

اندازه‌گیری ظرفیت الکتریکی لایه مابین نیم رسانای SrTiO₃ و الکترولیت K₂SO₄ در pHهای متفاوت و کاربرد آن در اندازه‌گیری Flat band

علیرضا سردشتی*

زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده علوم، گروه شیمی، صندوق پستی ۹۸۱۶۷

پیر شارتیه

فرانسه، استراسبورگ، دانشگاه لویی پاستور، آزمایشگاه الکتروشیمی و شیمی فیزیکی مواد جامد

چکیده: در این تحقیق، اکسیدهای روی و تیتانیم - استرانسیم مورد مطالعه قرار گرفته، زیرا در تماس با محلول آبی از نظر ترمودینامیکی از همه‌ی نیم رساناها پایداترند و دارای ویژگی‌های وسیعی از جمله پیوند شیمیایی، سهولت حرکت، ناخالصی انرژی یونیزاسیون و غیره است. اندازه‌گیری ظرفیت الکتریکی لایه مابین یک تک بلور و محلول آبی K₂SO₄ یا KCl در pHهای متفاوت منجر به اندازه‌گیری پتانسیل Flat band شد که ویژگی برخی از خواص نیم رساناست. با رسم منحنی موت - اسکاتکی $C_p^{-2} = f(E)$ با توجه به نتیجه‌های به دست آمده از اندازه‌گیری ظرفیت الکتریکی الکتروود ZnO در تماس با محلول pH=۲، خطی با شیب $196/92 \mu F^{-2} cm^2 V^{-1}$ به دست آمد که متناسب با چگالی الکترونی $C_D^+ = 4/21 \times 10^{16} cm^{-3}$ است. در مورد نیم رسانای SrTiO₃ در تماس با محلول آبی یا pH=۲ غلظت دهنده $C_D^+ = 1/273 \times 10^{16} cm^{-3}$ محاسبه شد و در تماس با محلول pH=۱۲ غلظت دهنده $C_D^+ = 1/180 \times 10^{16} cm^{-3}$ به دست آمد. اندازه‌گیری ظرفیت لایه دوگانه الکتریکی نیم رساناهای نوع n، SrTiO₃ و ZnO در تماس با محلول الکترولیت‌های متفاوت مشخص می‌کند که غلظت دهنده C_D^+ به pH بستگی دارد و به‌طور خطی با E_{Fb} هنگامی که $\Delta\phi = 0$ (پتانسیل بار-فضا) تغییر می‌کند.

واژه‌های کلیدی: نیمه رساناها، SrTiO₃، ZnO، ظرفیت الکتریکی تفاضلی، چگالی الکترونی، پتانسیل حاشیه، امیدانس.

KEY WORDS: n-type semiconductor, ZnO, SrTiO₃, Differential electrical capacity, Electron density, Flat band potential, Impedance.

مقدمه

اندازه‌گیری ظرفیت لایه دوگانه الکتریکی (الکتروود - الکترولیت) بار ویژه سطح و یا پتانسیل زتا (الکتروستاتیکی) از اهمیت زیادی برخوردار است. به خاطر بررسی ویژگی‌های سطح، مانند کشش سطح فلز، به خاطر بررسی ویژگی‌های سطح، مانند کشش سطح فلز،

*عده دار مکاتبات

+E-mail: sardashti@hamoon.usb.ac.ir

علمی - پژوهشی

معادله موت - اسکاتکی

یک نیم رسانای نوع n با منطقه ممنوعه وسیع را در نظر می‌گیریم. مقدار E_g برای ZnO برابر ۳/۵ الکترون ولت است. پتانسیل داخلی ϕ_{SC} طبق رابطه زیر به وسیله E_{ref} تغییر می‌کند:

$$\phi_{SC} = \phi_{ref} + E_{ref} \quad (3)$$

تغییرهای پتانسیل داخلی ϕ_{SC} با E_{ref} به وسیله بار الکتریکی نیم رسانای q_{se} که با بار q_s (با علامت مخالف) در محلول موازنه می‌شود همراهی می‌شود.

بار q_{sc} در نیم رسانا یک بار فضایی الکترون‌های آزاد است و حفره‌های خالی تحت تاثیر بار q_s طبق نظریه‌ی گوی - چاپمن است [۴-۶]. در نتیجه می‌باید پتانسیل الکتروود را زیاد کنیم ($\Delta\phi_s < 0$) تا در لایه دوگانه الکتریکی این رابطه صدق کند $C_D^+ = q_{sc}$ البته ما یک لایه معکوس نخواهیم داشت، زیرا تشکیل الکترون - حفره یک فرایند خیلی آهسته به وسعت یک ناحیه پتانسیل بزرگ است. شرط‌های لایه تقریبی به وجود آمده با پارامتر زیر مشخص می‌شود [۷،۴]:

$$\lambda = \frac{n_i}{n_o} \cong \frac{n_i}{C_D^+} \cong 0 \quad (4)$$

$$Y = \frac{e\Delta\phi_s}{KT} \ll 0 \quad (5)$$

$$C_{SC} = \frac{\epsilon\epsilon_o}{L_D} \times \frac{\lambda^{-\frac{1}{2}}}{2} \times \frac{1}{\sqrt{-(1+Y)}} \left\{ \begin{array}{l} \lambda \ll 1 \cong \\ Y \ll 0 \end{array} \right. \quad (6)$$

$$C_{SC} = \frac{\epsilon\epsilon_o}{L_D} \times \frac{d_F(Y, \lambda)}{dy} \quad (7)$$

$$\frac{d_F}{d_Y} \cong \frac{1}{4} \times \frac{-\lambda^{-1}}{\sqrt{-\lambda^{-1} - \lambda^{-1}Y}} = \frac{1}{4} \times \frac{-\lambda^{-1}}{\sqrt{-\lambda^{-1}(FY)}} \quad (8)$$

$$\frac{d_F}{d_Y} = \frac{1}{4} \times \frac{-\lambda^{-\frac{1}{2}}}{\sqrt{-\lambda(FY)}} \quad (9)$$

$$C_{SC} = \frac{\epsilon\epsilon_o}{L_D} \times 2 \left(-\frac{1}{4} \right) \times \frac{\lambda^{-\frac{1}{2}}}{\sqrt{-(FY)}} \quad (10)$$

$$Y = \frac{e\Delta\phi_s}{KT} < 0 \quad (11)$$

$$mV = 26KT/e \quad (12)$$

وجود مقدارهای کم ناخالصی‌های فعال سطح است. در مطالعه الکتروودهای فلزی، لایه گوی - چاپمن مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل برای حالت‌های بسیار پیچیده که نیم رسانای اصلی (خارجی) به جای یک الکتروود فلزی که مشخص کننده یک سطح است به کار می‌رود. الکتروود نیم رسانا در یک محلول الکتروولیت قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری ظرفیت دیفرانسیلی لایه دوگانه الکتریکی نسبت به پتانسیل، طبق معادله‌ی توزیع بولترمن کمی هستند و حالت کاملی از فقدان اثرهای حالت سطح را در این تقسیم نشان می‌دهد (لایه گوی - چاپمن) [۷،۱].

تفاوت پتانسیل گالوانی $\Delta\phi_s$ نسبت به یک الکتروود مرجع اندازه‌گیری می‌شود که روی سه ناحیه میانی توزیع می‌شود:

- لایه بار - فضا در نیم رسانا با ضخامت 10^{-4} cm یا بیشتر

- لایه هلمهولتز به اندازه قطر یک یا دو اتم

- لایه نفوذگویی در الکتروولیت

افت پتانسیل در سرتاسر لایه گوی جزئی است.

در این روش الکتروودهای نیم‌رسانای به کار رفته جذب ویژه با ساکن در لایه هلمهولتز را از بار لایه گوی - چاپمن مشخص می‌کند. نظریه‌ی لایه فضا - بار در سطح یک نیمه رسانا به وسیله‌ی مقداری که الکتروود کار نشان می‌دهد مطابق با ظرفیت بار - فضا برای حالتی از نیم رسانای نوع n با فاصله انرژی بالا با دهنده ساکن که ممکن است به طور جزئی یونیده شود است. پس ظرفیت لایه دوگانه به نوع الکتروولیت و pH بستگی دارد. چون حفره‌ها تعیین کننده پتانسیل هستند، لذا تراکم حفره‌ها در داخل لایه شارژ - فضا در الکتروودهای نوع n زیاد می‌باشد که با میزان خوردگی سریع مطابقت می‌کند.

ماهیت توزیع پتانسیل و بار با اندازه‌گیری تفاوت ظرفیت الکتروود مشخص می‌شود:

$$C_{Se} = \frac{dq_{sc}}{d(-\Delta\phi_s)} - \frac{dq_{sc}}{d\Delta\phi_s} = \frac{\epsilon\epsilon_o}{L_D} \cosh\left(\frac{e\Delta\phi_s}{2KT}\right) \quad (1)$$

$$C_D = \frac{dq}{d(\phi_x - \phi_s)} \quad (2)$$

در این تحقیق، ظرفیت تفاضلی یک تک بلور نیم رسانا با هدایت متوسط در تماس با محلول الکتروولیت‌های K_2SO_4 و KCl در pHهای متفاوت اندازه‌گیری می‌شود، سپس چگالی الکترونی محاسبه می‌شود [۳-۵].

حدود یک میکرون بر دقیقه در دمای اتاق است [۱]. تتنانت SrTiO_3 به آسانی از واکنش TiO_2 و SrO در حالت مذاب تهیه می‌شود. این تتنانت دارای ساختمانی از نوع پروکسیت است که یک تک بلور نوع n است [۱۲ و ۱۳]. این ماده به صورت تجاری خریداری شده است^(۱).

تهیه محلول‌ها

محلول آبی الکترولیت (KCl + HCl)

ابتدا محلول هیدروکلریک اسید ۰/۰۱ مولار را از محلول غلیظ آن که ساخت شرکت مرک آلمان است، تهیه می‌کنیم. سپس در یک بالن ژوژه ۲۰۰ میلی لیتری ۲۲/۲۷ گرم پتاسیم کلرید جامد مرک را قرار داده و با محلول هیدروکلریک اسید ۰/۰۱ مولار آن را به حجم می‌رسانیم (به طوری که محلول نسبت به یون کلرید ۱/۵ مولار باشد) بدین ترتیب محلول تامپون pH=۲ تهیه می‌شود.

محلول آبی الکترولیت ($\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$)

ابتدا محلول یک مولار سولفوریک اسید را از محلول غلیظ آن که ساخت شرکت مرک آلمان است تهیه می‌کنیم. مقدار ۸/۵۴۰ گرم پتاسیم سولفات مرک آلمان را در یک بالن ژوژه ۲۰۰ میلی لیتری قرار داده (به طوری که محلول نسبت به یون پتاسیم ۰/۲۵ مولار باشد)، و پس از افزایش ۲ میلی لیتر سولفوریک اسید یک مولار آن را با آب دوبار تقطیر به حجم می‌رسانیم.

محلول آبی الکترولیت ($\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{KOH}$)

ابتدا محلول ۰/۰۱ مولار پتاسیم هیدروکسید را از جامد خالص آن که ساخت شرکت مرک آلمان است تهیه می‌کنیم. مقدار ۸/۳۶۲ گرم پتاسیم سولفات مرک آلمان را در یک بالن ژوژه ۲۰۰ میلی لیتری قرار داده (به طوری که محلول نسبت به یون پتاسیم ۰/۲۵ مولار باشد)، سپس با محلول پتاسیم هیدروکسید ۰/۰۱ مولار آن را به حجم می‌رسانیم.

سل الکتروشیمیایی و پل ظرفیتی

سل الکتروشیمیایی با طراحی به نسبت استاندارد به کار برده شده که از کوارتز ساخته شده و شامل یک الکتروود کار از جنس ZnO یا SrTiO_3 با سطح 1.19 cm^2 و در مقابل آن یک الکتروود کمکی از جنس پلاتین با سطح به مراتب بزرگ‌تر قرار دارد

(۱) Commercial crystal laboratories Inc.

$$\frac{1}{C_{SC}^{\gamma}} = -\frac{\gamma L_D^{\gamma}}{(\epsilon \epsilon^{\circ})^{\gamma}} \times (1+Y)\lambda \quad (13)$$

$$L_D = \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon^{\circ} K T}{\gamma e^{\gamma} n_i}} \quad (14)$$

$$\frac{1}{C_{SC}^{\gamma}} = \frac{\gamma K T}{\epsilon \epsilon^{\circ} e^{\gamma} n_i} \times \frac{K T + e \Delta \phi_s}{K T} \times \frac{n_i}{C_D^+} \quad (15)$$

$$\frac{1}{C_{SC}^{\gamma}} = \frac{\gamma e}{\epsilon \epsilon^{\circ} e^{\gamma} C_D^+} \times \left(\Delta \phi_s + \frac{K T}{e} \right) \quad (16)$$

$$\frac{1}{C_{SC}^{\gamma}} = \frac{\gamma}{\epsilon \epsilon^{\circ} e^{\gamma} C_D^+} \times \left(|\Delta \phi_s| - \frac{K T}{e} \right) \quad (17)$$

$$\frac{1}{C_{SC}^{\gamma}} = \frac{\gamma}{\epsilon \epsilon^{\circ} e C_D^+} \left[(E_{ref} - E_{ref} / F_b) - \frac{K T}{e} \right] \quad (18)$$

نقطه بارگیری یا شروع شارژ شدن فضا لایه دوگانه الکتریکی (خازن با صفحه‌های موازی) صفر است یعنی $\phi_{sc} = \phi_{ref} / F_b$ و باندها با ترازهای انرژی Flat Band است [۸].

امپدانس خازنی

امپدانس خازنی (Z_{di}) از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Z_{di} = \frac{1}{\gamma \pi f C_{di}} \quad (19)$$

تمایز بین C_{di} ظرفیت لایه دوگانه که مستقل از فرکانس f می‌باشد و امپدانس خازنی (Z_{di}) که با فرکانس تغییر می‌کند حایز اهمیت می‌باشد. اگر فرکانس بالا باشد (۱۰ کیلوهرتز) مقدار امپدانس خازنی کوچک می‌شود و در عمل تمام جریان از درون ظرفیت لایه دوگانه می‌گذرد. در نتیجه سهم امپدانس فارادی قابل اغماض است و تنها جزء متاثر از جریان، مقاومت محلول است [۹-۱۱].

روش‌های تجربی

تهیه نمونه

بلورهای مورد بحث از واکنش‌های فاز بخار بین روی و اکسیژن در دمای ۱۲۰۰ کلون که دارای قطر ۱/۲۳ سانتی متر است تهیه شده است و میزان رسانای الکتریکی آنها در گستره‌ای از $0.1 \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ تا $3 \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ است. بلورها از نظر طول و شعاع به طور کامل یکنواخت هستند. یکنواخت بودن طول به وسیله‌ی اندازه‌های هدایتی کنترل شده و سرعت قراردادی در

جدول ۱- اندازه‌گیری ظرفیت الکتریکی دیفرانسیلی لایه نیم‌رسانای الکترولیت در فرکانس ۲۰ kHz.

SrTiO ₃	SrTiO ₃ سطح الکتروود دوباره تمیز شده	SrTiO ₃	ZnO	الکتروود تک بلور نوع n
-۱٫۲۴	-۰٫۷۸	-۱٫۰۴	-۱٫۶۷	E _{Flat Band} (ولت)
۱٫۱۸۰	۱٫۴۱۲	۱٫۲۷۳	۴٫۲۱۰	$10^{-16} \text{CD}^+ \text{cm}^{-2}$
۲۴٫۳۶	۱۲۷٫۶۷	۱۸۷٫۸	۳۲۸٫۹۳	عرض از مبدا
۱۹۴٫۳۶	۱۶۳٫۵۹	۱۸۰٫۴۹	۱۹۶٫۹۲	شیب ($\mu\text{F}^{-1} \text{cm}^2 \text{V}^{-1}$)
۱۷۰	۱۱۹	۱۵۶	۲۷۳	$C_p / \text{الکتریکی} (\mu\text{F}^{-1} \text{cm}^2)$
-۰٫۴	-۰٫۱	-۰٫۲	-۰٫۳	E نقطه انحراف از خط (ولت)
+۰٫۰۴۸	+۰٫۰۵۹	+۰٫۰۵۲	۰٫۰۴۴	ظرفیت مینیمم الکتریکی ($\text{cm}\mu\text{F}^2$)
+۱٫۰	+۱٫۰	+۱٫۰	+۱٫۰	E/Ecs ظرفیت مینیمم الکتریکی (ولت)
۰٫۰۱ MKOH +۰٫۲۵ MK ₂ SO ₄	۰٫۰۰۵ MH ₂ SO ₄ +۰٫۲۵ MK ₂ SO ₄	۰٫۰۰۵ MH ₂ SO ₄ +۰٫۲۵ MK ₂ SO ₄	HCl +KCl	محلول بافری
pH = ۱۲	pH = ۲	pH = ۲	pH = ۲	pH محلول بافری

نشان می‌دهد که در محیط اسیدی با یک تعادل تثبیت الکترون روی سطح الکتروود نیم رسانا روبرو هستیم. E_{redox} طوری با شیب 0.059 Volt/pH تغییر می‌کند که مقدار $E_{\text{fb}} - E_{\text{redox}}$ همچنان ثابت می‌ماند. بنابراین، نتیجه می‌گیریم که هر دو پتانسیل به pH بستگی دارند [۶ و ۷].

پژوهشگرانی چون *Bolts et wrighton* پی برده‌اند که نیم رساناهایی مانند الکتروودهای فلزی در یک تعادل تثبیت الکترون روی سطح الکتروود در محیط اسیدی شرکت می‌کنند. متاسفانه جابه‌جایی بزرگ در E_{fb} به مفهوم تغییر E_{fb} با E_{redox} نیستند، زیرا مقدار $E_{\text{fb}} - E_{\text{redox}}$ همچنان ثابت باقی می‌ماند. بنابراین هر دو پتانسیل با pH تغییر می‌کنند و به همین دلیل است که باید اندازه‌گیری در pH ثابت صورت گیرد. ظرفیت الکتریکی لایه مابین نیم رسانای ZnO از نوع n اصلی در تماس با تامپون (HCl+KCl) در $\text{pH}=2$ نسبت به تغییرهای تفاوت پتانسیل ($E_{\text{ref}} = \varphi_{\text{sc}} - \varphi_{\text{ref}}$) در فرکانس ۲۰ KHZ در جدول ۱ اندازه‌گیری شده است.

دهنده C_D که بخشی از شیب قسمت خطی منحنی موت - اسکاتکی است $1.6 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-2} = 4.210 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-2}$ محاسبه می‌شود (شکل ۲). برای نیم رسانای SrTiO₃ در همان فرکانس و $\text{pH}=2$ غلظت دهنده $1.6 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-2}$ محاسبه شده است. هنگامی که سطح الکتروود SrTiO₃ را دوباره تمیز می‌کنیم و بعد در تماس با محلول ($0.05 \text{ M H}_2\text{SO}_4 + 0.25 \text{ M K}_2\text{SO}_4$) در $\text{pH}=2$ قرار می‌دهیم، مقدار چگالی الکترونی $1.6 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-2}$ محاسبه می‌شود

به همراه یک محلول آبی الکترولیت با pH ثابت در این سلول قرار دارد و الکتروود کالومل اشباع که در سل دیگری قرار دارد به وسیله یک پل نمکی ۱M KCl به این سل متصل است.

قبل از اندازه‌گیری، سل الکتروشیمیایی به مدت ۱۵ دقیقه به وسیله گاز نیتروژن هوازدایی می‌شود، سپس به وسیله یک پتانسیومتر نیز که در مدار قرار دارد پتانسیلی را به سلول الکتروشیمیایی تحمیل می‌کنیم. اندازه‌گیری ظرفیت لایه دوگانه ما بین نیم رسانا و الکترولیت به وسیله یک پل امپدانس ۱۶۵۶ (با مقاومت داخلی ۱۰۰۰ اهم) با تغییر پتانسیل در فرکانس ثابت (۲۰ KHZ) انجام می‌شود [۱۴ و ۱۵].

فرکانس بهینه ۲۰ KHZ از روی منحنی تغییرهای ظرفیت الکتریکی نسبت به فرکانس به دست آمده است که ظرفیت لایه دوگانه الکتریکی در این فرکانس کمترین تغییرها را دارد (شکل ۱).

نتیجه‌ها و بحث

در اندازه‌گیری ظرفیت تفاضلی C_D^+ لایه دوگانه در فرکانس ۲۰ KHZ نسبت به پتانسیل الکتروود $E_{\text{ref}} = \varphi_{\text{sc}} - \varphi_{\text{ref}}(s) = \Delta\varphi_s$ پارامتر مهم نقش دارند:

الف - تغییرات پتانسیل حاشیه ای (Falt band) نسبت به $E_{\text{ref/Fb}}$ هنگامی که پتانسیل بار - فضا ($\Delta\varphi_s$) صفر می‌شود.

ب - غلظت دهنده C_D^+ که بستگی به pH دارد و به‌طور خطی با شیب 0.059 Volt/pH نسبت به E_{fb} تغییر می‌کند. نتیجه‌ها

[۱۶ و ۱۵]. آن طوری که نتیجه‌ها نشان می‌دهد و غلظت دهنده نیم رسانای ZnO در محیط اسیدی بیشتر از غلظت دهنده نیم رسانای SrTiO₃ است. بنابراین، میزان خوردگی برای ZnO بیشتر از SrTiO₃ است. اما در محیط بازی میزان خوردگی کاهش می‌یابد.

قسمت خطی منحنی موت - اسکاتکی نشان دهنده یونش کامل و قسمت انحنای آن بیانگر یونش ناقص است. در محلول آبی با pH=۱۲ چون پتاس در تماس با نیم رسانای SrTiO₃ است، لذا مولکول‌های آب و یون‌های پتاسیم جایگزین پروتون‌ها می‌شود بنابراین، دی پل سطح منفی تر می‌شود. این رفتارها بستگی به pH محلول دارد.

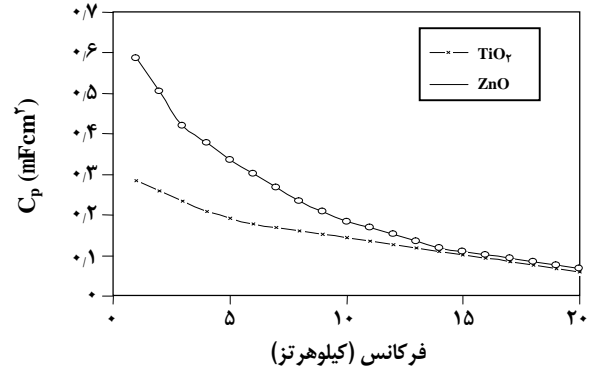
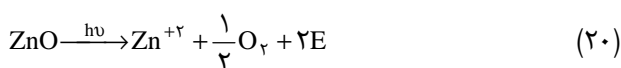
پتانسیل Flat Band هنگامی که $C_{sc}^{-2} = 0$ می‌شود به دست می‌آید (شکل ۳). بنابراین، امتداد منحنی موت - اسکاتکی از نقطه تعادل (تغییر انحناء)، محور x ها را در $E = -0.785$ ولت قطع می‌کند که در این حالت نتیجه تکرار پذیر نیست.

بقیه جواب‌ها آن‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، نسبت به ارزش نظری (۰/۷ - ولت) تکرار پذیر هستند [۱۴ و ۱۵]. از آنجا که شیب منحنی موت - اسکاتکی با $4200 \mu F^{-2} cm^4 V^{-1}$ برای حالتی که نیم رسانا ZnO ۱۰۰ درصد یونیده است. بنابراین، بلور ZnO مورد بررسی ما ۵ درصد یونیده می‌شود [۱].

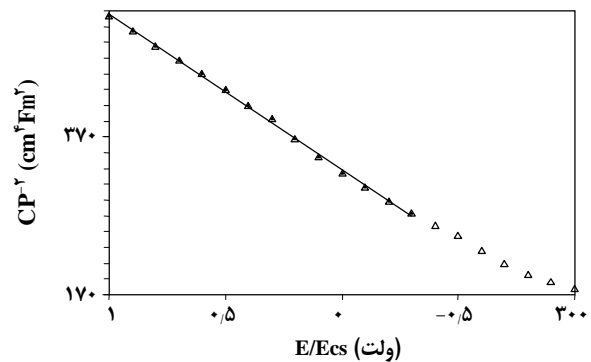
نتیجه گیری نهایی

پتانسیل‌های مشاهده شده به وسیله‌ی لایه دو گانه الکتریکی (الکتروود - الکترولیت) تولید می‌شود که ساختمان آن مسئول بسیاری از خواص سیستم است. سینتیک الکتروود، به طور عمده تحت تاثیر ساختمان لایه دو گانه در سطح مشترک الکتروود - محلول قرار داشته و با بسط نظریه‌ی لایه دو گانه در مورد سطح مشترک به تفصیل ویژه پدیده‌ها الکتروسینتیک منجر شده و درک عوامل موثر در پایداری کلوئیدی را سبب می‌شود، فرایند‌های غشاء پیل و مبادله یون نیز به وسیله‌ی آن توضیح داده می‌شود.

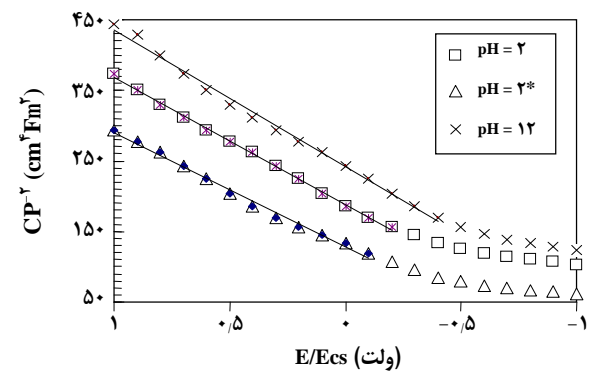
اندازه‌گیری‌های ظرفیت لایه دو گانه، اطلاعات ارزشمندی را درباره فرایند جذب سطحی و دفع سطحی و نیز درباره ساختار الکترودهای اصلاح شده با لایه نازک به دست می‌دهد. اندازه‌گیری پتانسیل Flat band می‌تواند اهمیت زیادی در مطالعات مربوط به انرژی خورشیدی و فوتوالکتروشیمی داشته باشد [۳ و ۱۷].



شکل ۱ - تعیین فرکانس بهینه (در پتانسیل صفر) برای نیم رسانا، SrTiO₃- در تماس با محلول (۰/۲۵ M K₂SO₄ + ۰/۰۱ M KOH) ، pH=۱۲ ، ب ZnO- در تماس با محلول (۰/۰۰۱ M KOH) + ۰/۰۲۵ M K₂SO₄ ، pH=۱۰



شکل ۲ - تغییرهای $C_p^{-2} (\mu F^{-2} cm^4)$ نیم رسانای ZnO در تماس با محلول (HCl + KCl) با pH = ۲ نسبت به تغییرهای پتانسیل در فرکانس بهینه ۲۰ kHz برای محاسبه غلظت دهنده C_D^+ .



شکل ۳ - تغییرهای $C_p^{-2} (\mu F^{-2} cm^4)$ نیم رسانای SrTiO₃ در تماس با الکترولیت‌های متفاوت نسبت به تغییرهای پتانسیل در فرکانس بهینه ۲۰ kHz برای محاسبه غلظت دهنده C_D^+ ، pH=۲ ، الکترولیت محلول (۰/۲۵ M K₂SO₄ + ۰/۰۰۵ M H₂SO₄) ، pH=۲* ، سطح الکتروود دوباره تمیز شده و بعد در تماس با محلول، (۰/۲۵ M K₂SO₄ + ۰/۰۰۵ M H₂SO₄) قرار می‌گیرد. ، pH=۱۲ الکترولیت محلول (۰/۲۵ M K₂SO₄ + ۰/۰۱ M KOH).

فهرست علائم

n_i	دانسیتته کل دهنده‌ها (به طور کامل یونیده شده در نقطه x)		
n_0	چگالی الکترونی آزاد	φ	پتانسیل بار فضا
y	(چگالی الکترونی روی سطح وسیعی از نیم رسانا)	E_g	انرژی منطقه ممنوعه
	پتانسیل سطح اندازه‌گیری شده در قسمتی از	q_{sc}	بار فضایی
	حجم در واحد KT/e	q_s	بار حالت سطح
$F=n_0/n_i$	کسری از دهنده‌های یونیده شده	k	ثابت بولترمن
$e = 1.602 \times 10^{-19} C$	بار الکترون	T	دمای کلوین
$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} mF^{-1}$	ثابت نسبی	ϵ	ثابت دی الکتریک
		φ_s	پتانسیل سطح
		C_{sc}	ظرفیت لایه بار-فضا
		C_{ss}	ظرفیت سطح

تاریخ دریافت: ۱۵/۶/۸۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱/۸/۸۵

مراجع

- [1] Dewald, J. F., *The BELL System Technical Journal*, **513**, 615, (1960).
- [2] Crow, D. R., "Principles and Application of Electrochemistry", Chapman & Hall, London, Chapter 5, (1994).
- [3] Allard, L.F. et al., *J. Mat. Sci.*, **29**, 56, 2, (1994).
- [4] Rieger Philip, H., "Electrochemistry", Prentic-Hall international Edition, Chapter 2, (1987).
- [5] موسوی کوزه کنان، میر فضل الله؛ گلابی، سید مهدی؛ "روش‌های دستگاهی در الکتروشیمی"، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، فصل ۵ (۱۳۷۶).
- [6] Bohnen Kamp, K. and Engll, H. J. Z., *Electrochem.*, **61**, 1154, (1957)
- [7] Alberts, W. A. Jr. and Thomas, J. E., *Bull. Am. Phys. Soc.*, **11** (3), 219 (1959).
- [8] Dewald, J. F., *Bull. Am. Phys. Soc.*, **11** (3), 129 (1958).
- [9] Collier, R. L., *American Journal of Physics*, **57** (4), 362 (1989).
- [10] Harland, C.D., Clark, T. D. and Prance, R. D., *Applied Physics Letters*, **17** (81), 3284 (2002).
- [11] واسوس، جی ام؛ یوئینگ جی دلبیو؛ ترجمه گلابی، سید مهدی؛ "الکتروشیمی تجزیه‌ای"، انتشارات دانشگاه تبریز، صفحه ۲۷ (۱۳۶۷).
- [12] Kohli, A., Thesis M. S., Ohio Std University (1998).
- [13] Macdonald, J. R., *J. Chem. Phys*, **29**, 1346, (1958).
- [14] Dutoit, E. C., Cordon, F. and Gomes, W. P., *Ber Bunsenges Phys. Rev.*, **79**, 475 (1975).
- [15] Brattain, W. H. and Garrett, C. G. B., *Bell System Tech. J.*, **31**, 129 (1955).
- [16] Lohmann, F., *Ber Bunsenges. Phys. Chem.*, **70**, 87 (1966).
- [17] Pfeiffer, M., Fossent, S. R., Zhou, X., Leob, K., *J. Organic Electronics*, **4**, 21 (2003).