بررسی خواص اپتیکی شیشه سیستم Li₂O-Al₂O₃-SiO₂-TiO₂ در حضور آلاینده Cr₂O₃

ناصر حسینی^{*۱}، محمد رضوانی^۲، محمدصادق شاکری^۱ ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مکانیک، دانشگاه تبریز، گروه مهندسی مواد، تبریز، ایران ۲- استادیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه تبریز، گروه مهندسی مواد، تبریز، ایران ۱۰ مaser_hoseini@yahoo.com (تاریخ دریافت: ۹۰/۰۶/۰۷، تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۱/۲۰)

چکیدہ

در این پژوهش پس از تولید شیشه پایه SiO₂-TiO₂-SiO₂-TiO₂ حاوی آلاینده Cr₂O₃ به روش ذوب و ریخته گری، تـاثیر مقـادیر مختلف آلاینده بر خواص اپتیکی و اسپکتروسکوپی شیشه، مورد بحث و بررسی قـرار گرفته است. بـه منظور بررسی خواص اسپکتروسکوپی، اپتیکی و ساختاری شیشههای تولید شده از طیف سـنجی جـذبی مرئی- فرابنفش و طیف سـنجی FT-IR اسـتفاده گردیده است. بر این اساس، پارامترهای اپتیکی نظیر ضریب جذب، ضریب خاموشی، انـرژی فرمی، بانـد ممنوعه نـوری و انـرژی Urbach با استفاده از آنالیز اسپکتروسکوپی جذبی مرئی- ماوراء بنفش محاسبه شد. با توجه به نتایج محاسبات، افزودن ۱۸۵٪ Cr₂O3 به شیشه پایه، موجب کاهش مقادیر حجم مولی، باند ممنوعه نوری، انرژی فرمی، انرژی مالی و افزایش مقدار دانسیته می شود.

> **واژههای کلیدی:** شیشه لیتیوم آلومینوسیلیکات، خواص اپتیکی، ضریب جذب، باند ممنوعه نوری

۱-مقدمه

به دلیل دو ویژگی مثبت ضریب انبساط حرارتی پایین و شفافیت بالا مخصوصا در نواحی فروسرخ شیشههای لیتیم آلومینوسیلیکات (LAST)، در سالهای اخیر ازاین شیشهها در کاربردهای مختلف استفاده شده است. از دیگر ویژگی های این شیشه ها می توان به مقاومت شیمیایی بالا در محیطهای اسیدی و بازی، قابلیت افزایش استحکام و چقرمگی بالا با استفاده از تقویت کننده فیبرهای SiC اشاره کرد [۱-۵].

حضور آلاینده های فلزات واسطه و عناصر نادر خاکی در زمینه شیشه ای باعث می شود تا ترازهای الکترونی به گونه ای تغییر یافته و ویژگی های اسپکتروسکوپی را تحت تاثیر قرار دهند. تغییر در خواص اپتیکی و الکترونی ماده پایه در حضور اتم های ناخالصی را می توان به تر تیب به تغییرات انرژی لیگاند اربیتال های b و f فلزات واسطه و عناصر نادر خاکی نسبت داد [۶-۸]. از بین فلزات انتقالی یون های ۲³⁺ و ۲⁶⁺ تشکیل شده در اثر نسبت افزایش می یابد. بر اساس تئوری Tauc افزایش قسمت قبل

حالتهای اکسیداسیون مختلف عنصر کروم می توانند با آلاییده شدن در یک زمینه شیشهای مناسب خواص اپتیکی خطی و غیرخطی را به نحو منحصربه فردی تحت تاثیر قرار دهند. بر این اساس، وقتی که یون کروم بصورت ⁺³Cr است، نقش دگر گون سازی را در سیستم ایفا می کند، اما وقتی که این یون به صورت ⁴⁶ Cr⁶⁴ شود، نقش شبکه سازی با واحدهای ساختاری ²⁵ CrOرا خواهد داشت [۹ – ۱۰].

در اپتیک، ضریب جذب یک ماده نشان دهنده میزان توانایی فوتونها در تغییر میزان انرژی الکترونهای آن ماده میباشد. ضریب جذب بالا بدین معنی است که باریکه نور هنگام عبور از محیط مادی به آسانی جذب می شود و ضریب جذب پایین نشان می دهد که محیط برای باریکه نور عبوری، نسبتا شفاف است. تراز فرمی، ترازی است که احتمال حضور الکترون در آن و در صفر درجه مطلق ۵۰٪ میباشد. بر اساس اینکه جذب موج نوری فرابنفش قوی تر از موج نوری مرئی است [11]. عموما در مواد عایق و نیمه رسانا، باند ممنوعه نوری عموما به اختلاف انرژی می شود. این بدین معنی است که الکترونهما برای رها شدن از لایه ظرفیت الکترونی نیاز به انرژی برابر با اختلاف انرژی ذکر شده دارند. بنابراین باند ممنوعه، فاکتوری عمومی برای محاسبه شده دارند. بنابراین باند ممنوعه، فاکتوری عمومی برای محاسبه

برای محاسبه خواص نوری غیر خطی داشتن اطلاعاتی در مورد ضریب جذب ضروری است [۱۲ - ۱۳]. بر اساس تئوری Tauc در برخی مواد آمورف نمودار تغییرات ضریب جذب برحسب انرژی فوتون به سه بخش قابل تقسیم است. ناحیه اول اغلب مربوط به انتقالات فوتونی است و به علت انرژی کمتر نسبت به باند ممنوعه، انتقالات فوتونی در آن دیده نمی شود. ناحیه دوم (ناحیه ممنوعه، انتقالات فوتونی در آن دیده نمی شود. ناحیه دوم باند ممنوعه، انتقالات فوتونی در آن دیده نمی شود. ناحیه دوم باند ماندی است. در نهایت ناحیه سوم نمودار تغییرات ضریب جذب بر حسب انرژی فوتون ها، نشان دهنده مقدار انرژی مربوط Urbach هرچهقدر نظم شبکه افزایش می یابد شیب این ناحیه نیز به همان

از لبه جذب روند نمایی دارد [۱۱]. در سالیان اخیر تحقیقات فراوانی برروی شیشههای لیتیوم آلومينوسيليكات بهعنوان زمينه مناسب براي يونهاي فلزات انتقالی و نادر خاکی انجام شده است. در همهی موارد، یون های آلاييده شده خواص نوري ويژهاي مانند نيمه رسانايي، خاصيت فلو نورسنس در طول موج مختلف و ... را در زمینه شیشه ایجاد کردهاند. اتصالات یون های فلزی در شبکه SiO₂، آرایش های ساختاری موضعی و حالتهای اکسیدشدن مختلف، باعث ایجاد جذب و پراکنش در ناحیه مرئی می شود. در تحقیقات پیشین صورت گرفته، برای سیستمهای مختلف شیشه پارامترهای اپتیکی مختلفی مانند ثوابت نوری (ضریب شکست و ضریب خاموشی)، یراکندگی، انرژی پراکندگی و ... بدست آمده است. در تحقیق حاضر تلاش شده است تا تاثیر مقادیر مختلف Cr₂O₃ بر خواص نوری و ساختار شیشه LAST بررسی شود. علاوه بر آلاینده Cr₂O₃، ۲ درصد TiO₂ جهت جوانه زایی همگن در مرحله توليد شيشهسراميك كه خارج از مباحث اين مقاله می باشد، به ترکیب پایه اضافه شده است. این مقدار TiO₂ تاثیر خیلی اندکی بر روی خواص نوری داشته و در تحلیل مباحث ايتيكي شيشه، منظور نمي شود.

۲- مواد و روش تحقیق

با استفاده از مواد اولیه با خلوص ۹۹۹٪، تر کیب شیشه (%wt) 14.5Li₂O-19.8Al₂O₃-63.7SiO₂-2TiO₂ آلاینده Cr₂O₃-63.7SiO و 14.5Li₂O مواد اولیه شامل Li₂CO₃ دCr₂O آماده شد. Si₂O و Cr₂O پس از مخلوط سازی مکانیکی و همگن سازی اولیه در بوته آلومینایی و با استفاده از کوره الکتریکی با دمای ۹۰.۰۰۲ به مدت ۱۲۰ دقیقه، ذوب شد. شیشه ذوب شده در قالب فولادی ^۲۷۵۵۲ ۲۰ «۱/۵ پیش گرم شده در دمای ۳۰۵۰ ریخته گری شد. پس از کاهش اولیه دما، قالب در کوره قرار داده و شیشه تا دمای اتاق در کوره خاموش، سرد شد. شیشههای پولیش شده برای اندازه گیری های اپتیکی

آماده شدند. شایان ذکر است که دانسیته نمونههای شیشهای با استفاده از روش استاندارد ارشمیدوس در دمای اتاق محاسبه شد. از نقطهنظر اپتیکی، اسپکتروسکوپی جذبی با استفاده از اسپکتروفوتومتر UV-VIS PG instruments رمای اتاق اندازه گیری شده و در نهایت اسپکتروسکوپی FT-IR شیشهها که با استفاده از روش KBr آماده سازی شده بودند با دستگاه Bruker- TENSOR27

 ۳-نتایج و بحث

 -۱- دانسیته و حجم مولی

 ۱۰۳

 دانسیته نمونه های شیشه با استفاده از قانون ارشمیدوس محاسب

 شد.

 شد.

 (۱)

W₁ و W₂ به ترتیب جرم نمونههای شیشه در هوا و آب می باشند. حجم مولی نمونهها نیز با استفاده از رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$V_{\rm m} = \sum_{\rm i} \frac{M_{\rm i}}{D} \tag{(7)}$$

در این رابطه، Mi جرم مولی شیشه است که با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می شود.

$$M_i = C_i A_i \tag{(*)}$$

⁽¹⁾ ایه ترتیب غلظت مولی و جرم ملکولی هستند. جدول (۱) دانسیته و حجم مولی شیشه های LAST حاوی مقادیر مختلف آلاینده Cr₂O₃ را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود با افزایش درصد Cr₂O₃، دانسیته شیشه افزایش و حجم مولی آن کاهش می یابد. این بدین معنی است که شیشه ها متراکم تر می شوند. متراکم شدن شیشه ها را می توان به ماهیت شیشه ساز بودن یون ⁺²Cr نسبت داد. به نظر می رسد که یون ⁺¹Cr با ایجاد

ساختارهای Cr₂SiO₅ در زمینه ⁻⁴SiO₄ نقـش تـراکمبخشی بـه شیشه را بهخوبی ایفا میکند.

<u>ب</u> المراجع الم				
حجم مولی (cm³/mol)	دانسیته (g/cm3)	ضخامت (cm)	نمونهها	
۱۷/۸۲	۲/۶۱	١/٢	Cr_2O_3 /. •	
۱۷/۳۴	۲/۶۷	١/٢	$Cr_2O_3//\Delta$	
۱۷/۰۸	۲/۷۶	١/٢	Cr ₂ O ₃ %.	
18/98	۲/۸۴	١/٢	Cr ₂ O ₃ ٪.۱/۵	

جدول(۱): خواص فیزیکی شیشههای LAST حاوی آلاینده Cr₂O₃

 $I=I_0 \exp(-\alpha t)$

در این رابطه، I شدت نور خروجی، I₀ شدت نور ورودی و t میزان ضخامت جسم بالک میباشد. انتشار موج الکترومغناطیسی در مواد به دو ثابت اپتیکی ضریب شکست (n) و ضریب خاموشی (k) وابسته است. n نشان دهنده اثر فاز و k نشان دهنده اثر دامنه انتشار موج نوری، بر ماده است. با استناد به رابطه (۴) بهراحتی می توان ضریب خاموشی را با استفاده از رابطه (۵) محاسبه نمود.

$$k = \frac{\alpha \lambda}{4\pi} \tag{(b)}$$

که در این رابطه، ۸ طول موج پرتو تابشی در خلا میباشد. الکترون ها در مواد می توانند بین ترازهای انرژی به شکل های مختلف انتقال یابند [۸]. بالاترین انرژی انتقال، به حرکت از قسمت پایینی باند ظرفیت، به قسمت بالایی باند هدایت در لبه جذب مربوط است که با استفاده از رابطه (۶) قابل محاسبه است.

$$\alpha(v) - \beta^2 \frac{(hv - E_g^{opt})^2}{hv} \tag{A}$$

که در این رابطه، Eg^{opt} باند ممنوعه نوری شیشه است. همچنین، hv میزان انرژی فوتون برخوردی است که با تغییر فرکانس موجهای برخوردی تغییر میکند [۸]،: β مقداری ثابت و نشاندهنده ثابت پسماند باند میباشد.

جدول(۲): خواص مربوط به باند ممنوعه اپتیکی برای شیشههای LAST
حاوى مقادير مختلف آلاينده Cr ₂ O ₃

Eu	E_{f}	$\mathrm{E_{g}}^{\mathrm{opt}}$	انرژی(ev)
•/٩٨	۳/۵	37/84	Cr ₂ O ₃ %.
۰/۳۵	4/29	۲/۵۶	Cr_2O_3 . · / Δ
• /٣٢	۲/۲	4/44	Cr ₂ O ₃ %
•/۲٩	۲/۱۶	۲/۳۹	Cr ₂ O ₃ :/.1/۵

 $\beta = \sqrt{\frac{(4\pi/C)\sigma_0}{n_0\Delta E}}$

ΔE در این رابطه، ۵۰ رسانایی الکتریکی در صفر مطلق و ΔE پسماند حالتهای موضعی در باند ممنوعه میباشند [۱۳ – ۱۴]. جدول (۲) شامل مقادیر باند ممنوعه نوری شیشههای LAST محتوی مقادیر مختلف آلاینده Cr₂O₃ میباشد. مقدار باند ممنوعه نوری با افزایش مقدار آلاینده دCr₂O₃ کاهش مییابد که دلیل آن را می توان به پهنشدگی تراز هدایت نسبت داد [۵۹ – ۱۹]. شیشه پایه دارای بیشترین مقدار انرژی باند ممنوعه نوری است. کاهش ^{op} برای شیشه حاوی آلاینده به دلیل کاهش انرژی میانگین پیوند میباشد. انرژی میانگین پیوند نیز به میزان کوالانسی بودن و یونی بودن پیون بستگی دارد و با کاهش میزان پیوندهای کوالانسی، کاهش مییابد [۷۱ – ۲۴]. میزان محاوری استه دارای میاه مییابد میابه ایر میزان میانگین محاور با کاهش مییابد ایر میزان میاندهای کوالانسی، کاهش مییابد ایر

$$E_g = \frac{hc}{\lambda_{ae}} \tag{9}$$

در این رابطه، E_g انرژی باند ممنوعه، C سرعت انتشار نور در خلا، h ثابت پلانک و عمد طول موج لبه جذب می باشد. شکل(۱) اسپکتروسکوپی جذبی مرئی – فرابنفش را برای شیشههای LAST آلاییده شده با مقادیر مختلف Cr₂O₃ نشان می دهد.

۳-۳- انوژی تواز فرهی
ارتباط بین ضریب خاموشی و انرژی فرمی برای شیشههای
مختلف بر اساس تابع توزیع فرمی-دیراک بهدست می آید.
مختلف بر اساس تابع [
$$k(\lambda) = \frac{1}{1+\exp[(E_F - E)/K_BT]}$$
(۷)

که در این رابطه، E_F انرژی تراز فرمی، E=hc/۸ انرژی فوتون تابشی و k_BT اتـلاف انـرژی گرمـایی ناشـی از بـالا رفـتن دمـا میباشـد. بنـابراین E_F را مـی تـوان بـا اسـتفاده از بـرازش حـداقل مربعات رابطه (۷) در طولموجهای مختلف محاسبه نمود.



جدول(۲) شامل مقادیر E_F محاسبه شده برای شیشههای حاوی مقادیر مختلف آلاینده Cr₂O₃ میباشد. بزرگ بودن مقادیر E_F نسبت به K_BT نشان میدهد که شیشهها ذاتا عایق میباشند. **-۳- باند ممنوعه نوری** مقـدار بانـد ممنوعـه نـوری را بـا اسـتفاده از رابطـه زیـر می توان محاسبه نمود.



شكل (۲): اسيكتروسكويي FT-IR شيشه هاي LAST حاوى Cr₂O₃

٤- نتىجە گىرى يون Cr₂O₃ بعنوان آلاينده تغييرات ساختاري و خواص نوري منحصربه فردی در شیشه سیستم LAST ایجاد می کند که باعث می شود این شیشه ها در تجهیزات نوری حساس و دقیق به کار برده شوند. با استناد به نتایج حاصل از طيف سنجي ها و پارامترهای اپتیکی محاسبه شده می توان موارد زیر را نتیجه گر فت. ۱- دانسیته شیشه با افزایش میزان Cr₂O₃ کاهش می یابد و شیشه متراكم تر مي شود. ۲- يون Cr₂O₃ به دليل ايجاد مراكز جاذب نور در شيشه، ضريب جذب و ضریب خاموشی آن را تحت تاثیر قرار میدهد. ۳- آلاییده شدن Cr₂O₃ در شبکه شیشه باعث ایجاد تراز انرژی در باند ممنوعه نوري مي شود و خواص نيمه رسانايي به شيشه مىبخشد. ۴- با توجه به نتایج محاسبات انرژی Urbach، افزایش میزان آلاینده Cr₂O₃ باعث افزایش نظم ساختاری در شیشه می شود.

$$\alpha(v) = \beta \exp(\frac{hv}{E_U}) \tag{(1.)}$$

طبق تحقیقات Tauc [۱۵] فاکتورهایی مانند اعوجاج و ارتعاشهای حرارتی، میدانهای الکتریکی عیوب شبکهای و ... می توانند باعث ایجاد انرژی پسماند در باند ممنوعه شوند که بر این اساس شیب منطقه Urbach تحت تاثیر قرار می گیرد. جدول (۲) شامل مقادیر انرژی Urbach شیشههای LAST دارای مقادیر مختلف آلاینده Cr₂O₃ میباشد. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش درصد Cr₂O₃ انرژی Urbach و میزان نظم می ساختاری شیشه نسبت معکوس با یکدیگر دارند، می توان نتیجه گرفت که افزایش میزان آلاینده Cr₂O₃ میزان نظم ساختاری را افزایش می دهد. نقش شبکه سازی Cr₂O₃ و کاهش اکسیژن های غیر پل ساز را می توان دلیلی بر افزایش نظم ساختاری دانست.

FT-IR اسپکتروسکوپی جذبی

طيف FT-IR اطلاعاتي در مورد ارتعاش متقارن و نامتقارن خمشی، کششی و چرخشی باندهای اتمی میدهد. واکنش موج IR با نمونه باعث مي شود كه ييوند بين ملكول ها دچار كشش، چرخش و یا ارتعاش شوند. شکل (۲) آنالیز اسپکتروسکوپی FT-IR برای شیشه LAST در حضور مقادیر مختلف آلاینده Cr₂O₃ را نشان می دهد. در این طیفها سه باند مهم وجود دارد که نشان دهندهی شبکه سه بعدی باندهای سیلیکونی است. وجود پیک یهن در ۱۰۰۰cm نشان دهنده ارتعاش کششی نامتقارن Si - O - Si در شبکه نمونه ها می باشد [۲۵ - ۲۷]. در شیشههای LAST، یون های Al³⁺ به جای Si⁴⁺ در شبکه تتراهدرال قرار می گیرند و درسیستم نقش شبکه سازی دارن. بنابراین ارتعاش نامتقارن Si – O – Al را نیز می توان جزئی از همین باند به حساب آورد. جذب در ۷۱۹ cm⁻¹ نشان دهندهی ارتعاش کششی متقارن Si - O - Si است و همچنین پیک مربوط به ۲۰۰ ۴۷۵ نشان دهنده ارتعاش کششی O - Si - O است. البته این پیک می تواند نشان دهنده ار تعاش کششی متقارن تتراهدرالهای LiO₄ نیز باشد [۲۷].

- [15] E.G. Parada, P. Gonzalez, J. Pou, J. Serra, D. Fernandez, B. Leon, M. Perez-amor, "Aging of Photochemical Vapor Deposited Silicon Oxide Thin Films", J. Vac. Svi. Technol A, Vol. 14, pp. 436-440, 1996.
- [16] M.A. Hassan, C.A. Hogarth, "A Study of The Structural, Electrical and Optical Properties of Copper Tellurium Oxide Glasses", J. Mater. Sci. Vol. 23, pp. 2500-2504, 1988.
- [17] V.V. Dimitrov, S.H. Kim, T. yoko, S. Sakka, "Third Harmonic Generation in PbO-SiO2 and PbO-B2O3 Glasses", J. Ceram. Soc. Jpn. Vol. 101, pp. 59-63, 1993.
- [18] R. H. French, R. Abou-Rahme, D. J. Jones, L. E. McNeil, "Absorption Edge and Band Gap of SiO2 Fused Silica Glass", Vol. 28, pp. 63-67, 1992.
- [19] K. Terashima, T. Hashimoto, T. Uchino, H. Kim, T.Yoko, "Structure and Nonlinear Optical Properties of Sb 2O3-B2O3 Binary Glasses", J. Ceram. Soc. Jpn. Vol. 104, pp.1008-1014, 1996.
- [20] K. Terashima, T. Uchino, T. Hashimoto, T.Yoko, "Structure and Nonlinear Optical Properties of BaO-TiO2-B2O3 Glasses", J. Ceram. Soc. Jpn. Vol. 105, pp. 309-313, 1997.
- [21] K. Terashima, T. Shimoto, T. Yoko, "Nonlinear Optical Properties of B2O3-Based Glasses: PbO-Bi2O3-B2O3 Heavy Metal Oxide Glasses", Phys. Chem. Glasse, Vol. 38, pp. 211-217, 1997.
- [22] T.S. Moss, G.J. Burrell, E. Ellis, Semiconductor Opto-Electronics, first ed., p. 124, Butterworths, London, 1973.
- [23] G.D. Cody, T.Tiedje, B. Abeles, B. Brooks, Y. Goldstein, "Disorder and the Optical-Absorption Edge of Hydrogenated Amorphous Silicon", Phys. Rev. Lett.vol. 47, pp. 1480-1483, 1981.
- [24] B. Abay, H.S. Guder, Y.K. Yogurtchu, "Urbach-Martienssen's Tails in Layered Semiconductor GaSe", Solid State Commun, Vol. 112, pp. 489-494, 1999.
- [25] L. Skuja, K. Kajihara, Y. Ikuta, M.Hirano, H.Hosono, "Influence of Y2O3 on Structural and Optical Properties of SiO2–BaO–ZnO–xB2O3–(10–x) Y2O3 Glasses and Glass Ceramics", J. Non-Cryst. Solids, Vol. 357, pp. 858-863, 2011.
- [26] J. Zarzycki, Glasses and tThe Vitreous State, first ed, p. 228, Cambridge University Press, Cambridge, NY, 1991.
- [27] H. H. Moenke, in The Infrared Spectra of Minerals, 2 ed, p. 365, Mineralogical Society, London, 1974.
- [28] S. Parke, the Infrared Spectra of Minerals, p. 483, New York, 2001.

- Yaohui Li, Kaiming Liang, Jianwei Cao, Bo Xu. "Spectroscopy and Structural State of V⁴⁺ Ions in Lithium Aluminosilicate Glasses and Glasse-Ceramic", J. Non-Cryst Solid Vol. 356, pp. 502-508, 2010.
- [2] P. Wolfgang, glasses Science Technol, p. 28, The American Ceramic Society, Westerville, OH, 2000.
- [3] W. Holand,G. Beall, glass-ceramic Technology, first ed, p. 235, The American Ceramic Society, Westerville, OH, 2004.
- [4] H. Bach, D. Krause, Low Thermal Expansion Glass-Ceramics, Secend ed, p.173, Springer-Verlog, Berlin, 2005.
- [5] K. Cheng, "Carbon Effect on Crystallization Kinetics of LAS Glsses", journal of non-crystal solids, Vol. 238, pp. 152-157, 1998.
- [6] J.P. Xantakis, "Electronic Structure and Band Gap Study of Si1-xCx,", J. Non-Cryst. Solids, Vol. 164, pp. 1019-1022, 1993.
- [7] S.Rani, S. Sanghi, A. Agarwal, V.P. Seth, "Study of Optical Band Gap and FTIR Spectroscopy of Li2O·Bi2O3·P2O5 glasses", Spectrochim. Acta A, Vol. 74, pp. 673-677, 2009.
- [8] F. El-Diasty, A. Abdel Wahab, "Optical Band Gap Studies on Lithium Aluminum Silicate Glasses Doped With Cr3+ Ions", J.Appl. Phys. Vol. 100, pp. 11-17, 2006.
- [9] O. Guldal and C. Apak, "A Study on Cr3+/Cr6+ Equilibria in Industrial Emerald Green Glasses", J. Non-Cryst.Solid, Vol. 251, pp. 38-39, 1986.
- [10] G. Fuxi, D.He, and L. "Huiming, Paramagnetic Resonance Study on Transition Metal Ions in Phosphate, Fluorophosphate and Fluoride Glasses, part I: Cr3+ and Mo3+", J. Non-Cryst.Solid, Vol. 52, pp. 135-139, 1985.
- [11] J. Tauc, Amorphous and Liquid Semicondutors, first ed., p. 96, Plenum, London, 1974.
- [12] M. Abdel-Baki, F. A. Abdel Wahab, and F. El-Diasty, "Optical Characterization of xTiO2–(60 – x)SiO2–40 Na2O Glasses: I. Linear and Nonlinear dispersion properties", Mater. Chem. Phys., Vol. 96, pp, 201, 2006.
- [13] D.Goswami, "High Sensitive Measurements of Absorption Coefficient and Optical Nonlinearities", Opt. Commun, Vol. 158, pp. 261, 2006.
- [14] N.F. Mott, E.A. Davis, Electronic Proess in Non-Crystaline Materials, 2ed, p.264, Clarendon, Oxford, 1979.

٥- مراجع