循環電壓圖 (스캔電位: $-1.0 - +1.0$ V vs. SCE, 스캔率: 100mV/s, 連續스캔時間: 120分)
 Fig. 6. Cyclic voltammogram of a typical dark current at the p-Si/(1HF:3HNO₃:6H₂O) electrolyte solution interfaces (scan potential: $-1.0 - +1.0$ V vs. SCE, scan rate: 100mV/s, continuous scan time: 120min).

bias電壓($+1.0$ V vs. SCE)일때 測定된 電流值를 意味한다. 그림 6 은 p-Si半導體와 (1HF:3HNO₃:6H₂O) 電解質 溶液 界面에서 循環電流-電壓(I-V) 特性曲線을 보여준다.

특히 注目되는 特性은 C_5NO_3 水性電解質 界面과는 달리 2個의 電流-電壓特性 領域, 即 準整流領域과 抵抗性領域을 가지고 있는 点이다. 換言하면, 臨界 順bias電壓을 넘게되면 空間電荷層과 電氣二重層을 나타내는 等價電氣回路 成分中の 容量性 成分이 사라지고, 오직 抵抗性 成分만이 있게 된다. 이러한 界面現象은 臨界 順bias 電壓時, 多數搬送子의 擴散과 表面分解 및 分離現象에 依하여 界面構造가 電氣的으로 中性인 bulk 領域構造와 類似하게 變化하기 때문이라고 推定된다. 그림 7 은 p-Si 半導體/電解質 界面에서 最大順方向電流 變化를 보여준다.

C_5NO_3 水性電解質 界面의 경우, C_5^+ 또는 NO_3^- 에 依한 吸着增加와 緩行表面準位の 充電에 의한 表面 電位障壁 增加로 近似式 (5)의 內容이 되며 界面通過 電流는 時間에 따라 減少한다. 따라서 一定한 界面 通過電流를 維持시키기 爲하여는 界面의 吸着結合, 緩行表面準位の 充電, 分極形態의 電氣雙極子 形成 등을 減少 또는 除去 시켜야 한다. 反面에 p-Si 半

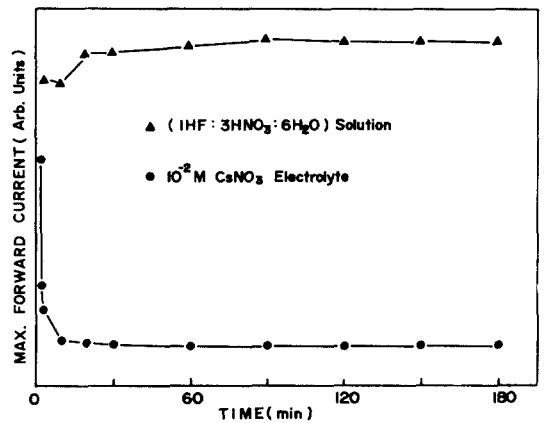


그림 7. 10^{-2} M C_5NO_3 水性 電解質과 (1HF:3HNO₃: 6H₂O) 電解質 溶液에서 p-Si 半導體의 最大順方向 電流變化 (스캔電位: $-1.0 - +1.0$ V vs. SCE, 스캔率: 100mV/s, 連續 스캔)
 Fig. 7. Variations of maximum forward currents of the p-Si semiconductor in the 10^{-2} M C_5NO_3 electrolytes and (1HF:3HNO₃:6H₂O) electrolyte solutions (scan potential: $-1.0 - +1.0$ V vs. SCE, scan rate: 100mV/s, continuously scanned).

導體와 (1HF:3HNO₃:6H₂O)電解質 溶液 界面의 경우는 表面에 吸着된 電解質 溶液 分子에 依한 表面分解와 分離現象이 一連過程으로 進行된다. 따라서 吸着結合, Helmholtz 二重層 崩壞 및 緩行表面準位 減少에 相應하는 表面電位障壁 增加와 減少現象이 順次的으로 있게 되므로 最大順方向電流는 初期段階에서 減少를 했다가는 곧 增加하게 된다. 따라서 近似式(4)의 內容에 보다 接近하게 된다. 이러한 이온의 漂移, 吸着, 分離에 따른 電位障壁 變化는 半導體-眞空界面의 影像電荷(image charge)效果로¹⁷⁾說明 될 수 있다. 끝으로 (1HF:3HNO₃:6H₂O)電解質 溶液 分子에 依한 半導體 表面 吸着結合反應率과 半導體 表面分解 및 分離率이 平衡을 이루게 되면 最大順方向電流는 飽和電流值에 漸近하게 되며 表面分解 및 分離率이 더 크면 界面通過電流는 계속 增加할 것이다. 또한 그림 7로부터 空間電荷層 充電에 起因한 電位障壁效果는 緩行表面準位 充電에 起因한 電位障壁效果에 比較하면 無視할 수 있다. 그 이유는 表面吸着 또는 分解過程 에서도 空間電荷層의 本質과 構造는 緩行表面準位에 比較하여 別다른 影響을 받지 않기 때문이다. 그림 8은 表面分解 및 分離現象이 있을 때 吸着結合過程과는 對照의으로 化學的 反應에 따라 매우 큰 逆飽和電流가 界面을 通過하고 있음을 보여 준다.

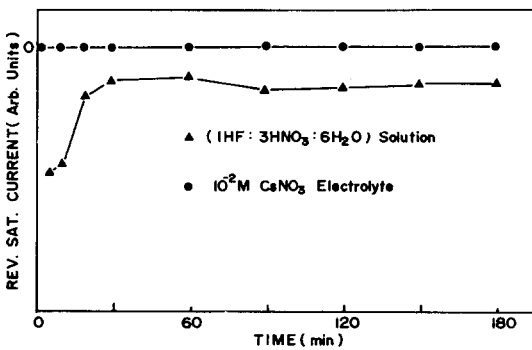


그림 8. 10^{-2} M $CsNO_3$ 水性 電解質과 (1HF:3HNO₃:6H₂O) 電解質 溶液에서 p-Si 半導體의 逆飽和電流 變化 (스캔電位: -1.0 — $+1.0$ V vs. SCE, 스캔率: 100mV/s, 連續스캔)

Fig. 8. Variations of reverse saturation currents of the p-Si semiconductor in the 10^{-2} M $CsNO_3$ aqueous electrolytes and (1HF:3HNO₃:6H₂O) electrolyte solutions (scan potential: -1.0 — $+1.0$ V vs. SCE, scan rate: 100mV/s, continuously scanned).

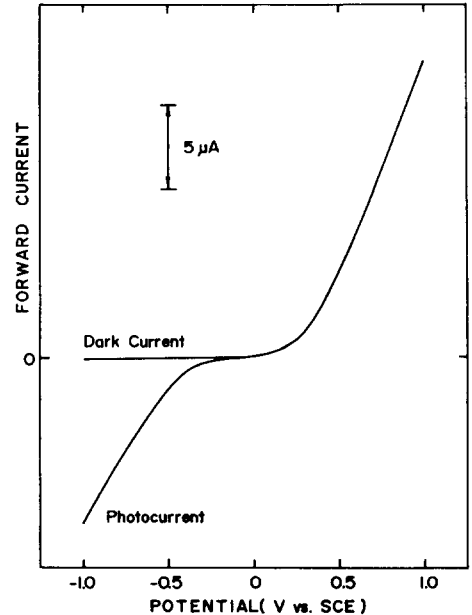


그림 9. p-Si/ 10^{-5} M $CsNO_3$ 水性 電解質 界面에서 典型的인 光電流-電壓 特性曲線 (스캔電位: -1.0 — $+1.0$ V vs. SCE, 스캔率: 100mV/s, 첫번째 스캔, 레이저 세기: 10mW)

Fig. 9. A typical photocurrent-voltage characteristic curve at the p-Si/ 10^{-5} M $CsNO_3$ aqueous electrolyte interfaces (scan potential: -1.0 — $+1.0$ V vs. SCE, scan rate: 100mV/s, 1st scan, laser intensity: 10mW).

그림 2, 3, 6과 相應하는 活性化過程을 考慮하면 連續循環電流-電壓 特性曲線으로 둘러싸인 内部面積은 吸着過程중을 進行되는 Helmholtz 二重層 形成과 緩行表面準位 充電에 따른 表面電位障壁效果에 依하여 決定된다고 推定할 수 있다. 理想的으로 緩行表面準位形成 및 充電效果를 除去할 수 있다면 環狀形의 循環電流-電壓特性曲線은 内部面積이 전혀 없는 重疊된 單調形의 電流-電壓特性曲線이 될 것이다. 그림 9는 p형 Si 半導體와 $CsNO_3$ 電解質 界面에서 光電流-電壓特性 曲線을 보여준다. 空間電荷層(空乏層)에서 光生成된 電子-正孔雙들에 依한 光電流 때문에 逆bias電壓時 界面通過電流 遮斷現象, 即 整流現象은 나타나지 않는다. 界面에서 光分解(photo-decomposition) 또는 光分離(photodesorption) 現象에 起因하는 電流 增加現象은¹²⁾ 觀測되지 않았다.

IV. 結 論

整流現象과 整流形, pn 또는 np 接合構造는 吸着된

이온 보다는 도핑된 半導體의 多數搬送子 또는 空間電荷에 의하여 決定된다. 急行 및 緩行表面準位는 모두 電流傳導에 기여한다. 吸着結合, 緩行表面準位 充電, 分極形態의 作用에 의한 電氣雙極子들은 界面에서 電位障壁과 같은 役割을 한다. 反面에 表面分解 또는 이온 分離現象은 界面에 形成된 電位障壁 減少效果를 가져온다. 空間電荷層 充電에 起因한 電位障壁效果는 緩行表面準位 充電에 起因한 電位障壁效果에 比하여 매우 적다. 蝕刻電解質 溶液의 表面分解效果는 急行表面位보다 緩行表面準位에 더 크다. 도핑된 半導體와 適合한 蝕刻 電解質 溶液 界面에서는 一連의 活性化過程을 쉽게 觀測할 수 있다.

參 考 文 獻

- [1] H.I. Refioglu, Ed., "Electronic displays," IEEE Press, pp. 43-85, 137-174, 1983.
- [2] K.S. Goto, "Solid state electrochemistry and its applications to sensors and electronic devices," Elsevier, 1988.
- [3] H.O. Finklea, Ed., "Semiconductor electrodes," Elsevier, 1988.
- [4] A. Kitahara and A. Watanabe, Eds., "Electrical Phenomena at Interfaces," Dekker, 1984.
- [5] V.F. Kiselev and O.V. Krylov, "Electronic phenomena in adsorption and catalysis on semiconductors and dielectrics," Springer-Verlag, pp. 1-3, 1987.
- [6] R.L. Bell, "Negative electron affinity devices," Oxford Press, 1973.
- [7] J.E. Escher, In "Semiconductors and semimetals," R.K. Willardson and A.C. Beer, Eds., Academic Press, Vol. 15, pp. 197-300, 1981.
- [8] A.R. Plummer, In "The electrochemistry of semiconductors," P.J. Holmes, Ed., Academic Press, pp. 72-77, 1962.
- [9] A.J. Bard and L.R. Faulkner, "Electrochemical Methods," Wiley, pp. 127-134, 1980.
- [10] V.F. Kiselev and O.V. Krylov, "Electronic phenomena in adsorption and catalysis on semiconductors and dielectrics," Springer-Verlag, pp. 113-114, 1987.
- [11] V.F. Kiselev and O.V. Krylov, *ibid*, pp. 45-46, 1987.
- [12] 千長鎬, 電子工學會論文誌, 26卷 10號, 67, 1989.
- [13] 千長鎬, 電子工學會論文誌, 27卷 2號, 93, 1990.
- [14] J. O'M. Bockris and A.K.N. Reddy, "Modern electrochemistry," Plenum, pp. 738-745, 1970.
- [15] J.H. Chun, *J. Colloid Interface Sci.*, 113, 292, 1986.
- [16] J.H. Chun, *J. Electrochem. Soc.*, 134, 3201, 1987.
- [17] S.M. Sze, "Physics of semiconductor devices," 2nd., Wiley, pp. 250-254, 1981.

著 者 紹 介

千 長 鎬 (正會員) 第25卷 第10號 參照
 현재 광운대학교 전자공학과
 부교수