

# Zeta 電位에 의한 도핑되지 않은 다결晶 Si 및 GaAs 半導體 界面의 表面準位에 관한 定性的 解析

## (A Qualitative Analysis on the Surface States at the Undoped Polycrystalline Si and GaAs Semiconductor Interfaces Using the Zeta Potential)

千 長 鎬\*

(Jang Ho Chun)

### 要 約

도핑되지 않은 다결晶 半導體 粒子和 電解質 界面의 表面準位와 界面現象을 極小電氣泳動 測定에 의한 電氣二重層과 제타電位로써 定性的 解析을 하였다

懸濁液은 도핑되지 않은 다결晶 실리콘(Si)과 砒化갈리움(GaAs) 粒子를 各各 KCl 溶液內에 浮遊시켜 準備하였다. KCl 電解質內의 도핑되지 않은 Si와 GaAs의 電氣泳動 移動度 範圍는 各各  $3.73 \sim 6.2 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 와  $-2.3 \sim 1.4 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$  이었으며 이에 相應하는 제타電位 範圍는 各各 47.8~80.1mV와 -30.1~17.9mV이었다. 도핑되지 않은 다결晶 Si의 KCl 濃度에 對한 제타電位 變化는 도핑된 單結晶 Si과 비슷하였다. 도핑되지 않은 다결晶 GaAs는 2個의 제타電位 反轉點이 實驗的으로 觀測되었다. 도핑되지 않은 다결晶 Si와 GaAs의 表面準位는 正으로 帶電된 도너表面準位에 依하여 主導되었다. 이러한 表面準位는 半導體 酸化膜과 電解質 界面의 吸着된 이온表面準位(緩行準位)에 起因된다.

### Abstract

Surface states and interfacial phenomena at the undoped polycrystalline semiconductor particle-electrolyte interfaces were qualitatively analyzed based on the zeta potentials which were measured with microelectrophoresis measurements. The suspensions were composed of the undoped polycrystalline silicon (Si) or gallium arsenide (GaAs) semiconductor particles suspended in the KCl solutions. A range of electrophoretic mobilities of the undoped polycrystalline Si and GaAs particles in the KCl electrolytes was  $3.73 \sim 6.2 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$  and  $-2.3 \sim 1.4 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$  at the same conditions, respectively. The range of zeta potentials corresponding to the electrophoretic mobilities is 47.8~80.1 mV and -30.1~17.9 mV, respectively.

The variation of the zeta potentials of the undoped polycrystalline Si was similar to the doped crystalline Si. On the other hand, two points of zeta potential reversal occurred at the undoped polycrystalline GaAs-KCl electrolyte interfaces. The surface states of the undoped polycrystalline Si and GaAs were dominated by positively charged donor surface states. These surface states are attributed to adsorbed ion surface states (slow states) at the semiconductor oxide layer-electrolyte interfaces.

\*正會員, 光云大學校 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Kwangwoon Univ.)  
接受日字: 1987年 1月 16日  
(※本 研究는 韓國科學財團의 1986年度 後半期 研究 支援에 依하여 이루어 졌음.)

### I. 序 論

Transistor를 共同開發한 業績으로 Nobel賞을 受賞한 美國 Bell研究所의 Brattain과 그의 同僚 Garrett<sup>(1)</sup>에 依하여 G<sub>s</sub>半導體와 電解質 界面에 關한 電氣物理的 現象이 最初로 發表된 이래, 數 많은 半導體 物理化

學者들에<sup>12, 11</sup> 의하여 半導體는 金屬에 比하여 特異하고도 有用한 電氣物理的 特性을 가지고 있음이 밝혀져 왔다.

특히 半導體와 電解質 界面에서도 p-n 接合 半導體와 類似한 電氣物理的 現象<sup>15)</sup>은 勿論, 光에너지를 化學的 에너지로 變換될 수 있음도 立證되었다.<sup>16)</sup> 또한 綠色 植物의 光合成에 相應하는 半導體 粒子和 電解質 界面現象,<sup>17)</sup> 即 半導體 콜로이드(colloid) 界面現象도 主要한 研究關心事의 하나이다. 그러나 벌크(bulk) 半導體와는 달리 半導體 콜로이드 界面現象에 關한 研究報告는 國內外 關聯 學術誌에도 거의 報告되지 않고 있는 실정이다.<sup>18, 12)</sup>

p-n接合 半導體內的 空間電荷層, 空間電荷, 表面準位(surface states or levels), 表面電荷 등이 半導體 素子の 基本動作原理에 主要한 要因이 되었듯이 半導體 粒子和 電解質 界面의 空間電荷層, 空間電荷, 眞性表面準位(intrinsic surface states)와 吸着된 이온 表面準位(adsorbed ion surface states),<sup>13)</sup> 半導體 酸化膜의 效果, 電氣二重層과 帶電된 이온의 化學的 또는 物理的 吸着, 靜電氣의 吸引 등에 關한 研究는 半導體와 電解質 界面現象 糾明의 出發點이 된다.

本 論文에서는 研究될 半導體 粒子的 크기와 粒子 周圍에 形成되는 電氣二重層의 두께가 1 $\mu$ m 안팎임을 考慮하여 콜로이드科學, 表面物理化學, 生體物理學, 材料科學 分野등에서 重要하게 應用되는 極小電氣泳動(microelectrophoresis)測定 方法을 利用하여 漂移速度, 電流密度, 電氣泳動移動度, 제타電位등을 決定한 후 電氣二重層을 포함하는 半導體 界面現象과 表面準位를 定性的으로 解析할 것이다. 半導體 試料로는 單結晶 半導體 材料로 重要하게 쓰이는 도핑(doping)되지 않은 多結晶 실리콘(Si)과 砒化갈리움(gallium arsenide; GaAs)을 使用할 것이다. 研究 結果는 學際間的 基礎研究資料 提供 및 電氣二重層 構造를 갖는 電子素子인 太陽에너지 光化學變換素子,<sup>14)</sup> 分子電子素子,<sup>15)</sup> 電氣泳動表示機<sup>16)</sup> 등의 開發과 應用에 期待된다.

## II. 界面電荷와 제타電位

### 1. 界面電荷

自由電荷가 固體와 液體같은 接觸 境界面을 中心으로 서로 다른 相(phase)內에 存在하면 電氣化學的 位置에너지 差에 依한 自由電荷 移動이 境界面을 通過하여 平衡狀態에 到達할 때까지 계속된다. 따라서 半導體와 電解質 界面에는 自由電荷와 帶電된 이온의 移動에 依하여 接觸 境界面을 中心으로 半導體內에는 空間電荷層, 半導體 表面에는 表面準位, 電解質內에는 이

온의 化學的 또는 物理的 吸着과 靜電氣의 吸引에 依한 密集(compact or Helmholtz) 二重層(double layer)과 擴散(diffuse or Gouy) 二重層이 形成되며 Poisson-Boltzmann 方程式에 따른 電荷 및 電位 分布가 있게 된다. 平衡狀態下的 界面電荷는 電氣的 中性 條件에 依하여 다음과 같은 關係를 갖는다.

$$Q_{sc} + Q_{ss} + Q_{ei} = 0 \tag{1}$$

$$Q_{ss} = Q_{ssr} + Q_{sss} \tag{2}$$

여기서  $Q_{sc}$ 는 半導體 空間電荷層內的 空間電荷,  $Q_{ss}$ 는 半導體 表面準位內的 表面電荷,  $Q_{ei}$ 은 電解質 電氣二重層內的 帶電된 이온電荷를 各各 나타낸다. 또한  $Q_{ssr}$ 는 半導體 表面의 格子原子 缺陷, 非週期性 등과 關聯된 Tamm準位에 起因한 眞性表面準位內的 表面電荷,  $Q_{sss}$ 는 半導體 表面(또는 半導體 表面 酸化膜)에 吸着된 外部原子(이온)등에 起因한 吸着된 이온 表面準位內的 表面電荷를 各各 나타낸다. 도핑되지 않은 半導體 경우, 도너 또는 억셉터不純物 注入에 依한 空間電荷는 存在하지 않으며 도핑된 半導體 경우도 空間電荷( $Q_{sc}$ )는 表面電荷( $Q_{ss}$ )의 크기에 比하여 매우 작으므로 空間電荷量은 무시할 수 있다.<sup>9, 12)</sup> 따라서 式(1)은 다음과 같이 近似式으로 表示할 수 있다.

$$Q_{ss} + Q_{ei} \cong 0 \text{ 또는 } Q_{ss} \cong -Q_{ei} \tag{3}$$

近似式(3)은 極小電氣泳動에 依한 제타電位가 半導體 表面의 表面電荷, 吸着 및 吸引된 이온에 依한 電氣二重層內的 電位差, 電氣二重層 構造 등을 定性的 또는 定量的으로 解析할 수 있음을 보여준다.<sup>17)</sup> 그림1은 도핑되지 않은 半導體 表面의 酸化膜을 考慮한 電解質 界面의 表面準位와 電氣二重層 構造를 보여준다. 그림 1에서  $E_c$ 는 傳導帶內的 最底에너지準位,  $E_f$ 는 Fermi準位,  $E_v$ 는 價電帶內的 最高에너지準位를 各各 나타낸다.

### 2. 表面準位와 酸化膜

一般的으로 半導體 表面의 表面準位는 禁止帶, 即 에너지갭(energy gap)內에 存在하는 에너지準位로 表示되며 벌크 半導體內的 不純物準位와 類似하다. 앞서서 言及한 바와 같이 眞性表面準位는 Tamm準位에 起因하며 表面格子原子의 懸垂結合(dangling bond)에 기여하기 때문에 억셉터表面準位로 解析된다. 眞性表面準位는 그림 1의 急行準位(fast states)로서 半導體 表面과 酸化膜 사이에 位置하며 準位密度와 弛緩時間(relaxation time)은 各各  $\sim 10^{11}/\text{cm}^2$ 와 數  $10^{-8} \sim 10^{-3}$  秒이다.<sup>18)</sup> 反面에 吸着된 이온 表面準位는 緩行準位(slow states)로서 半導體 表面의 酸化膜과 電解質 界面에 位置하며 電解質로부터 化學的 또는 物理的으로 半導體 酸化膜 表面에 吸着된 外部이온 등에 起因한

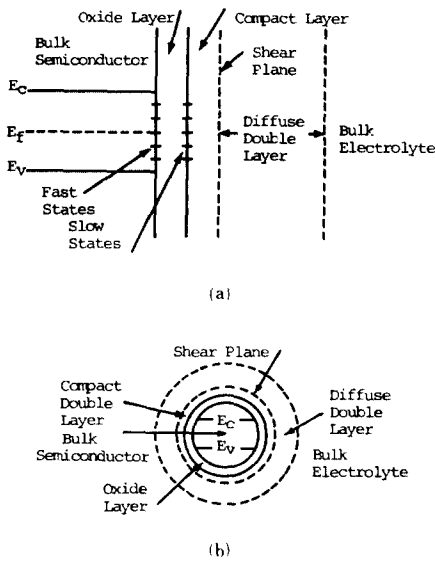


그림 1. 도핑되지 않은 半導體 酸化膜과 電解質 界面의 表面準位와 電氣二重層  
(a) 平面形  
(b) 球形

Fig. 1. Surface States and Electrical Double Layers at the Undoped Semiconductor Oxide Layer-Electrolyte Interfaces.  
(a) Flat Shape.  
(b) Spherical Shape.

다. 吸着된 이온表面準位の 準位密度와 弛緩時間은 各  $> 10^{13}/\text{cm}^2$ 와 數秒~時間이다.<sup>16</sup> 따라서 吸着된 이온表面準位는 眞性表面準位와는 달리 吸着된 外部原子 또는 이온에 따라 그 電氣物理的 特性이 決定되며 도너表面準位 또는 억셉터表面準位로 區別된다.

### 3. 제타電位

半導體 粒子和 電解質 界面에는 帶電된 이온의 分布 形態에 따라 密集二重層과 擴散二重層으로 區別된다. 密集二重層은 半導體 表面으로부터 數Å 두께로 表示되는 Stern面 또는 剪斷面(shear plane)까지의 微小 區間을 말하며 極小電氣泳動 測定時 벌크電解質에 對한 相對 漂移速度가 零이 되는 位置로 定義된다. 反面에 擴散二重層은 電解質의 濃度, 이온價, 絶對溫度, 誘電常數 등의 函數인 Debye 길이로 表示되며 그 位置는 剪斷面으로부터 數 $10\text{Å}$  내지 數 $1000\text{Å}$ 의 두께로 表示되는 半導體 粒子 周圍가 되며 平衡狀態下的 電荷 및 電位分布는 Poisson-Boltzmann 方程式에 따른다. 半導體 粒子 및 電氣二重層의 크기가  $1\mu\text{m}$  안라이므로 表面準位 또는 電氣二重層內的 電荷量가 電位差는 測定과 解析에 어려움이 있으나,<sup>19)</sup> 近似式(3)에 의한 極

小電氣泳動 方式으로 決定할 수 있다. 電解質內에 浮遊하는 帶電된 半導體 粒子는 外部에서 인가된 電界에 比例하여 漂移運動을 시작하여 電氣力과 電解質의 粘性力이 均衡을 이룰때 定常狀態가 되며 이러한 電氣力動學的 關係를 極小電氣泳動이라 한다. 이때 漂移運動하는 半導體 粒子가 接하는 電解質의 最端面, 即 벌크電解質에 對한 半導體 粒子의 相對 漂移速度가 零이 되는 面을 剪斷面이라 한다. 一般的인 電氣力動學에서 剪斷面과 벌크電解質 사이의 電位差, 即 擴散二重層內的 電位差를 제타(zeta; $\zeta$ )電位라 부른다. 極小電氣泳動 現象을 포함하는 電氣力動學的 過程에 關한 詳細한 解析은 여러文獻에서<sup>20,21)</sup> 찾아 볼 수 있으며 Helmholtz-Smoluchowski 方程式에 依하면 浮遊하는 粒子는 그 모양에 相關없이 제타電位는 다음과 같이 주어진다.<sup>19,21)</sup>

$$\zeta = \frac{\eta\mu}{\epsilon} \quad \text{단 } Kr > 100 \quad (4)$$

$$\mu = \frac{v\sigma}{J} \quad (5)$$

$$K = \left( \frac{\epsilon kT}{2nz^2q^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (6)$$

여기서  $\zeta$ 는 제타電位,  $\eta$ 는 液體의 粘性度,  $\mu$ 는 電氣泳動移動度,  $\epsilon$ 는 液體의 誘電常數,  $v$ 는 漂移速度,  $\sigma$ 는 比傳導度,  $J$ 는 電流密度,  $K$ 는 Debye 길이의 逆數,  $r$ 은 粒子半徑,  $k$ 는 Boltzmann常數,  $T$ 는 絶對溫度,  $n$ 은 溶液濃度,  $z$ 는 이온價,  $q$ 는 電子電荷量의 絶對值이다. 式(4)로 表示되는 Helmholtz-Smoluchowski 方程式은 대부분의 실제적인 제타電位 解析에 無理없이 適用된다.<sup>19)</sup>

## III. 半導體 試料 및 實驗 方法

### 1. 半導體 試料 및 電解質

半導體 試料로는 單結晶 半導體 材料로 널리 쓰이는 多晶되지 않은 多結晶 Si를 基本半導體 試料로, 多晶되지 않은 多結晶 GaAs을 III-V族化合物半導體 試料로 各各 使用하였다. 使用된 試料는 極小電氣泳動 測定에 適合하게, 空氣中에서 세라믹(alumina) 乳鉢로 5時間 研磨한 後 325網금 標準체로 準備하였다.

電解質은 半導體 粒子 表面에 吸着 또는 靜電氣의 으로 吸引될 이온電荷, 多晶된 單結晶 Si 表面에 吸着된  $K^+$ 이온 效果,<sup>19,12)</sup> 多晶되지 않은 單結晶 GaAs 表面의  $Na^+$  및  $Zn^{++}$ 이온의 可逆吸着<sup>12)</sup> 등을 考慮하여 1:1 電解質인 KCl 溶液을 使用하였다.

### 2. 極小電氣泳動 測定

半導體 表面準位の 緩行準位 弛緩時間을 考慮하여 懸濁液은 90餘分間 振盪했으며, 이러한 過程에서 極

小電氣泳動測定에 適合하지 않은 粒子들은 浮遊된 半導體 콜로이드로부터 分離되어 容器바다에 沈澱되었다. 半導體 粒子의 크기는 Sedigraph 5000D 粒子分析機(Micromeritics, Georgia, U. S. A.)로 分析했으며 粒子 크기에 따른 分布는 그림 2와 같다. 浮遊된 半導體 粒子의 크기와 濃度は 各各 0.75~1.5 $\mu$ m와  $\sim 1.2 \times 10^{-5}$ g/ml 이었다. 振盪된 懸濁液은 矩形斷面積(1mm $\times$ 10mm)을 갖는 平面電解槽에 넣은 後, 白金電極을 使用하여 外部電界를 電解槽內에 인가하였다. 平面電解槽과 電解質 界面에서 形成되는 電位差에 依한 流體移動效果를<sup>121</sup>考慮하여 外部電界가 인가되지 않을때 使用된 電解槽內의 電解質 移動速度가 零인 位置, 即 停狀準位(stationary level)는 Komagata 方程式에 依하여 다음과 같이 定하였다.<sup>125</sup>

$$\frac{s}{d} = 0.500 - \left[ 0.0833 + \frac{32d}{\pi^2 \ell} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

여기서 s는 平面電解槽內 前面(또는 後面)으로부터 停狀準位까지 거리, d는 平面電解槽의 內幅(d=1mm),  $\ell$ 은 平面電解槽內의 높이( $\ell=10$ mm)를 各各 나타낸다. 따라서 停狀準位 s는 0.194mm이며 高精度 마이크로미터(0.002mm/div.; Starrett Co., U. S. A.)를 使用하여 量하였다. 停狀準位에서 帶電된 半導體 粒子의 漂移速度는 Mark II 極小電氣泳動測定裝置(Rank Brothers Co., England)로 各各의 測定點에서 20番 以上 測定하여 그 平均値를 使用하였다. 그림 3은 實驗에 使用된 測定裝置를 보여주며 基本動作原理는 여러 文獻에서 찾아 볼 수 있다.<sup>126</sup>

IV. 實驗結果 및 考察

도핑되지 않은 多結晶 Si 粒子의 表面電荷, 電氣泳動

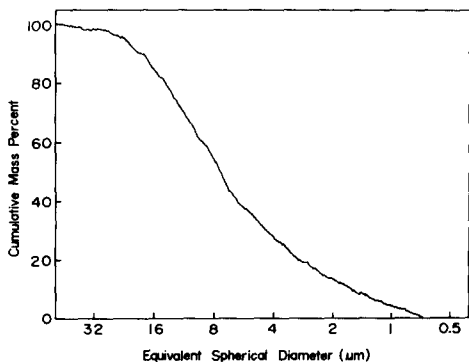


그림 2. 累積分布曲線에 依한 도핑되지 않은 多結晶 砒化갈리움 粒子 크기의 分布  
Fig. 2. A Distribution of the Undoped Polycrystalline GaAs Particle Size as a Cumulative Distirbution Curve.

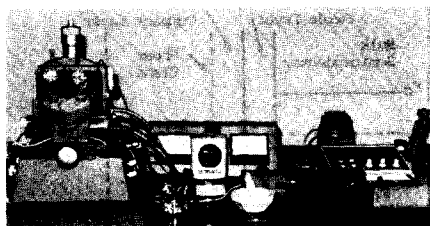


그림 3. 實驗器具 및 裝備  
Fig. 3. Experimental Apparatuses and Equipments.

移動度, 제타電位는 KCl 溶液에서 모두 正이었으며 電氣泳動移動度 範圍는 3.73~6.2 $\times 10^{-4}$ cm<sup>2</sup>/V·sec로 이에 相應하는 제타電位 範圍는 47.8~80.1mV이다. 反面에, 同條件下에서 GaAs 粒子의 電氣泳動移動도와 제타電位 極性は KCl 溶液濃도에 따라 變하였다. 電氣泳動移動度 範圍와 이에 相應하는 제타電位 範圍는 各各 -2.3~1.4 $\times 10^{-4}$ cm<sup>2</sup>/V·sec와 -30.1~17.9mV 이었다. 그림 4는 도핑되지 않은 多結晶 Si 및 GaAs 粒子의 KCl 溶液濃도에 對한 제타電位 變化를 보여준다. KCl 溶液內에서 도핑되지 않은 多結晶 Si의 제타電位는 溶液濃도와 相關없이 正이었으며 log mole 濃도에 對한 變化는 도핑된 單結晶 Si와 類似하였다.<sup>9,12</sup> 反面에 도핑되지 않은 多結晶 GaAs의 제타電位는 그림 4가 보여 주는 것처럼 KCl 溶液의 log mole 濃도에 따라 2個의 제타電位 極性 反轉點이 나타났다. 一般的으로 半導

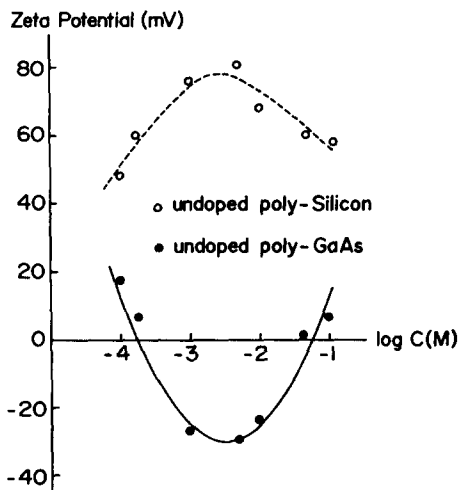


그림 4. 도핑되지 않은 多結晶 Si와 GaAs 半導體의 제타電位와 KCl 溶液濃度 關係  
Fig. 4. The Relation Between the Zeta Potentials of the Undoped Polycrystalline Si and GaAs Semiconductors and the Concentration of the KCl Solutions.

體 界面現象에서 도핑된 不純物에 의한 空間電荷效果는 表面電荷效果에 比하여 매우 적고,<sup>19,12,27</sup> 또한 다결晶 半導體를 微粒子( $\sim 1\mu\text{m}$ )로 만들 경우 grain境界效果도 無視할 수 있으므로 도핑되지 않은 다결晶Si의 界面現象은 豫想했던 대로 도핑된 單結晶Si의<sup>9,12</sup> 경우와 類似하였다. 따라서 이에 關한 考察은 省略한다.

도핑되지 않은 다결晶GaAs의 界面現象은 半導體의 表面準位,<sup>13,18</sup> 제타電位에 對한 中性電解質의 濃度效果 및 吸着이온에 의한 제타電位 極性的 反轉現象,<sup>28</sup> 도핑되지 않은 單結晶GaAs 粒子表面에서 放射能追跡方法에 의한  $\text{Na}^+$  및  $\text{Zn}^{2+}$  이온의 物理的 可逆吸着現象,<sup>13</sup> 電氣二重層과 界面吸着에 關한 電氣陰性度<sup>29</sup> 영향등을 根據하여 다음과 같은 定性的 解析을 할 수 있다. 이제 도핑되지 않은 다결晶GaAs의 表面準位가 正으로 帶電된 도너表面準位에 의하여 主導된다고 假定하면 表面으로부터 一定한 微小거리에 剪斷面이 固定된 電氣二重層을 갖는 Gouy-Chapman 模型으로부터<sup>28</sup> 剪斷面부근에는 靜電吸引力에 起因한  $\text{Cl}^-$  이온의 吸着이 있게 된다. 따라서 KCl 溶液濃도가 增加하면 式(6)의 逆數로 表示되는 Debye 길이의 減少에 따른 擴散二重層의 收縮과 그에 따른 이온電荷量의 減少로 제타電位는 減少한다. KCl 溶液濃도가 계속하여 增加하면 剪斷面부근에 靜電吸着된  $\text{Cl}^-$  이온量도 함께 增加하므로 제타電位에 對한 中性電解質濃도 및 吸着이온效果에<sup>28</sup> 의하여 式(3)으로 表示되는 도너表面準位內的 表面電荷量( $+Q_{ss}$ )增加는 勿論, 제타電位도 負로 增加되는 界面現象이 나타나게 된다. 그러나 臨界濃도 即, 最小 제타電位值에서 表面準位密度는 飽和되기 시작하여 式(3)의 電氣의 中性條件을 滿足하기 爲한  $\text{K}^+$  이온의 剪斷面 浸透現象이 일어난다. 結局은 剪斷面에서  $\text{K}^+$  이온 浸透現象과  $\text{K}^+$  및  $\text{Cl}^-$  이온의 可逆吸着에 起因한  $\text{K}^+$  이온의 增加는 제타電位를 負에서 正으로 二次 反轉하게 한다. 그러나 KCl 溶液의 高濃도에 起因한 強한 이온세기 때문에 式(6)에 의하여 決定되는 擴散二重層은 크게 收縮하게 되므로 제타電位の 크기는 微微하다.

半導體와 電解質 界面에서 不可避하게 考慮되는 酸化膜效果는, 一般的으로 半導體表面과 酸化膜사이에 形成되는 眞性表面準位(그림 1 참고)가 Tamm準位에 의하여 負로 帶電된 兪셉터 表面準位인 急行準位임을 考慮하면,<sup>11</sup> 다음과 같은 定性的 解析이 可能하다. 試料準備 및 極小電氣泳動 測定時 空氣 및 電解質에 露出된 時間이 6~7時間임을 考慮하면 半導體 粒子表面에는 相當한 酸化膜이 이미 形成되어 있다고 推定된다.<sup>23</sup> 換言하면 吸着된 이온表面準位는 半導體表面의 酸化膜과 電解質 界面에 形成된 緩行準位이다. 따라서 도핑되지 않은 다결晶GaAs의 表面電荷와 準位는 酸化

膜 表面에 吸着된  $\text{K}^+$  이온電荷( $+Q_{ss}$ )에 의하여 主導되므로 機能的 觀點에서 正으로 帶電된 도너表面準位로 解析할 수 있다. K의 電氣陰性度 및 GaAs의 電氣陰性도와의 差를 Pauling's scale<sup>30</sup> 로 圖示하면 그림 5와 같은 線型關係는 勿論, 도핑되지 않은 다결晶 GaAs 表面의  $\text{K}^+$  이온 吸着은 物理的 吸着임을 알 수 있으며 Larrabee<sup>23</sup> 및 Sargood et al.<sup>31</sup>의 實驗的 結論과도 符合된다. 同條件下에서 Si와 GaAs에 關한 제타電位와 界面現象의 相異性은 Si이 共有結合과 不可逆的인 化學的 吸着임에 比하여 GaAs는 이온結合과 可逆的인 物理的 吸着에 따른 表面準位形成과 電荷量 差에<sup>32</sup> 起因한다고 思慮된다.

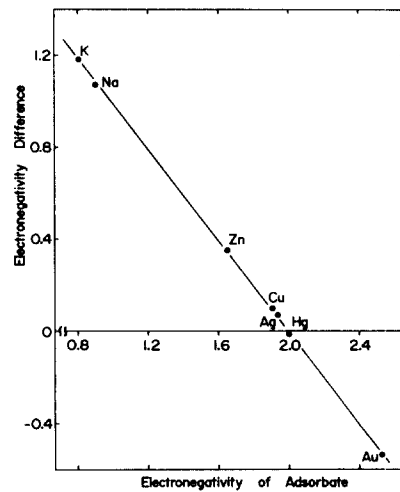


그림 5. GaAs와 吸着物質사이의 電氣陰性度差에 對한 吸着物質의 電氣陰性度 圖示

Fig. 5. Plot of Electronegativity Differences Between GaAs and the Adsorbates Versus Electronegativity of the Adsorbates.

## V. 結 論

電解質內에 浮遊하는  $1\mu\text{m}$ 안팎의 半導體 粒子의 경우 即, 半導體콜로이드에서는 다결晶半導體가 갖는 grain境界效果는 重要하지 않다. 도핑되지 않은 다결晶 GaAs의 表面準位는 酸化膜表面에 吸着된 이온 表面準位에 의하여 主導되며 이는 正으로 帶電된 도너 表面準位이다.  $\text{K}^+$  이온과  $\text{Cl}^-$  이온의 可逆吸着은 物理的 吸着이며 吸着程度는 表面準位密度, 弛緩時間, 半導體의 結晶構造와 吸着物質의 電氣陰性度, 電解質의 濃도와 이온特性 등에 따라 決定된다.

끝으로 半導體와 電解質 界面에서 考慮되어야 할 酸化膜의 形成過程과 表面準位와의 關係, 光效果, 定性

的 解析에 뒤이은 定量的 解析등은 이 分野의 當面 研究課題이다.

#### 參 考 文 獻

- [1] W.H. Brattain and C.G.B. Garrett, "Experiments on the interface between germanium and an electrolyte", *B.S.T.J.* vol. 34, 129, 1955.
- [2] Y.Y. Gurevich and Y.V. Pleskov, "*Photoelectrochemistry of semiconductors*", Plenum, New York, 1985.
- [3] H. Gerisher, In "*Photovoltaic and photoelectrochemical solar energy conversion*", F. Cardon et al. ed., pp. 199-262, Plenum, New York, 1981.
- [4] S.R. Morrison, "*Electrochemistry at semiconductor and oxidized metal electrodes*", Plenum, New York, 1980.
- [5] V.A. Myamlin and Y.V. Pleskov, "*Electrochemistry of semiconductors*" Plenum, New York, pp. 172-177, 1967.
- [6] A. Fujishima and K. Honda, "*Semiconductor liquid junction solar cells*", *Nature*, London, 238, 37, 1972.
- [7] M. Schiavello, ed., "*Photoelectrochemistry, photocatalysis and photoreactors*" pp. 3-37, Reidel, Dordrecht, Holland, 1985.
- [8] A.C. Zettlemoyer "Editors in Chief: *Journal of Colloid and Interface Science*", *Private communication*, 1985.
- [9] J.H. Chun, "The effect of adsorption of ions at the silicon-KCl solution interface" *J. Colloid Interface Sci.*, 113, 292, 1986.
- [10] S. Goldberg (U.S. Salinity Lab.), *Private communication*, 1986.
- [11] M. Kosmulski (Maria Curie-Sklodowska Univ., Poland), *Private Communication*, 1986.
- [12] 千長鎬, "Zeta電位에 의한 Silicon 半導體 界面의 電氣二重層解析" 電子工學會 論文誌, vol. 24, no. 2, 60, 1987.
- [13] S.R. Morrison, *ibid.*, Plenum, New York, pp. 11-16, 54-55, 1980.
- [14] J.S. Connolly, ed., "*Photochemical conversion and storage of solar energy*", Academic Press, New York, 1981.
- [15] F.L. Carter, ed., "*Molecular electronic devices*" Dekker, New York, 1982.
- [16] H.I. Refioglou, ed., *Electronic Displays*, Wiley, New York, pp. 137-173, 1983.
- [17] V.A. Myamlin and Y.V. Pleskov, *ibid.*, pp. 84-86, Plenum, New York, 1967.
- [18] A.R. Plummer, In "*The electrochemistry of semiconductors*" P.J. Homles, ed. Academic Press, London, pp. 72-77, 1962.
- [19] J.O.M. Bockris et al., ed., "*Comprehensive treatise of electrochemistry*," vol. 1, The double layer, Plenum, New York, 1980.
- [20] A. Kitahara and A. Watanabe, ed., "*Electrical phenomena at interfaces*" Dekker, New York, pp. 102-115, 1984.
- [21] R.J. Hunter, "*Zeta Potential in Colloid Science*" Academic Press, London, pp. 59-64, 1981.
- [22] S. Hachisu, In "*Electrical phenomena at interfaces*", A. Kitahara and A. Watanabe, ed. Dekker, New York, pp. 99-117, 1984.
- [23] G.B. Larrabee, "The contamination of semiconductor surfaces", *J. Electrochem. Soc.*, 108, 1130, 1961.
- [24] R.J. Hunter, *ibid.*, pp. 126-136, Academic Press, London, 1981.
- [25] S. Komagata, *Kaimen Denki Kagak Gaiyo*, Shokodo, Tokyo, p. 63, 1953.
- [26] R.J. Hunter, *ibid.*, Academic Press, London, pp. 150-174, 1981.
- [27] V.A. Myamlin and Y.V. Pleskov, *ibid.*, Plenum, New York, pp. 133-134, 1967.
- [28] R.J. Hunter, *ibid.*, Academic Press, London, pp. 223-235, 1981.
- [29] S.R. Morrison, "*The Chemical physics of surfaces*" Plenum, New York, pp. 156-162, 1977.
- [30] R.E. Dickerson, et al., "*Chemical principles*" 3rd ed., pp. 337, Benjamin/Cummings Pub. Co., Menlo Park, California, 1979.
- [31] A.J. Sargood, C.W. Jowett, and B.J. Hopkins, "A relationship between surface potential and electronegativity for adsorption on tungsten single Crystals", *Surface Sci.*, 22, 343, 1970.
- [32] Y.V. Pleskov and Y.Y. Gurevich, "*Semiconductor photoelectrochemistry*", Plenum, New York, pp. 86-90, 1986. \*

#### 感謝의 글

本 研究에 도움을 주신 閔頌基博士님(半導體材料研究室, KAIST)과 研究費 支援을 하여주신 韓國科學財團에 깊은 感謝를 드립니다.