

磁化된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ Ceramics 界面에서 帶電된 Colloid 半導體의 電位障壁 清掃效果

(The Potential Barrier Scavenging Effects of the Charged Colloidal Semiconductors at the Magnetized $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ Ceramics Interfaces)

千 長 鎬*

(Jang Ho Chun)

要 約

磁化된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 세라믹스와 (10^{-3}M KCl + p-Si 분말)懸濁液 界面 및 (10^{-4}M CsNO_3 + n-GaAs 분말) 현탁액 계면에서 循環電壓圖 특성을 極小電氣泳動 및 순환전압 방법을 사용하여 연구조사 하였다. 處女 및 磁化된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 세라믹스 표면에는 特異한 陰이온의 흡착이 있다. p-Si와 n-GaAs 콜로이드 반도체의 zeta 電位는 각각 +41mV와 -44.8mV이다. 磁化된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 계면에서 磁化效果는 電位障壁과 같은 역할을 한다. 處女 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 계면에서 陽으로 帶電된 p-Si 콜로이드 반도체와 陰으로 帶電된 n-GaAs 콜로이드 반도체는 모두 전위장벽과 같은 역할을 한다. 반면에 磁化된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 계면에서 대전된 p-Si와 n-GaAs 콜로이드 반도체는 전위장벽 清掃劑와 같은 역할을 한다. 磁化효과와 대전된 콜로이드 반도체 효과는 非可逆的이며 相互依存的이다.

Abstract

The cyclic voltammogram characteristics at the magnetized $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ ceramics/(10^{-3}M KCl + p-Si powders) and /(10^{-4}M CsNO_3 + n-GaAs powders) suspension interfaces have been studied using the microelectrophoresis and the cyclic voltammetric method. The negatively charged ions are specifically adsorbed on the virgin and the magnetized $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ ceramics surfaces. The zeta potentials of the p-Si and n-GaAs colloidal semiconductors are +41mV and -44.8mV, respectively. The magnetization effects act as potential barriers at the magnetized $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ interfaces. The positively charged p-Si and the negatively charged n-GaAs colloidal semiconductors act as potential barriers at the virgin $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ interfaces. On the other hand, the charged p-Si and n-GaAs colloidal semiconductors act as potential barrier scavengers at the magnetized $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ interfaces. The magnetization effects and the charged colloidal semiconductor effects are irreversible and interdependent.

I. 序 論

*正會員, 光云大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kwangwoon Univ.)
接受日字: 1991年 12月 12日

電子 세라믹스(ceramics)의 일반적인 특성은 금속
이나 반도체에 비교하여 우수한 화학적 안정성, 多孔
性효과, 높은 抵抗性 등을 들 수 있다. $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$,

는 $\text{MO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 系 (M은 Sr, Ba 등을 의미) 세라믹스로서 $\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ 와 비슷한 구조를 가지고 있으며 磁化시 매우 높은 抗磁力 특성 때문에 주로 영구자석의 素材로 사용되어 왔다.^{1,2)} 따라서 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 와 水性電解質 계면의 전기물리적 현상에 관한 연구보고는 상대적으로 적었다고 생각된다.³⁾ 또한 대전된 콜로이드 (colloid) 반도체 계면현상,⁴⁻⁶⁾ 콜로이드 반도체가 전해질 계면에서 광전효과에 미치는 영향 등에 관한 연구보고는⁷⁻⁹⁾ 있었으나 대전된 콜로이드 반도체가 處女 및 磁化된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 계면현상에 미치는 영향 및 효과에 관한 연구보고는 없었다고 思料된다. 磁性體의 hysteresis 환상곡선에 상응하는 계면의 순환전압도는 전기물리 및 화학적 현상을 이해하고 해석하는데 매우 有用하다. 또한 물리화학, 콜로이드 및 재료과학, 표면물리 및 생리학 분야에 중요하게 이용되는 極小電氣泳動 (microelectrophoresis) 방법은 대전된 콜로이드 반도체의 zeta 電位, 電氣泳動 移動度 極性, 표면전하 종류 등을 연구조사하는데 응용될 수 있다. 따라서, 본 실험 논문에서는 處女 및 磁化된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 계면에서 대전된 콜로이드 반도체가 전위장벽에 미치는 영향과 효과를 극소전기영동 및 循環電壓 (cyclic voltammetry) 방법을 사용하여 연구조사하려고 한다. 연구 결과는 學際間 기초연구자료 제시는 물론, 전기이중층 구조를 가지는 태양에너지 변환장치 및 분자 전자소자, 전자표시기, 다공성 효과를 응용할 수 있는 전자 세라믹스 濕氣感知機, 반도체 콜로이드과학, 생리학 분야 등의 연구개발에 도움이 될것을 기대한다.

II. Zeta電位와 Lorentz電磁力

전해질내에 浮遊하는 반도체 微粒子 ($\sim \mu\text{m}$) 표면에는 전기화학적 위치에너지 差에 따른 이온과 전하의 이동이 平衡狀態가 될때까지 있게 된다. 따라서, 반도체 미립자 표면에는 이온의 흡착과 확산 분포가 있게 되어 $\text{\AA} \sim \mu\text{m}$ 크기를 갖는 전기이중층이 형성된다. 대전된 반도체 미립자는, 즉 콜로이드 반도체는 외부에서 인가된 전계 크기에 비례하여 漂移운동을 시작하여 電氣力과 전해질의 粘性力이 평형을 이룰 때 定常狀態가 되며 이러한 電氣力動學的 관계를 극소전기영동이라고 한다. 이때 漂移 (migration) 운동을 하는 대전된 콜로이드 반도체가 接하는 전해질의 最端面, 즉 벌크 (bulk) 전해질에 대한 대전된 콜로이드 반도체의 相對 漂移速度가 零이 되는 面을 前斷面 (shear plane)이라고 한다. 전기력동학 관점에서 전단면과 벌크전해질 사이의 電位差를 zeta (ζ) 電位

라고 정의한다. Helmholtz-Smoluchowski 방정식에 의하면 대전된 콜로이드 반도체의 zeta전위는 모양에 상관없이 다음과 같이 주어진다.^{10,11)}

$$\zeta = \frac{\eta \mu}{\epsilon} \quad (1)$$

여기서 ζ 는 전단면에서 zeta전위, η 는 전해질의 粘性度, μ 는 전기영동 이동도, ϵ 는 전해질의 誘電常數이다.

일반적으로 대전된 原子系 粒子, 즉 전자 또는 이온 등은 인가된 電界 및 磁界에 의하여 加速 및 偏向시킬 수 있다. 電磁界내에서 實驗電荷 q에 작용하는 Lorentz 힘은 다음과 같이 주어진다.

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (2)$$

여기서 q는 電子 電荷量의 절대치, \vec{E} 는 電界세기, \vec{v} 는 移動電荷의 속도, \vec{B} 는 磁束密度이다.

III. 實驗 및 測定

1. 試片 및 懸濁液 (suspension)

處女 및 磁化된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 試片 (500-840G) 계면에서 순환전압도의 對稱性 및 線形성과 多孔性 효과를 실험하기 위하여 10^{-1}M H_2SO_4 수성전해질 (pH: 1.2, 比傳導度: $43.4\text{m}\Omega/\text{cm}$)과 증류수 (pH: 6, 비전도도: $1.28\mu\Omega/\text{cm}$)를 각각 사용하였다. 또한 磁化된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 계면에 대전된 콜로이드 반도체가 전위장벽에 미치는 영향과 효과를 연구 조사하기 위하여 boron ($2.2 \times 10^{15}/\text{cm}^3$)으로 도핑 (doping)된 p-Si wafer, silicon ($1.0 \times 10^{18}/\text{cm}^3$)으로 도핑된 n-GaAs wafer, 10^{-3}M KCl 수성전해질 (pH: 5.6, 비전도도: $147\mu\Omega/\text{cm}$), 10^{-4}M CsNO_3 수성전해질 (pH: 6.0, 비전도도: $17.3\mu\Omega/\text{cm}$)을 사용하였다. 대전된 반도체 미립자, 즉 콜로이드 반도체를 만들기 위하여 p-Si 및 n-GaAs wafer를 각각 alumina 세라믹스 乳鉢로 3시간 정도 研磨하여 粉末을 만든 後 500눈금 網 ($25\mu\text{m}$)을 가진 표준체 (sieve)로 걸렀다. 실험에 사용된 현탁액은 10^{-3}M KCl 수성전해질내에 p-Si 분말 (0.1g/1000ml)을, 10^{-4}M CsNO_3 수성전해질내에 n-GaAs 분말 (0.1g/600ml)을 각각 부유시켜 24시간 정도 진탕 (shaking) 하였다. 진탕된 현탁액 비전도도는 미국 Cole Parmer社의 溶液用 비전도도 측정기 (1480-00)로 측정하였으며 현탁액을 만들기 전의 비전도도와 동일하였다. 換言하면, 부유된 p-Si 및 n-GaAs 반도체 미립자의 分解 또는 溶解효과 등은 무시할 수 있다.

2. 측정방법

현탁액내에 부유하는 대전된 반도체 미립자의 zeta 전위는 영국 Rank Brother社 Mark II 극소전기영동 장치를 사용하여 측정하였다. 측정방법과 과정은 참고문헌⁽⁴⁻⁶⁾에 상세하게 서술되어 있으므로 생략한다. $10^{-3}M$ KCl 수성전해질 내에서 부유하는 p-Si 미립자의 평균 전기영동 이동도는 $+3.2 \times 10^{-4} cm^2/V \cdot s$ 이며 相應하는 zeta 전위는 식(1)로부터 $+41mV$ 이다. 反面에, $10^{-4}M$ CsNO₃ 수성전해질 내에서 부유하는 n-GaAs 미립자의 평균 전기영동 이동도는 $-3.5 \times 10^{-4} cm^2/V \cdot s$ 이며 상응하는 zeta 전위는 $-44.8mV$ 이다. 따라서, 陽과 陰으로 대전된 p-Si와 n-GaAs 콜로이드는 각각 電磁界 내에서 식(2)로 표시되는 Lorentz 電磁力에 의하여 가속 및 편향될 수 있다.

處女 및 磁化된 SrO·6Fe₂O₃ 시편 계면에서 전류-전압 특성, 즉 連續 循環電壓圖를 얻기 위하여 그림1과 같은 標準 3-電極 구성을 하여 常溫의 암실 내에서 실험을 수행하였다. 표준 3-전극으로는 處女 및 磁化된 SrO·6Fe₂O₃ 시편을 일電極(WE: working electrode), SCE(saturated calomel electrode)를 基準電極(RE: reference electrode), 백금(Pt)을 相對電極(CE: counter electrode)으로 각각 사용하였다. 전극전압은 미국 PINE社 RDE4 三端子 線形電位計를 사용하여 연속 순환적으로 조정하였다. 특히 계면에 형성된 전기이중층의 電氣容率 효과에 의한 充電電流 영향을 最小化하기 위하여 비교적 낮은 스캔율(scan rate)인 10mV/s로 조정하였다. 측정되는 연속 순환전압도는 미국 Houston社 2000 X-Y 기록계를 사용하여 圖示하였다.

IV. 結果 및 考察

式(2)로 표시되는 Lorentz 電磁力은 vector量인 자속밀도(\vec{B})의 영향을 받으므로 磁化된 SrO·6Fe₂O₃ 전극의 磁極位置는 그림1의 순환전압도가 보여주는 것처럼 실험 결과의 再現과 對된 比較解析을 위하여 반드시 고려될 사항이다. 따라서 앞으로 해석되는 모든 실험결과는 磁化 효과의 차이를 최대한으로 나타내기 위하여 그림1(a)에 圖示된 磁極배치에 따른다. 그림2는 $10^{-1}M$ H₂SO₄ 수성전해질 계면에서 SrO·6Fe₂O₃ 전극의 磁化 효과를 보여준다. 순환전압도가 보여주는 대칭성과 선형성은 陽極 및 陰極過程이 평형적으로 진행되며 계면에 형성된 전기이중층의 전기용량 효과도 무시할 수 있음을 의미한다. 그림3과 4는 전해질 濃度가 매우 낮은 $10^{-4}M$ CsNO₃ 수성전해질과 증류수(double deionized water)에서 SrO·6

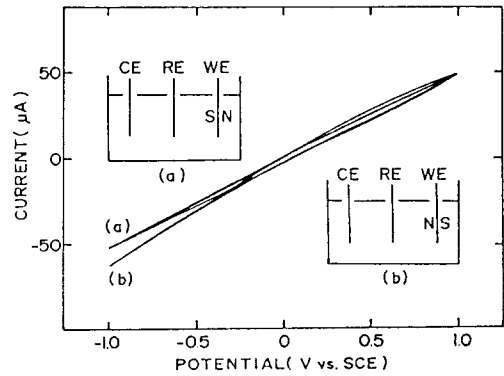


그림 1. 자화된 SrO·6Fe₂O₃ 일전극의 자극 배치효과 (스캔율:10mV/s, 5번째 스캔, 표면적: 5.5cm²)

Fig. 1. The effect of the magnetic pole configurations of the magnetized SrO·6Fe₂O₃ working electrodes (scan rate: 10mV/s, 5th scan, surface area: 5.5cm²).

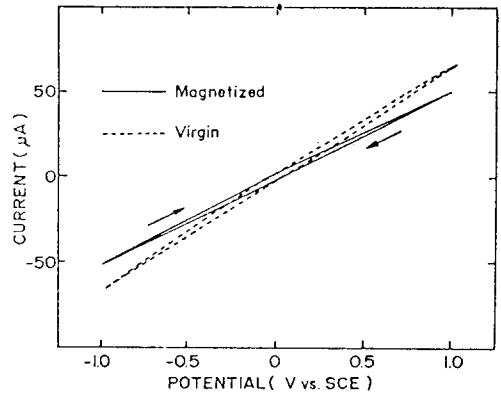


그림 2. $10^{-1}M$ H₂SO₄ 수성전해질 계면에서 자화효과 (스캔율:10mV/s, 5번째 스캔, 표면적:5.5cm²)

Fig. 2. The effect of the magnetization at the $10^{-1}M$ H₂SO₄ aqueous electrolyte interfaces (scan rate:10mV/s, 5th scan, surface area: 5.5cm²).

Fe₂O₃ 전극의 磁化 효과를 각각 보여준다. 그림 2의 경우와는 對照적으로 非對稱性和 非線形性이 陽極과 陰極에서 深化되는 현상은 處女 및 磁化된 SrO·6Fe₂O₃ 전극표면에 음이온의 非靜電氣의 흡착, 즉 特異 (specific) 吸着 과정에 기인한다고 해석된다. 이러한 特異吸着은 외부에서 인가되는 양 또는 음전압의 영향을 받지 않고 전기이중층내에 Helmholtz 이중층

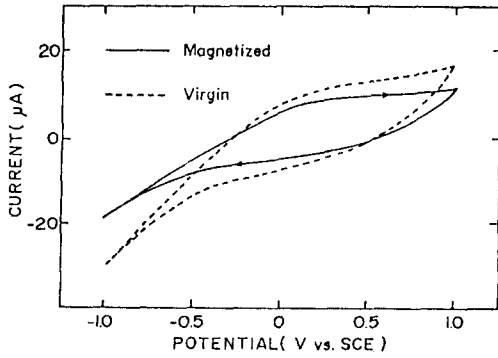


그림 3. 10^{-4}M CsNO_3 수성 전해질 계면에서 자화효과 (스캔율: 10mV/s , 5번째 스캔, 표면적: 5.5cm^2)

Fig. 3. The effect of the magnetization at the 10^{-4}M CsNO_3 aqueous electrolyte interfaces (scan rate: 10mV/s , 5th scan, surface area: 5.5cm^2).

을 구성하여 전위장벽 및 전기용량 효과를 나타내므로, 전류변화는鈍化되며 循環電壓圖 環狀閉曲線의 면적도 넓게 퍼지는 특성을 나타낸다. 그림 2, 3, 4로부터 磁化효과, 즉 磁氣抵抗, Hall 효과, 계면에서 이온 偏向運動 등은 계면 통과 전류를 抵下시키는 전위장벽으로 작용한다고 해석할 수 있다. 그림 5는 處女 및 磁化된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 전극 계면에서 세라믹스 다공성 특성이 전기저항성에 미치는 효과,¹² 즉 전극전류변화를 잘 보여준다. 그림 5로부터 磁化과정은 다공성 효과에 큰 영향을 미치지 못하며 증류수 경우

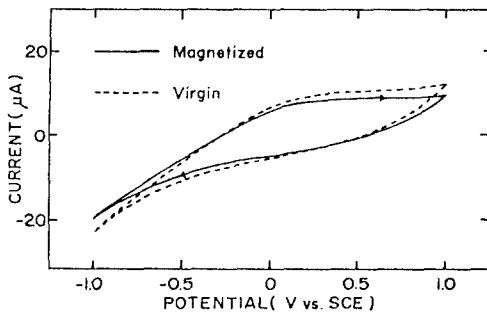


그림 4. 증류수 (H_2O) 계면에서 자화효과 (스캔율: 10mV/s , 5번째 스캔, 표면적: 5.5cm^2)

Fig. 4. The effect of the magnetization at the double deionized water (H_2O) interfaces (scan rate: 10mV/s , 5th scan, surface area: 5.5cm^2).

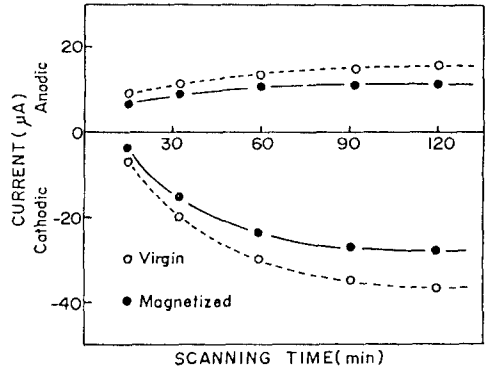


그림 5. 증류수 (H_2O) 계면에서 전극전류 변화 (스캔율: 10mV/s , 연속 스캔, 전류 측정: 1V 및 -1V vs. SCE, 표면적: 5.5cm^2)

Fig. 5. The variation of the electroodic currents at the double deionized water (H_2O) interfaces (scan rate: 10mV/s , continuously scanned, current measured: 1V and -1V vs. SCE, surface area: 5.5cm^2).

에도 음이온의 特異吸着으로 양극전류변화는 완만함을 알 수 있다. 환언하면, 磁化효과는 세라믹스 시퀀의 氣孔크기, grain의 크기 및 배열과 같은 微小構造 (microstructure)에는 영향을 미치지 않는다. 그림 6은 處女 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 전극 계면에서 양으로 대전된 p-Si 콜로이드 반도체의 효과를 보여준다. 즉 양으로 대전된 p-Si 콜로이드 반도체는 계면에서 遮弊 또는 전위장벽 작용을 하여 양극 및 음극전류가 균등하게 저하되는 순환전압도 특성을 나타내게 한다. 반면에 그림 7은 磁化된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 전극 계면에서 양으로 대전된 p-Si 콜로이드 반도체가 전위장벽 清掃 (scavenging) 作用을 하고 있음을 보여준다. 계면에서 전위장벽 작용을 하는 이온들, 즉 靜電氣적으로 전기 이중층내에 吸着 및 誘導된 이온들은 양으로 대전된 p-Si 콜로이드 반도체의 電磁氣의 운동에 의하여 전기 이중층으로부터 淸소된다고 해석할 수 있다. 그림 8은 磁化된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 전극 계면에서 음으로 대전된 n-GaAs 콜로이드 반도체도 그림 7과 같은 계면 전위장벽 淸소작용을 하고 있음을 보여준다. 대전된 p-Si 및 n-GaAs 콜로이드 반도체의 매우 낮은 전기영동 이동도 ($\sim 10^{-4}\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)와 相對的으로 높은 자속밀도 ($500-840\text{G}$)를 고려하면 Lorentz 電磁力은 電界에 의한 電氣力보다는 磁界에 의한 磁氣力에 의하여 결정된다고 추정할 수 있다. 그림 3, 4, 6, 7, 8이 보여주는 공통적 특징은 10^{-3}M KCl 및 10^{-4}M

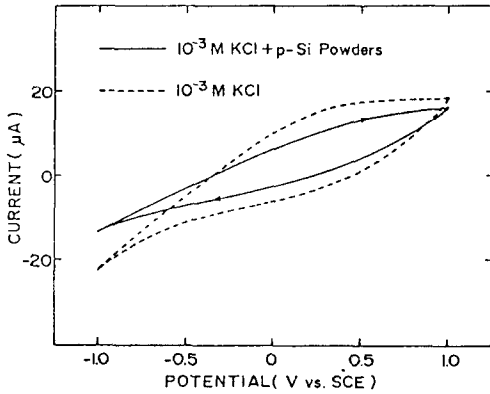


그림 6. 처녀 SrO·6Fe₂O₃ 계면에서 양으로 대전된 p-Si 콜로이드의 전위장벽 효과(스캔율: 10mV/s, 5번째 스캔, 표면적: 5.5cm²).

Fig. 6. The potential barrier effect of the positively charged p-Si colloids at the virgin SrO·6Fe₂O₃ interfaces (scan rate: 10mV/s, 5th scan, surface area: 5.5cm²).

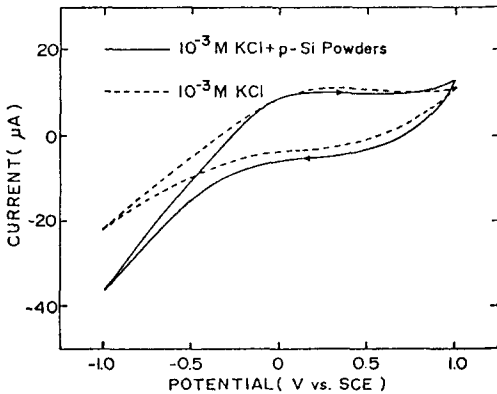


그림 7. 자화된 SrO·6Fe₂O₃ 계면에서 양으로 대전된 p-Si 콜로이드의 전위장벽 청소효과(스캔율: 10mV/s, 5번째 스캔, 표면적: 5.5cm²).

Fig. 7. The potential barrier scavenging effect of the positively charged p-Si colloids at the magnetized SrO·6Fe₂O₃ interfaces (scan rate: 10mV/s, 5th scan, surface area: 5.5cm²).

CsNO₃ 수성전해질과 H₂O에서 모든 순환전압도는 類似的한 모양, 즉 양극 과정에서 양극전류 감소 및 비선형성 심화현상과 음극과정에서 음극전류 증가 및 비선형성 둔화현상이다. 따라서, 特異吸着은 KCl 및 CsNO₃ 수성전해질과 H₂O에 공통적으로 포함된 OH⁻ 음이온에 의하여 이루어진다고 추정할 수 있다.

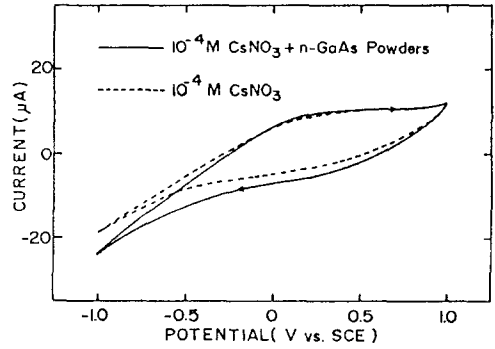


그림 8. 자화된 SrO·6Fe₂O₃ 계면에서 음으로 대전된 n-GaAs 콜로이드의 전위장벽 청소효과(스캔율: 10mV/s, 5번째 스캔, 표면적: 5.5cm²).

Fig. 8. The potential barrier scavenging effect of the negatively charged n-GaAs colloids at the magnetized SrO·6Fe₂O₃ interfaces (scan rate: 10mV/s, 5th scan, surface area: 5.5cm²).

일반적으로 界面電流(I)는 다음과 같은 電流成分으로 구성된다.

$$I = I_c + I_f = C \frac{dV}{dt} + I_f \quad (3)$$

여기서 I_c는 충전전류, I_f는 Faraday 전류, C는 전기

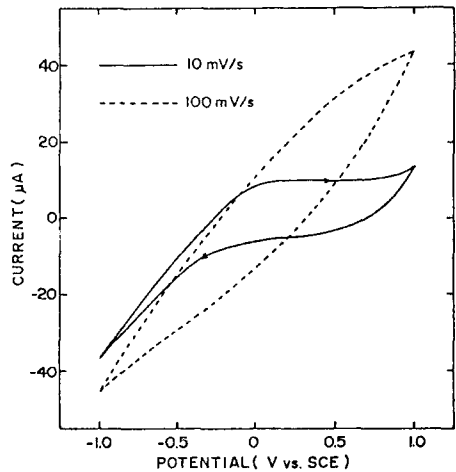


그림 9. 자화된 SrO·6Fe₂O₃ 와 (10⁻³M KCl+p-Si분말) 계면에서 전기이중층 충전효과(11번째 스캔, 표면적: 5.5cm²).

Fig. 9. The charging effect of the electrical double layers at the magnetized SrO·6Fe₂O₃ / (10⁻³M KCl+p-Si powders) interfaces (11th scan, surface area: 5.5cm²).

이중층내의 총 전기용량, dV/dt 는 시간에 대한 전압 변화율(스캔율)이다. 그림9는 스캔율을 10mV/s에서 100mV/s로 증가시켰을 때 충전전류의 변화를 보여 준다. 따라서, 처녀 및 자화된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 전극 계면에 형성된 전기기중층의 충전기용량 효과는 양극 과잉일때 특이흡착된 음이온(OH^-)에 의하여 최대화된다고 해석할 수 있다.

V. 結 論

處女 및 磁化된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 전극계면에서 電極過程은 유사하다. OH^- 음이온은 處女 및 磁化된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 표면에 특이흡착을 한다. 대전된 콜로이드 반도체도 Lorentz 힘에 의하여 原子系 입자(전자, 이온 등)와 같은 電磁氣的 운동을 한다. 磁化 효과는 수성 전해질 계면에서 전위장벽 작용을 한다. 대전된 p-Si 및 n-GaAs 콜로이드 반도체는 處女 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 전극계면에서 차폐 또는 전위장벽 작용을 한다. 반면에 대전된 p-Si 및 n-GaAs 콜로이드 반도체는 磁化된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 계면에서 전위장벽 청소작용을 한다. 磁化효과와 대전된 콜로이드 반도체 효과는 非可逆的이며 相互依存的이다. 磁化된 계면에서 대전된 콜로이드 반도체의 청소효과는 學際間(물리 전자공학, 생체전자공학, 표면물리화학, 전기화학, 재료 및 콜로이드 과학, 생리학) 기초 및 응용 연구에 광범위하게 이용될 수 있다.

參 考 文 獻

[1] K.H. Hellwege and A.M. Hellwege, Ed., "Numerical data and functional relationships

in science and technology," Springer-Verlag, Berlin, vol. 4, pp. 557-566, 1970.

- [2] A.J. Moulson and J.M. Herbert, "Electroceramics," Chapman and Hall, London, pp. 421-426, 1990.
- [3] 千長鎬, 趙銀詰, 羅克煥, 電子工學會 論文誌 (제출중), 1991.
- [4] J.H. Chun, J. Colloid Interface Sci., 113, 292, 1986.
- [5] J.H. Chun, J. Electrochem. Soc., 134, 3201, 1987.
- [6] 千長鎬, 電子工學會 論文誌, 25卷 10號, 69, 1988
- [7] M. Gratzel, Acc. Chem. Res., 14, 376, 1981.
- [8] M. Gratzel and A.J. Frank, J. Phys. Chem., 86, 2964, 1982.
- [9] M. Gratzel, In "Photoelectrochemistry, photocatalysis and photoreactors," M.Schiavellio ed., Reidel, Dordrecht, pp. 217-238, 1985.
- [10] R.J. Hunter, "Zeta potential in colloid science," Academic Press, London, pp. 59-64, 1981.
- [11] A.Kitahara and A. Watanabe, Ed., "Electrical phenomena at interfaces," Dekker, New York, pp. 102-115, 1984.
- [12] A.J. Moulson and J.M. Herbert, *ibid.*, pp. 163-166, 1990.

감사의 글

본 실험연구에서 사용된 處女 및 磁化된 $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 試片 製作을 하여주시신 國際 Ceramics의 金光浩 부장님께 깊은 감사를 드립니다.

著 者 紹 介

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