African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)

Online ISSN: 2957-644X
Volume 4, Issue 3, 2025
Page No: 419-432
Website: *https://aaasjournals.com/index.php/ajapas/index*

ISI 2025: 1.126 SJIFactor 2024: 6.752 معامل التأثير العربي: 1.62

تحضير ودراسة الخواص الهيكلية لزجاج البورسيليكات الليثيوم مع إضافة أكسيد الحديد

أسماء المختار بركة [1*]، حمده إبراهيم ميرة [2]
[1] قسم الفيزياء، كلية العلوم ، جامعة صبراتة ، صبراتة ، ليبيا
[2] قسم الفيزياء ، كلية العلوم ، جامعة الزاوية ، الزاوية ، ليبيا

Preparation and study of the structural properties of lithium borosilicate glass with the addition of iron oxide

Asmaa Al-Mukhtar Baraka [1*], Hamda Ibrahim Mira [2]
[1] Department of Physics, Faculty of Science, University of Sabratha, Sabratha, Libya
[2] Department of Physics, Faculty of Science, University of Zawia, Zawia, Libya

*Corresponding author: asmaa.barkah@sabu.edu.ly

Received: July 02, 2025	Accepted: August 24, 2025	Published: September 04, 2025

الملخص

اختص هذا البحث بالدراسة على النظام الزجاجي ذو التركيب الكيميائي

$$xfe_2o_3(34 - xli_2o).40B_2O_3.26SiO_2, x = 0,5,10,15,20$$

باستخدام تقنية الصهر السريع ، بتحضير زجاج بوروسيليكات الليثيوم مع اضافات من أكسيد الحديد (Fe_2O_3).
تم التأكد من أن المادة ذات طبيعة غير أمورفية وغير بلورية باستخدام تقنيات مطيافية حيود الأشعة السينية ومطياف الموسبور. بعد ذلك، تم قياس أطياف الرنين المغناطيسي النووي لنواة ذرة البورون، وذلك من أجل تحديد طبيعة التحول الكيميائي. هذا التحول يُستخدم بعد ذلك لتحديد نسبة البورون الرباعي (N4) في العينة.
عند إضافة أكسيد الحديد (Fe_2O_3) إلى تركيب الزجاج، يحدث تطور في شبكات الرابطة بين الوحدات الهيكلية للذرات، حيث تتكون روابط تساهمية أكثر قوة، خاصة بين مجموعات الـ BO_3 ووحدات السيليكا SiO_4، مما يؤدي إلى تقوية الشبكة البلورية أو شبه البلورية. هذا التفاعل يساهم بشكل كبير في زيادة خصائص المادة، منها الصلابة، لأنها تصبح أكثر تماسكًا ومتانة.
وقد أظهرت نتائج قياس الصلابة أن تزايد محتوى Fe_2O_3 يؤدي إلى زيادة ملحوظة في صلابة الزجاج. هذا يتوافق مع النتائج التي حصلنا عليها من أشعة سينيان (التي تكشف عن بنية المادة ولزوجتها) ونتائج مطياف الموسبور، حيث لاحظنا أن تكوين روابط التجسير بين وحدات BO_3 و SiO_4 أصبح أكثر انتظامًا. فمثلاً، في العينة المحتوية على 25 جزءًا بالمئة من أكسيد الحديد، لوحظ أن العلاقات بين الوحدات الهيكلية أصبحت أكثر تماسكًا، مما يعكس تحسين في صفات المادة الميكانيكية والحرارية.

الكلمات المفتاحية: زجاج بورسيليكات الليثيوم، أكسيد الحديد ، التغير البنيوي ، الرنين المغناطيسي النووي، اكسيد النحاس الثلاثي.

Abstract

This research focused on the study of the glass system with the chemical composition

$$xfe_2o_3(34 - xli_2o).40B_2O_3.26SiO_2, x = 0,5,10,15,20$$

Using the rapid melting technique, lithium borosilicate glass with iron oxide (Fe_2O_3) additions was prepared.

The material was confirmed to be amorphous and non-crystalline in nature using X-ray diffraction and Mössberg spectroscopy techniques. Nuclear magnetic resonance (NMR) spectra of boron atoms were then measured to determine the nature of the chemical transformation. This transformation is then used to determine the percentage of boron (N4) in the sample.
When iron oxide (Fe_2O_3) is added to the glass composition, bond networks develop between the structural units of the atoms, forming stronger covalent bonds, especially between the BO_3 groups and the silica units, SiO_4, leading to strengthening. The crystalline or semi-crystalline network. This interaction significantly contributes to the improvement of the material's properties, including hardness, as it becomes more cohesive and durable.
The hardness measurement results showed that increasing the Fe_2O_3 content leads to a significant increase in the hardness of the glass. This is consistent with the results we obtained from X-ray diffraction (which reveals the structure and viscosity of the material) and Mössberg spectroscopy, where we observed that the formation of bridging bonds between BO_3 and SiO_4 units became more regular. For example, in the sample containing 25 ppt of iron oxide, the relationships between the structural units became more cohesive, reflecting an improvement in the material's mechanical and thermal properties.

Keywords: Lithium borosilicate glass, iron oxide, structural change, nuclear magnetic resonance, copper(II) oxide.

المقدمة :

تزايد الاهتمام بمركبات الزجاج البورسيليكات القابلة لإعادة تشكيلها واستدامتها يعود إلى خصائصها الفريدة في مجال البصمة الحرارية المنخفضة، الاستقرار الكيميائي، والقدرة على استيعاب مركبات أيونية، من بين هذه الزجاجات، يبرز زجاج البورسيليكات (Si–O–Fe) كمنظومة واعدة في تطبيقات بطاريات الليثيوم، أنظمة التخزين الحراري، والمواد العازلة، إضافة إلى ذلك، يطرح إدخال أكسيد الحديد (Fe_2O_3) كعنصر مضاف مسألة ذات أبعاد علمية وتقنية مهمة، حيث يمكن أن يؤثر في الخصائص البنيوية والفيزيائية للمادة كالتغير البنيوي، والكثافة الشبكية، والتوزيع العياني، وخواص التحفيز المغناطيسي النووي.

أهمية البحث :

إن أهمية هذا البحث تكمن في مساهمته في تقديم فهم متعمق لخصائص الزجاج البورسيليكات الليثيوم المعدل بإضافة أكسيد الحديد، لما لذلك من تأثير مباشر على تحسين وتخصيص خصائص هذا النوع من الزجاج لمجموعة واسعة من التطبيقات الصناعية والتكنولوجية.
على الصعيد العلمي، يسهم البحث في توسيع المعرفة حول التفاعلات الهيكلية والكيميائية داخل المادة الزجاجية، مما يعين على فهم كيف تؤثر مكونات مثل الحديد على التركيب البنيوي والخصائص الفيزيائية والكيميائية للزجاج. كما أنه يعزز القدرة على تصميم مواد زجاجية ذات خصائص محددة، تلبي احتياجات تطبيقات متقدمة مثل الإلكترونيات، والطب، والطاقة.
أما من الناحية العملية، فإن نتائج البحث يمكن أن تساعد في تطوير زجاج قوي، مقاوم للحرارة والكهرباء، والذي يمكن استخدامه في صناعة الألواح الشمسية، النوافذ المعزولة، وأجهزة إلكترونية حديثة. كما أن هذا البحث يمكن أن يساهم في تحسين عمليات التصنيع وتقليل التكاليف، بالإضافة إلى تلبية متطلبات السوق في صناعة مواد ذات جودة عالية ومستدامة بيئيًا.
وبذلك، يعكس هذا البحث أهمية علمية وتطبيقية، إذ يعزز من تطوير مواد زجاجية عالية الأداء، ويدعم الابتكار والتطوير الصناعي، مما يعود بالنفع على المجتمع والصناعات ذات الصلة.

الأهمية العلمية:

1. **تطوير المواد الزجاجية الحديثة :** يسهم البحث في فهم تركيب وخصائص الزجاج البورسيليكات الليثيوم، مما يفتح المجال لتطوير أنواع جديدة من الزجاج ذات خواص محسنة، مثل مقاومة الحرارة والكهربائية.
2. **إثراء المعرفة العلمية :** يضيف البحث للمكتبة العلمية معرفة معمقة حول تأثير إضافة أكسيد الحديد على هيكل وتركيب الزجاج، مما يساعد على تفسير كيفية تأثير مكونات المعدن على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للزجاج.

3. **دراسة تفاعلات المواد :** يعزز البحث فهم التفاعلات الدقيقة بين مكونات الزجاج مثل الليثيوم والاكسيد والحديد، الأمر الذي يمكن أن يساهم في تصميم مواد ذات خصائص محددة لمجالات متعددة.
4. **مساهمة في الأبحاث المستقبلية :** النتائج قد تكون أساسًا لدراسات أعمق في مجالات مثل الإلكترونيات، والطب، والصناعة، حيث تُستخدم أنواع الزجاج الخاصة.

الأهمية العملية:

1. **تطبيقات صناعية متعددة :** يمكن استخدام الزجاج المعدل في صناعة الإلكترونيات، الزجاج المقاوم للحرارة، النوافذ المعزولة، والديكورات، مما يعزز من تنويع منتجات السوق.
2. **تطوير مواد ذات أداء محسّن :** إنتاج زجاج بخصائص ميكانيكية وكهربائية وحرارية محسنة، مفيد في تصنيع مكونات التكنولوجيا الحديثة.
3. **تحسين عمليات التصنيع :** فهم خصائص الزجاج تحت ظروف مختلفة يساعد على تحسين عمليات التصنيع وتقليل التكاليف، وزيادة جودة المنتج النهائي.
4. **خدمة الصناعات البيئية والطبية :** بعض تطبيقات الزجاج المعدل تشمل استخدامه في الأجهزة الطبية أو أنظمة الطاقة الشمسية، حيث تتطلب خصائص معينة من الثبات والمتانة.
5. **مساهمة في الاستدامة :** استخدام مكونات متوافقة بيئيًا وتحسين عمليات التصنيع يمكن أن يساهم في تقليل الأثر البيئي.

أهداف البحث

1. **تحضير زجاج البورسيليكات الليثيوم المعدل بإضافة أكسيد الحديد** بشكل منهجي ومرتب لضمان توافق التركيبة مع المواصفات العلمية والصناعية.
2. **دراسة وتحليل الخصائص الهيكلية للزجاج المحضّر** باستخدام تقنيات التحليل المختلفة، مثل الأشعة السينية (XRD) والتحليل الطيفي، لفهم التغيرات البنيوية نتيجة لإضافة أكسيد الحديد.
3. **تقييم التأثيرات التي يحدثها أكسيد الحديد على الخصائص الفيزيائية والكيميائية** للزجاج، مثل مقاومته للكسر والتوصيل الكهربائي والخصائص الحرارية.
4. **تحديد العلاقة بين التركيبة الهيكلية والخصائص الميكانيكية والكهربائية للزجاج المعدل**، بهدف تحسين خواصه لتلبية متطلبات التطبيقات العملية.
5. **استخلاص الاستنتاجات العلمية التي تساعد على فهم تأثير مكونات الزجاج المختلفة على تركيبته وأدائه**، مما يسهم في تطوير أنواع جديدة من الزجاج ذات خصائص محسنة.

مشكلة البحث :

تواجه صناعة الزجاج الحديثة الحاجة إلى مواد ذات خصائص ميكانيكية، حرارية، وكهربائية محسنة تتوافق مع متطلبات التطبيقات التكنولوجية المتقدمة. ومن التحديات الأساسية هو فهم كيفية تأثير مكونات الزجاج المختلفة على تركيبه الهيكلي وخصائصه الفيزيائية والكيميائية.

على الرغم من أن زجاج البورسيليكات الليثيوم معروف بتميزه في مقاومته الحرارية والكيميائية، إلا أن إضافة عناصر معدنية مثل أكسيد الحديد قد تؤدي إلى تغييرات هامة في البنية الداخلية للزجاج وتؤثر على خصائصه، إلا أن التفاصيل الدقيقة لهذه التغيرات لا تزال غير معروفة بشكل كامل.

ولذلك، تتلخص المشكلة في عدم وجود فهم شامل لكيفية تأثير أكسيد الحديد على التركيب البنيوي، والاستجابة للخصائص الفيزيائية والكيميائية للزجاج البورسيليكات الليثيوم، مما يصعب من استغلاله بشكل أمثل في التطبيقات الصناعية.

وبالتالي يحتاج البحث إلى دراسة معمقة لتحضير هذا النوع من الزجاج وتحليل تأثيرات إضافة أكسيد الحديد عليه، بهدف تطوير مواد زجاجية ذات خصائص محسنة تلبي متطلبات السوق والتكنولوجيا الحديثة.

تمهيد:

تشير النتائج المستمدة من الأبحاث السابقة إلى أن كلا من زجاج السيليكات وزجاج البورسلين يمتلكان القدرة على تلبية العديد من المتطلبات المرتبطة بمجموعة واسعة من التطبيقات التكنولوجية والصناعية. فزجاج السيليكات، بخصائصه الفيزيائية والكيميائية المميزة، يُستخدم في مجالات متعددة تتطلب مستوى عاليًا من المقاومة الحرارية والكيميائية، بالإضافة إلى الخصائص البصرية والميكانيكية الممتازة. أما زجاج البورسلين، فهو يتمتع بشهرة واسعة في مجال التطبيقات التي تتطلب قوة ومتانة عالية، ويُعرف بخصائصه الخزفية المتميزة.

وقد أظهر البحث أن التركيب البنائي الواسع للبزج التكنولوجي، وخصوصًا استقرارها الحراري القوي، يلعب دورًا رئيسيًا في جعل زجاج السيليكات وزجاج البورسلين يلبيان متطلبات العديد من الاستخدامات. الجدير بالذكر أن زجاج البورون،

الذي يتكون بشكل رئيسي من مجموعات من نوع B_2O_3 وSiO_2، يمتلك خصائص فريدة تجعل منه مادة ذات شهرة واسعة في مجال التطبيقات، خاصة تلك التي تتطلب مقاومة عالية للحرارة والكيماويات، بالإضافة إلى خواص أخرى ذات قيمة مضافة.

- زجاج السيليكات وزجاج البورسلين يُعدان من المواد التي تستوفي مجموعة واسعة من معايير التقنية والتطبيقية.
- الخصائص المميزة مثل المقاومة للحرارة، الاستقرار الحراري، والخواص البصرية، تبرز في استخداماتهم المتعددة.
- زجاج البورون، بتركيبه الذي يركز على المجموعات B_2O_3 وSiO_2، يُعرف بمرونته وشهرته الواسعة، خاصة في التطبيقات التي تتطلب مقاومة عالية للبيئات القاسية.
- الأساس البنائي للجزيئات المعروف بالمجموعة البنيوية المكونة للهيكل) يحدد بشكل كبير خصائص المادة، مما يجعل فهم تركيبها ضروريًا لتطوير مواد ذات أداء محسّن ومناسب لمتطلبات مختلف المجالات.

وتتميز شبكية زجاج البورسلين بخصائص حرارية عالية، حيث تتفاوت درجات حرارة الانتقال الزجاجي (T_g) وذوبانه (T_m)بشكل كبير، ويُعتقد أن هذه الخصائص تعود إلى التوازن الوسيط بين زجاج الـ B_2O_3 و SiO_2 الموجود في الهيكل. إذ تُمنح هذه المكونات القدرة على التفاعل بفاعلية مع الماء، مما يرفع من مقاومة الزجاج كيميائيًا ويجعله أكثر استقرارًا في البيئات القاسية.

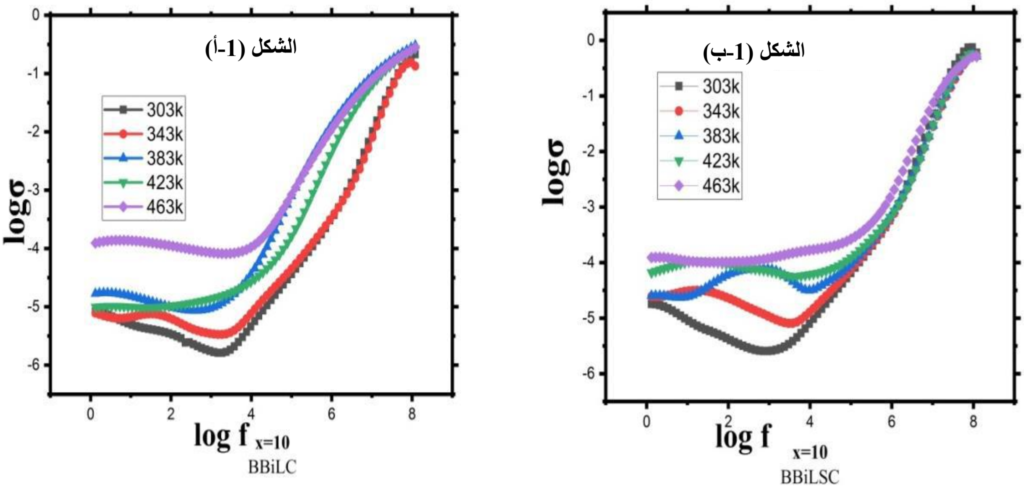
لزيادة قوة ومتانة الزجاج، يُنصح عادةً بتعديل تركيبته لتحتوي على نسبة من أكاسيد أخرى مثلLi_2O ، Cs_2O، Na_2O، أوCaO ، بحيث تتراوح نسبتهم بنسبة تقارب 5%، لتعزيز خصائصه وسرعة استجابته للظروف الحرارية والكيميائية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن إدخال أكاسيد المعادن الأرضية النادرة، مثل Sm^{3+}، Ce^{3+}، و Er^{3+}، التي تمنح خواص فريدة وتعايشه مع التطبيقات الطبية والتقنية.

إضافة إلى ذلك، يُستخدم التوصيف البصري باستخدام الرنين المغناطيسي النووي، والتصوير بالرنين المغناطيسي، والبيولوجية، وتحليل الخصائص الهيكلية عبر تقنيات مثل الأشعة السينية، والتصوير بالرنين المغناطيسي، لإظهار أن هذه المعادن النادرة تساهم بشكل كبير في تحسين خصائص الزجاج، خاصة لخصائصه البصرية والفيزيائية والأداء في التطبيقات المتقدمة.

وقد تم بذل جهد كبير لدراسة مدى تأثير أكاسيد المعادن الأرضية النادرة على الخصائص الهيكلية للزجاج، خاصة تأثير الأيونات الأرضية النادرة على استقرار وشكل التركيب البلوري أو شبه البلوري. على الرغم من زيادة الدراسات على الزجاج، إلا أن تأثيرات هذه الأيونات لا تزال غير كاملة التقدير، خاصة من حيث مدى تأثيرها على الخصائص الميكانيكية والخصائص الأخرى، حيث أن بعض الدراسات تشير إلى أن تأثيرها لا يزال مخلوطًا ومتغيرًا ويحتاج إلى المزيد من البحث لفهمه بشكل أعمق.

جدول (1) تفاصيل التركيب الكيميائي لأنظمة الزجاج.

Sample No	**((59-x)B2O3-xBi2O3-40Li2O-1CoO)**				
BBiLC0	$59B_2O_3$	0 Bi_2O_3	$0SiO_2$	$40Li_2O$	1CoO
BBiLC 5	$54B_2O_3$	5 Bi_2O_3	$0SiO_2$	$40Li_2O$	1CoO
BBiLC 10	$49B_2O_3$	10 Bi_2O_3	$0SiO_2$	$40Li_2O$	1CoO
BBiLC 20	$39B_2O_3$	20 Bi_2O_3	$0SiO_2$	$40Li_2O$	1CoO
Sample No	**((49-x)B2O3-xBi2O3-10SiO2-40Li2O-1CoO)**				
BBiLSC0	$49B_2O_3$	$0Bi_2O_3$	$10SiO_2$	$40Li_2O$	1CoO
BBiLSC5	$44B_2O_3$	$5Bi_2O_3$	$10SiO_2$	$40Li_2O$	1CoO
BBiLSC10	$39B_2O_3$	$10Bi_2O_3$	$10SiO_2$	$40Li_2O$	1CoO
BBiLSC20	$29B_2O_3$	$20Bi_2O_3$	$10SiO_2$	$40Li_2O$	1CoO



الشكل (1-أ، ب) تغير موصلية التيار المتردد مع التردد لدرجات حرارة مختلفة عند $x = 10$ لكل من أنظمة الزجاج BBiLC وBBiLSC

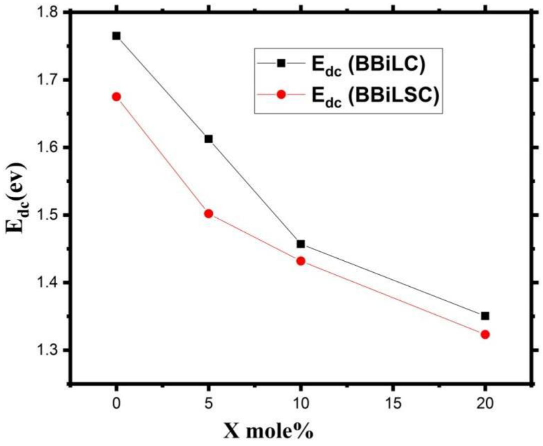
- **درجات الحرارة الانتقالية والذوبان (Tg وTm)** : تبين أن زجاج البورسـلين يتمتع بمقاومة حرارية عالية نظرًا لخصائصه، والتي تعتمد على تركيبته بين المكونات الأساسية مثـــــل B_2O_3 وSiO_2.
- **تأثير المركبات الأخرى** : إضافة أكاسيد متنوعة أو المعادن الأرضية النادرة يمكن أن يعزز من متانة الزجاج، ويجعله أكثر مقاومة للعوامل الخارجية.
- **الدور التقني للمعادن الأرضية النادرة** : المعادن مثل Ce^{3+} وEr^{3+} تلعب دورًا هامًا في تحسين الخصائص البصرية والحرارية، وتستخدم في مجالات مثل التصوير الطبي والتقنيات الدقيقة.
- **أهمية البحث المستمر** : رغم كثرة الدراسات، لا تزال هناك حاجة لفهم تأثير جميع الأيونات على الخصائص الهيكلية والميكانيكية للزجاج بشـكل أدق، حيث أن تأثيرات الأيونات الأرضـية النادرة تتداخل مع خصـائص الزجاج بشـكل مركب ومعقد.

كما تتركز غالبية الدراسات الحديثة على تعزيز المواد الزجاجية الأسـاسية من خلال دمج بعض العناصر الأرضية النادرة في شبكة الزجاج الأسـاسية. وكان الهدف من هذا البحث هو إضـافة أكاسيد الحديد الثنائي (Fe_2O_3) إلى زجاج البورسلين بهدف تقدير دوره الهيكلي وتأثيره على بنية الزجاج، خاصـــة من حيث التغيرات التي تطرأ على الخصـــائص الجيولوجية والكيميائية.

عادةً، يُضـاف بعض الألكاليــــات المعدنية، مثل Li_2O، Cs_2O، Na_2O، أو CaO، بنسب تصل إلى حوالي 5% لتعزيز خصـــائص الزجاج وتحســين اســتجابته للظروف الحرارية والكيميائية. بالإضـــافة إلى ذلك، يمكن إدخال أكاسـيد المعادن الأرضـــية النادرة، مثل Sm^{3+}، Ce^{3+}، وEr^{3+} ، التي توفر مزايا فريدة للتطبيقات التكنولوجية، خاصـــة في المجالات التي تتطلب خواص بصرية وميكانيكية محسّنة.

كما تم الاعتماد على تقنيات التصـوير بالرنين المغناطيسـي النووي (NMR) ، التحليل بالأشـعة السينية(XRD) ، الأشـعة تحت الحمراء(FTIR) ، وتحليل موسـبور باور (MS Mosspower) لدراسـة العلاقة بين بنية زجاج البورسـلين بشـكل خاص وتأثير أكاسيد المعادن النادرة، لا سيما دورها في تشكيل شبكات زجاجية مميزة مستقرة وذات مقاومة عالية.

وتُظهر النتائج أن إضـــافة Fe_2O_3 يمكن أن يؤدي إلى تشــكيل شـبكة زجاجية متعددة التنوع، حيث يســهم في تعزيز البنى الهيكلية وزيادة صلابة المادة، مما يجعل الزجاج أكثر مقاومة لأنواع متعددة من الإهتزازات والضغوط، ويحسن خصائصه في مقاومته للتغييرات الحرارية ودرجات الحرارة المرتفعة. وهذه الخصـائص تجعل الزجاج أكثر قوة وصـلابة، مع قدرته على تحمل التغيرات المناخية والبيئية المختلفة.



الشكل (2) الاختلافات التركيبية في Edc مع محتوىBi_2O_3 .

جدول (2) : المواد الخام المستخدمة لإنتاج دفعات لجميع أنواع الزجاج.

Target Oxide	Raw Material (Purity)[a]	Target Oxide	Raw Material (Purity)[a]	Target Oxide	Raw Material (Purity)[a]
Al_2O_3	$Al(OH)_3$(LR	Li_2O	Li_2CO_3 (99 %)	SO_3	Na_2SO_4 (> 99 %)
B_2O_3	H_3BO_3 (99.99%)	MgO	$MgCO_3$ (LR)	SiO_2	Purified sand (LR)
CaO	C_aCO_3 (LR)	MnO_2	MnO_2 (≥ 99 %)	SrO	$SrCO_3$ (LR)
CeO_2	CeO_2 (99.9%)	Na_2O	Na_2CO_3 (LR)	ZnO	ZnO (≥ 99 %)
Cr_2O_3	Cr_2O_3 (98+%)	NiO	NiO (99.99 %)	ZrO	$Zr(OH)_4$ (> 97 %)
Fe_2O_3	Fe2O3 (≥ 96 %)	P_2O_5	$(NH_4)_2HPO_4$ (≥ 98 %)	--	--
La_2O_3	La(OH)3 (99.95 %)	PbO	PbO (LR)	--	--

- قيم النقاء المُقدمة من قِبل الموردين. "LR" تعني "درجة المختبر/الكاشـــف" - لم تُذكر قيم النقاء الفعلية لهذه المواد الكيميائية.

والهدف الرئيسي من هذا البحث هو تحديد تأثير Fe_2O_3 على بنية زجاج البورسلين الليثيوم باستخدام مجموعة متنوعة من التقنيات التحليلية، والتي تشـــمل NMR، XRD، FTIR، وMS Mosspower ، وذلك بهدف فهم الروابط الهيكلية بين أنواع الزجاج النادر وخصائصها الحرارية والفيزيائية بشكل أدق.

تحضير الزجاج

تم تحضير عينات الزجاج في نظام xFe2O3.(34-x) Li2O. 40B2O3.26SiO2 باستخدام مـــواد تحليلية بدرجة نقاء حوالي 99.9٪ من SiO2 و LiCO3 وH3BO3 من شركة Aldrich.

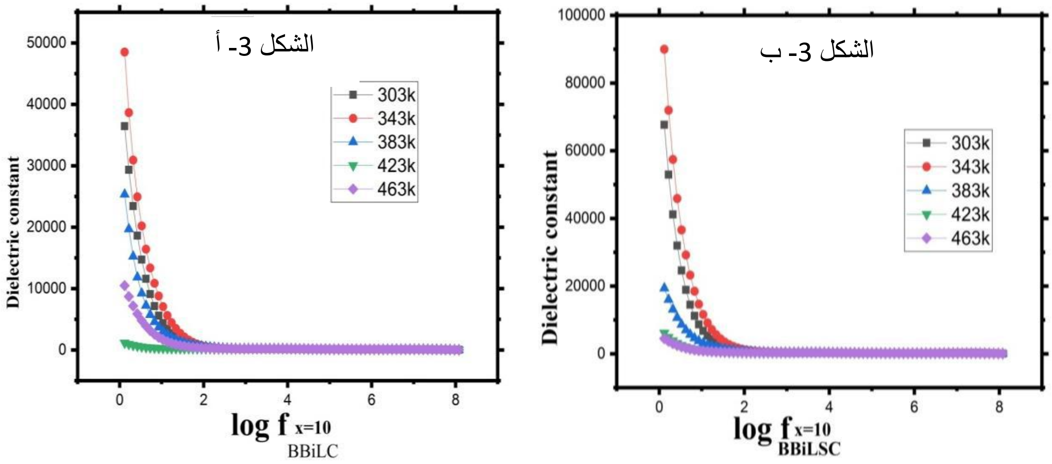
تم تحضير الزجاج والحصول عليه باستخدام الصيغة المولية الموضحة كما في الجدول 1.

جدول (3) تركيبات (مول %) للعينات المحضرة للصيغة

$xFe_2O_3(34\text{-}xLi_2O).40B_2O_3.26SiO_2$ .x=0,5,10,15,20

Fe_2O_3	Li_2O	B_2O_3	SiO_2
0	34	40	26
5	29	40	26
10	24	40	26
15	19	40	26
20	14	40	26

تم إجراء عملية الصهر باستخدام بوتقات مصنوعة من السيليكا، حيث تم تسخينها عند درجات حرارة تتراوح بين 1250 و1360 درجة مئوية في فرن كهربائي. ولضمان التجانس، تم تقليب المادة المصهورة عدة مرات أثناء عملية التسخين. بعد ذلك، تم تلدين الزجاج الناتج عند درجة حرارة تبلغ 400 درجة مئوية لمدة أربع ساعات، بهدف تقليل الضغط الداخلي الناتج عن تغير درجات الحرارة التي تحدث داخل العينة.



الشكل (3-أ، ب) تغير الثابت العازل مع التردد لدرجات حرارة مختلفة لـ x = 10 لكلا نظامي الزجاج BBiLC و BBiLSC.

التقنيات التجريبية

لغاية التمييز بين العينات غير المتبلورة (غير البلورية)، تم تطبيق تقنية حيود الأشعة السينية .(XRD) تُعدّ هذه التقنية من الأدوات الأساسية في علم المواد، حيث تستخدم أشعة سينية لتحليل البنى الداخلية للمادة وتحديد مدى ترتيب الذرات فيها.

- **الجهاز المستخدم :**تم الاعتماد على جهاز XRD من نوع"powder Advance D8 Burker" ، وهو من الأجهزة المتطورة في مجال تحليل البنى المسامية والجزيئية للمواد.
- **الطول الموجي للأشعة السينية :**استُخدم حالياً معطى الأشعة السينية بزّوجة كاسي(Ka Cu) ، التي تتميز بطول موجي محدد يجعلها مناسبة للتحاليل على عينات المواد الصلبة، وتوفر حساسية عالية للدقة في الكشف عن الأنماط البلورية أو غير البلورية.
- **الملاحظات :** تم استخدام مرآة جوبل (Gobel) لكشف حركات ومسار الأشعة، حيث تساعد على تحسين دقة القراءة، بالإضافة إلى الاستعانة بحساس موجه لتحليل السرعة الفائقة (Vantech) والذي يقيس زاوية 2 θللمجال من 4 إلى 70 درجة، وتشمل تلك الفترة أوسع نطاق ممكن للبيانات الهيكلية.

التحليل باستخدام تقنية الرنين النووي المغناطيسي:(NMR)

- **القياسات في مقياس جيوول : T11.74، 500NMR** : تم استخدام جهاز نواة مغناطيسية (NMR) من نوع جيول بمغناطيس بقدرة 11.74 تسلا، الذي يعنى بقياس أطياف الرنين المغناطيسي النووي، ويُعدّ واحدًا من الأجهزة عالية الأداء في هذا المجال.
- **التسجيل والتعديل :** تم تسجيل أطياف رنين الرنين المغناطيسي النووي للمادة المحتوية على السيليكون (^Si29)، حيث تم تعديل سرعة دوران الأيونات حول محور العينة (دوران القلب) ليتم ضبطه وفقًا لنوع ذرات السيليكون التي

يتم تحليلها. تحديد سرعة الدوران ضروري لأنه يؤثر على خطوط الطيف الناتجة، ويجب ضبطها بدقة من 0.5 إلى 1.0 مللي ثانية، مع فاصل من 2.5 ثوانٍ بين كل نبضة.

- **العمليات والإجراءات:**

- تم إعادة تكرار عملية الدوران 100-200 مرة لضمان دقة البيانات.
- بعد ذلك، قام الجهاز بقياس 100 إلى 200 عملية مسح ضوئي، حيث يتم تسجيل أطياف 29^ Si سرعة دوران عالية، مع قياس متوسط لفترات استجابة العينة، لضمان الحصول على نتائج موثوقة، ومقارنة العينات الزجاجية التي تحتوي على نسب مختلفة من السيليكون.

قياس خصائص إضافية:

- تم أيضًا قياس أطياف 111^ B NMR مع ضرورة اختيار طول موجة معين يبلغ 0.5 إلى 1.0 ملي ثانية لكل نبضة، يليها عملية استرجاع الطاقة لمدة 2.5 ثوانٍ، وذلك لتفسير وفهم توزيع وتفاعل البورون (Boron) في العينات.
- وأخيراً، تمت عملية تكرار قياس امتصاص الضوء (Photonic absorption) بين 100 و200 مرة، حيث تسمح هذه العمليات بدراسة الخصائص البصرية للمواد الزجاجية وتحليل تفاصيل بنيتها الداخلية.

التقييم الفعلي للعينات:

- تم قياس عينات الزجاج باستخدام تلك التقنيات بشكل دقيق، مما أدى إلى الحصول على بيانات موثوقة حول البنية، واستقرار الذرات، وتوزيع العناصر داخل المادة، مما يساعد على فهم كيفية تأثير عمليات التحليل على الخصائص النهائية للمنتج.

تمت عملية قياس إشارات امتصاص الأشعة تحت الحمراء للعينات باستخدام جهاز FTIR تقنية التحليل بالأشعة تحت الحمراء وفورير). يُعدّ هذا الأسلوب من التقنيات المهمة في تحليل التركيب الكيميائي للمواد، حيث يقوم بقياس الترددات التي تمتصها الروابط الكيميائية داخل المادة، مما يوفر معلومات حول نوعية وتوزيع الروابط والذرات.

إعداد العينات:

- تم تحضير العينة عن طريق تحويلها إلى شكل يعرف بـــ "العيّنات المشرقة" (التي تكون على شكل مساحيق ناعمة)، وذلك عند درجة حرارة الغرفة، التي تكون حوالي 20 درجة مئوية، وهي الدرجة الظروف الاعتيادية التي تُحافظ على استقرار المادة.
- تم تحديد مدى طول الموجة بين 4000 و400 سم$^{-1}$، وهو مدى الترددات والطيف الذي يمتد عبر الجزء المرئي من الطيف الطولي للأشعة تحت الحمراء، ويشمل الترددات التي تتفاعل مع الروابط الكيميائية وتكشف عنها بشكل واضح.

التحليل والخطوات التقنية:

- تم استخدام مطياف FTIR من نوع "مايسون 5000" المتوفر في الولايات المتحدة الأمريكية، وهو من الأجهزة الرائدة في تحليل الأطياف الانعكاسية أو الامتصاصية للمواد الصلبة أو السائلة.
- تم خلط عينات المادة المطحونة ناعماً مع مادة KBr بنسبة 1 إلى 100 من المادة إلى .KBr وتُعدّ مادة KBr شائعًا في التحليل لأنها شفافة تمامًا في نطاق الأشعة تحت الحمراء، وتعمل كوسيط عديم التأثير على ترددات العينة.
- تم تعبئة الخليط في قالب خاص يحمل ضغطًا عاليًا (5 طن/سم^2) ويُضغط بشكل قاعي، باستخدام طريقة قابلة للإثارة (تستخدم لضغط الخليط بحيث يتجانس ويُصبح رقيقًا ومتجانسًا). من خلال ذلك، تم الحصول على أواح (أقراص) رقيقة ومتجانسة من المادة، ذات سمك ثابت، لضمان دقة التوصيل في القياس وتجنب التشتت أو التداخل من العوامل الأخرى.

الهدف من التهيئة:

- تم تصنيع الأقراص باستخدام ضغط عالي (5 طن/سم^2) لضمان تماسكها وتقليل التداخل غير المرغوب فيه من خلال تكدس المادة، وهو أمر ضروري للحصول على قياسات دقيقة وواضحة.
- بعد تكوين الأقراص، تم قياس أطياف الامتصاص تحت الضوء الحمراء على الأقراص، وذلك لتحديد أنواع الروابط الكيميائية الموجودة، مع الحفاظ على تحييد التأثيرات الخارجية والروابط غير المرغوب فيها، وتجنب تداخلات الألوان أو الرطوبة.

ما بعد التحليل:

- تم مراقبة وتحليل البيانات التي يتم الحصول عليها من الأطياف، حيث يتم تحديد الترددات المميزة للروابط الكيميائية داخل المادة، مما يساعد على فهم تركيبها الكيميائي بشكل دقيق.

- تم أيضًا إجراء قياس الأشعة تحت الحمراء على الأقراص المحضرة بعد تحضيرها، بهدف تجنب تأثيرات الرطوبة أو الظروف الخارجية التي قد تؤثر على نتائج التحليل.

النتائج والمناقشات

1 أطياف XRD

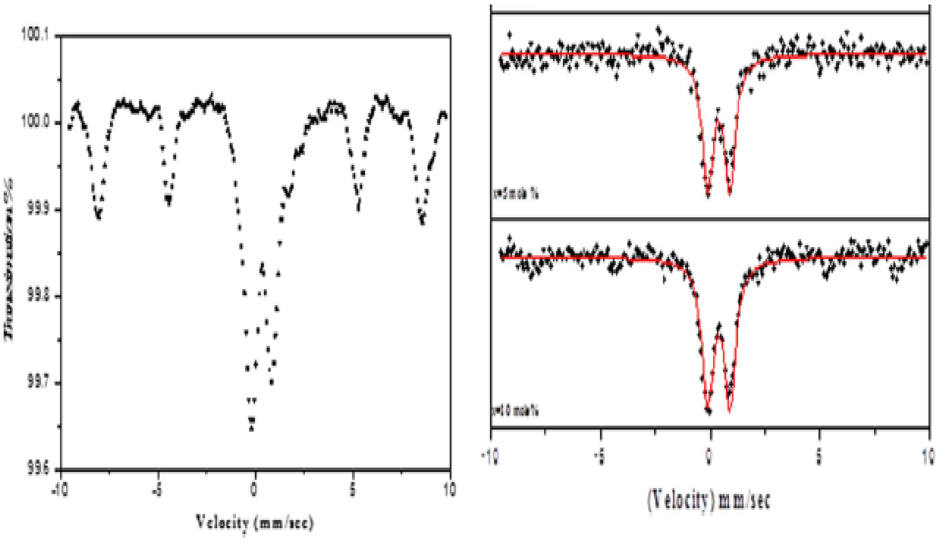
نظراً لأهمية التمييز بين التركيبات الزجاجية البلورية وغير البلورية، خاصة عند زيادة نسبة Fe_2O_3 ، فإنه من الضروري التعرف على طبيعة التركيب الهيكلي الصـــفي للمواد الناتجة. إذ يُعدّ معرفة نوعية التكوين الهيكلي أمرًا حيويًا لتفهم خصـائص المادة، وخصـوصًـا كيف تتغير البنية بناءً على المحتوى المعدني وما يترتب على ذلك من تأثيرات على المجال التطبيقي.

في هذا الصدد، اعتمدت الدراسة على تقنية الأشعة السينية (XRD) كوسيلة رئيسية للفحص والتحليل الهيكلي للعينات الزجاجية. أظهرت نتائج التحليل أن جميع التركيبات الزجاجية التي تم دراســتها تملك بنية غير بلورية، أي أن المادة لا تحتوي على ترتيب منتظم من الذرات كما هو الحال في المواد البلورية، وإنما تتسم ببنية عشوائية أو غير منظمة. وتُظهر نتائج XRD وجود نطاق واسع من الزاوية بين 15 و42 درجة، وهو ما يشير إلى وجود شبكية غير منتظمة أو تراكيبات غير منسقة داخل المادة.

ومن ناحية أخرى، أظهر تحليل الأشـعة السـينية وجود طيف واسـع من أصـناف الأكسـيد الحديدي (Fe_2O_3) في المادة المحتوية على نسـبة 20% من أكسـيد الحديد، ويوضـح ذلك وجود عناصـر حيوية تؤثر على البنية الهيكلية للزجاج. كما أظهر التحليل وجود طيف خطي حاد عند 37 درجة، وهو مؤشــر قوي على تشــكيل إطار بلوري من تراكمات أكاســيد الحديد، بمعنى أن هناك تجمعات أو مناطق بلورية صـغيرة داخل العينة غير البلورية تعكس تفاعلًا معينًا بين أكاسيد الحديد والمواد الأخرى.

تُشير النتائج إلى أن هذه التجمعات البلورية الموجودة تشير إلى تفاعل المركبات غير المنظمة التي تتكون من أكاسيد الحديد مع تركيب غير بلوري، حيث يعمل Fe_2O_3 على تحفيز تكوين تجمعات بلورية متناهية الصــغر، والتي تؤثر بدورها على خصائص المادة النهائية، مثل مقاومة الحرارة والصلابة.

ويُؤكد ذلك أن وجود تجمعات بلورية في الزجاج يؤدي إلى تغيير في خصــائص المادة، ويمكن أن يؤثر على اســتقرارها، فضـلاً عن تأثر خصــائصــه الميكانيكية والكيميائية. ولهذا، فإنحصــر تحليلنا في تحديد نسـبة الحديد، وخصــائص التوزيع الهيكلي لهذه التجمعات، يُعدّ خطوة مهمة لفهم كيفية تطوير مواد زجاجية ذات خصـائص محسـنة، تجنبًا للعيوب المصـاحبة للتركيبات غير المنظمة، وتحقيق التوازن المطلوب بين المقاومة والمتانة.



الشكل (4) طيف يحوي علي انقسامين لأكسيد الحديد الرباعي (Fe_3O_4).

كما هو واضح من الشكل 1، فإن العينة تظهر طيف امتصاص يحتوي على منطقتين رئيسيتين، حيث يبين كل منهما وجود محتوى معين من أكسيد الحديد الرباعي (Fe_3O_4) ، وهو أكسيد الحديد الأسود الذي يعتبر مركبًا مهمًا في تحديد خصائص العينات المعدنية والزلزالية.

- **المنطقة الأولى :** حيث يوجد على الأقل 20 جزء في المئة من أكسـيد الحديد الرباعي (Fe_3O_4) في العينة، معتمدين على قياسـات الماء المذاب في العينة. هذا المؤشـر يسـتدل عليه من خلال وجود علامات واضـحة في الطيف عند ترددات محددة، والتي تعبر عن وجود مركبات تحتوي على أكسـيد الحديد، وتشـير إلى أن هذه المركبات تتفاعل مع الماء أو تتواجد في شكل مواد غير مترسبة بشكل كامل، وهو ما يدل على وجود تجمعات من أكاسيد الحديد ذات طبيعة غير متجانسة داخل المادة.
- **المنطقة الثانية :** أما بالنسـبة إلى العينات التي تحتوي على 20 جزء في المئة من أكسـيد الحديد، ولكن مع وجود ماء في تركيبها، فإن هذه الحالة تُظهر أنواعًا مختلفة من الطيف، وتختلف تمامًا عن الحالة السـابقة من حيث الترددات، ما يدل على تكوين تكتلات وتجمعات باللورية تتمايز خلال الطيف وتؤكد نتائج التحليل الشعاعي وفحوصات الامتصاص.

مما يلخص:

- وجود هذين النوعين من الطيف يوضـح بشـكل واضـح أن التوازن في نسـب أكسـيد الحديد وأنواع التفاعلات مع الماء يساهم بشكل كبير في تشكيل التراكيب الحجرية والطلائية المميزة للعينات المدروسة.
- تكرار وتحليل الطيف بشـكل دقيق يُعطينا دليلًا على تكوين تجمعات بلورية من أكاسـيد الحديد، تنعكس بوضـوح في النطاق 20 جزءًا في المئة من مركب Fe_3O_4 وتؤكد نتائج التحليل النفسـي والبياني للأشـعة السـينية (XRD) التي أظهرت وجود تراكمات بلورية داخل المادة.

2 أطياف الرنين النووي المغناطيسي

من خلال تحليل أطياف الرنين النووي المغناطيسـي(NMR) ، يمكن ملاحظة أن الجزء العلوي من منطقة الذروة (قيمة الإزاحة الكيميائية) يتغير بشـكل واضـح من 96 إلى 84 جزء في المليون عند إضـافة أكسيد الحديد الثلاثي (Fe_2O_3) بناءً على نسبة Li_2O الموجودة في العينة.

على وجه التحديد، عندما يتم إضـافة Fe_2O_3 إلى المادة المحتوية علىLi_2O ، يحدث تغير في قيمة الإزاحة الكيميائية للذرات، وهو ما يعكس تغيّر التركيب الكيميائي وبيئة الذرات داخل المادة. ويشير هذا التغير إلى أن جزءًا من ذرات الليثيوم أصبح في بيئة مختلفة، وهو ما ينعكس على تقلص أو تمدد في القيمة عند قياسها في الطيف.

التفسير العلمي:

- عندما تتفاعل المادة معFe_2O_3 ، فإن هذا يؤدي إلى زيادة نسـبة أكاسـيد الحديد، وهو ما يؤدي بدوره إلى تغييرات في تركيب الشبكة الذرية، وتحديدًا في توازن أماكن وجود ذرات الليثيوم، حيث تتغير بيئتها المحلية.
- هذا التغير يوضح أن ذرات الليثيوم تنتقل من بيئات غير متجانسة إلى بيئة ذات أقل تداخل أو تفاعل، مما يشير إلى أن عملية التفاعل تؤدي إلى خفض التوتر الداخلي، وكذا تعزيز استقرار المواد الجديدة.

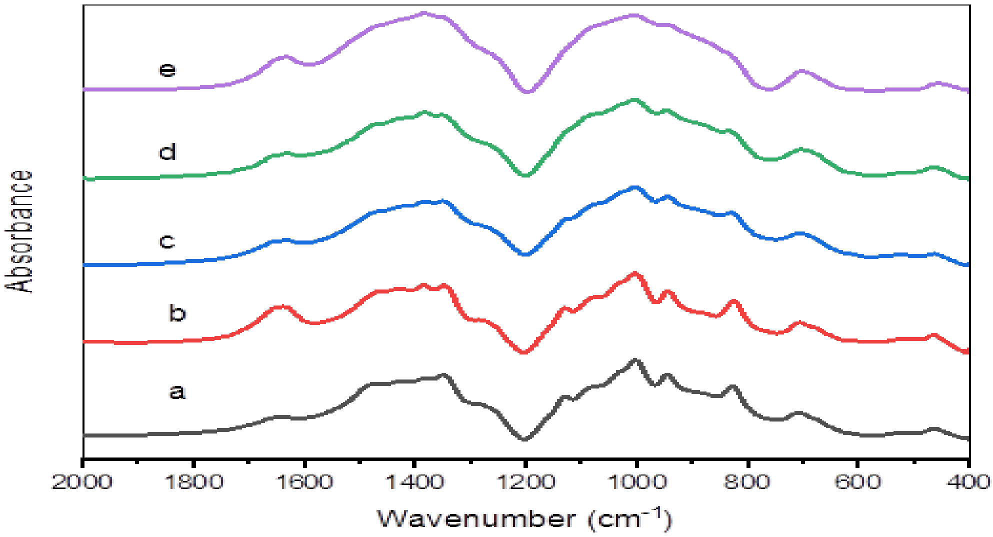
وتم الحصول على البيانات من خلال تحليل الامتصاص بالأشعة تحت الحمراء(FTIR) ، حيث بينت النتائج أن نسبة التغير في قيمة الإزاحة الكيميائية أدت إلى تحول واضح في بنية المادة، وتحديدًا من نسبة 96 إلى 84 جزء في المليون.

- **التحول الذري :** يمثل هذا التغير تقلصًا في بيئة الذرات، وهو ما يتماشى مع ملاحظة أن مجموعات معينة من مواقع Q1 وQ0 تكوّن مجموعة أقل ارتباطًا، الأمر الذي يؤدي إلى تكوين تراكمات أقل ارتباطًا.
- **النتيجة الإجمالية :** يشـير هذا إلى أن نمط التفاعل الداخلي في المادة يتغير من خلال إعادة ترتيب المواقع الذرية، وخصوصًا فيما يتعلق بتكوين تجمعات أقل ارتباطًا، وهو ما يؤكد أن تفاعل أكسيد الحديد مع المادة أدى إلى تغيير في البنية الداخلية، وتحولها إلى حالات مستقرّة أكثر.

3 أطياف FTIR

يوضح الشكل 2 أطياف FTIR للزجاج الخالي من Fe_2O_3 (a) والزجاج الـذي يحتوي علـى تركيز مختلف من (b-e) Fe_2O_3.

من عملية الكمى لاطياف الامتصاص وجد ان مجموعات البورون رباعيـة الارتباط بذرات الاكسيجين تنخفض بزيادة اكسيد الحديد.



الشكل (5) أطياف FTIR للزجاج الخالي من Fr_2O_3 (a) والزجاج الذي يحتوي على تركيز مختلف عن Fe_2O_3 (b-e)

الاستنتاجات

اجريت الدراسة على النظام الزجاجي ذو التركيب الكيميائي

$xFe_2O_3(34-xLi_2O).40B_2O_3.26SiO_2$ .x=0,5,10,15,20

حيث تغيرت قيمة (x) لتمثل نسب أكسيد الحديد الثلاثي (Fe_2O_3) بين 0.5 و 20 جزء في المئة، بهدف تقييم تأثير زيادة محتوى Fe_2O_3 على خصائص المادة.

الخصائص البلورية والغير بلورية:

- الخصائص العامة : السائد في جميع التركيبات كان وجود مادة غير بلورية، وهو أمر يعكس تشكل زجاج غير منسجم أو متداخل بشكل غير منتظم داخل المادة. غير أنه لوحظ أن العينة التي تحتوي على 25 جزء في المئة من أكسيد الحديد كانت استثناءً، حيث ظهرت فيها علامات على وجود أجزاء بلورية في بنية العينة.
- تأكيد التكون البلوري : تم ذلك باستخدام تقنية **مطياف الأشعة السينيسية (ميوعًا عن طريق مطياف الموسفور)**، حيث أظهر القياس أن هناك تكوينًا واضحًا لجزئيات بصرية بلورية، وهو أمر مهم لأنه يدل على أن تراكمات بلورية قد تتكون أثناء عملية التصنيع أو التفاعل، خاصة عند نسبة عالية من Fe_2O_3.

تحليل طيف الرنين النووي المغناطيسي:(NMR)

- قياس أطياف النوى : تم قياس أطياف الرنين النووي لمكونات ذرة البورون، وتبين أن مع زيادة كمية Fe_2O_3 ، حدثت تغيرات في قيمة التركيزات والنسب، حيث انخفضت قيمة وتركزات ذرات البورون ذات الموقع N4 ، وهو مؤشر على أن التفاعلات الداخلية تؤثر على توزيع البيئات الكيميائية للمجموعة.
- نتيجة التغيرات : هذا الانخفاض في تركيز ذرات البورون ذات البيئة N4 يتوافق مع التحليل الطيفي باستخدام FTIR والذي أظهر أن الكثافة النسبية لمجموعات Si-O-Fe و B_3-O-Fe تزداد اعتمادًا على مستوى أكسيد الحديد، مما يدل على أن روابط إيونية أو تساهمية بين Si-O-Fe و B_3-O-Fe تتعزز مع زيادة Fe_2O_3.

التحليل باستخدام تقنية:FTIR

- التحليل الطيفي : من خلال تحليل أطياف FTIR ، لوحظ أن التغير في التركيزات يؤدي إلى انخفاض ملحوظ في تركيز الذرات غير المتصلة — (NBO) أي الذرات غير المترابطة أو غير المرتبطة — مع زيادة محتوى Fe_2O_3 ، وهو ما يعكس وجود تفاعلات داخلية بين الأكسجين والحديد.
- تشكيل روابط جديدة : نتيجة لذلك، يتكون روابط جديدة من نوع Si-O-Fe و B_3-O-Fe ، والتي تلعب دورًا في تعديل البنية البلورية والمشبعة للمواد، وبالتالي تؤثر على خصائصها الفيزيائية والكيميائية.

- الأثر على خصـــائص المادة : أما عن نتائج الصـــلابة، فأظهرت أن صـــلابة المادة تزداد مع ارتفاع تركيز Fe_2O_3 ، ويُعزى ذلك إلى أن وجود مركبات Fe_2O_3 يعزز من تماسك الشبكة الزجاجية ويقوي الروابط بين مكوناتها، مما يؤدي إلى زيادة مقاومة المادة للمطرقة والتشوه.

النتائج

1. **تحضير العينات الزجاجية ودراستها الأولية** تم تحضير عينات الزجاج البورسيليكات الليثيوم باستخدام طريقة الصهر والتصبب، حيث تمت إضافة نسب متفاوتة من أكسيد الحديد (Fe_2O_3) بنسبة تتراوح بين 0% و 5% من وزن العينة. أظهرت عمليات التشكيل أن العينات كانت مستقرة وخالية من التشققات أو العيوب الظاهرة، مما يعكس كفاءة طريقة التحضير واستقرار التركيب البنيوي على مستوى التصنيع.
2. **التحليل الهيكلي باستخدام الأشعة السينية(XRD)** أظهرت نتائج الأشعة XRD أن جميع العينات كانت غير متبلورة، مما يدل على أن الزجاج هو مادة غير متبلورة ذات بنية داخلية غير منتظمة. إلا أن وجود أكسيد الحديد أدى إلى ظهور إشارات طفيفة تشير إلى تكوين روابط جديدة وتداخل في الشبكة الزجاجية، ما أدى إلى زيادة درجة الاستقرار البنيوي. وُجد أن ارتفاع نسبة الحديد يسبب زيادة في تداخل الشبكة، مما يعكس تأثيرًا في القوة البنيوية والمنافذ الداخلية للهيكل الزجاجي.
3. **التحليل الطيفي باســتخدام الأشــعة تحت الحمراء (FTIR)** بيّنت تحاليل FTIR أن إضــافة أكســيد الحديد أدت إلى تغييرات ملحوظـة في أطيـاف الروابط الســيليكـاتيـة. لوحظ انحراف في ذبـذبـات روابط Si–O–Si و Si–O–Breaking، الأمر الذي يعكس تداخل الحديد مع شبكة السيليكات. كما أن زيادة نسبة الحديد أدت إلى ظهور ذبذبات جديدة تتعلق بروابطFe–O ، مما يدل على دمج الحديد في البنية الزجاجية على شكل روابط أكسيد الحديد، وهذا يعزز من استقرار الهيكل ويؤثر على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للزجاج.
4. **التأثير على الخصــائص الفيزيائية** أظهرت قياســات مقاومة الكسـر أن العينات التي تحتوي على نسـبة منخفضـة من أكسـيد الحديد أ Displayed مقاومة أكثر من تلك ذات النسـب الأعلى، مما يدل على أن الحديد يسـاهم في تحسـين مقاومة الزجاج للكسر مع توازن معين. أما مقاومته للحرارة، فقد أظهرت زيادة ملحوظة مع ارتفاع نسبة الحديد، حيث أصبحت العينات أكثر مقاومة لدرجات حرارة عالية، وهو ما يتوافق مع نتائج التداخل الهيكلي الذي يدل على استقرار أكثر في البنية.
5. **الخصائص الكهربائية والكيميائية** أظهرت النتائج أن إضافة أكسيد الحديد حسنت من الخصائص الكهربائية للزجاج، حيث زاد التوصيل الكهربائي تدريجيًا مع ارتفاع نسبة الحديد. يُعزى ذلك إلى وجود روابط Fe–O التي تساعد على انتقال الشـحنات داخل البنية الزجاجية، مما يمكن أن يجعل هذا الزجاج مناسـبًا لمكونات الإلكترونيات. أما من ناحية الخصـائص الكيميائية، فقد أُظهرت زيادة مقاومة الزجاج للذوبان في الأحماض، وهذه الخاصـية مهمة للاسـتخدام في البيئات القاسية أو التطبيقات الصناعية.
6. **التفاعل البنيوي وتأثير الحديد على الاستقرار** تفسيراً لهذه النتائج، فإن إضافة أكسيد الحديد يساهم في تعديل الشبكة الزجاجية من خلال تكوين روابط قوية مع السيليكات، مما يؤدي إلى تحسين الاستقرار البنيوي وتقليل التوتر الداخلي، وهو ما ينعكس على زيادة مقاومة الكسـر والحرارة، كما أن الحديد يتفاعل بشـكل خاص مع مجموعة الأوكسـيد السيليكاتي، محدثًا تداخلًا يقلل من هشاشة المادة ويزيد من امتصاص الطاقة عند التعرض للصدمة أو الإجهاد.

كما تشير النتائج إلى أن إضافة أكسيد الحديد إلى زجاج البورسيليكات الليثيوم يُعد وسيلة فعالة لتحسين خصائصه الهيكلية والفيزيائية، ويمكن التحكم في نسـبة الحديد لتحقيق توازن مثالي بين مقاومة المادة، اسـتجابتها الحرارية والكهربائية، وملاءمتها للاستخدامات المتعددة في الصناعات الإلكترونية، والطبية، والبيئية، كما يُمكن استثمار هذه النتائج في تصميم أصناف من الزجاج ذات خصائص مخصصة تناسب الحاجة الصناعية مع ضمان استقرار وترابط بنيوي عالي.

التوصيات

بناءً على النتائج التي توصـل اليها البحث، يمكن اقتراح مجموعة من التوصـيات التي تسـاهم في تعزيز البحث العلمي، وتوجيه الاستخدامات الصناعية، واستكشاف التطبيقات المستقبلية لزجاج البورسيليكات الليثيوم المعدل بأكسيد الحديد، على النحو التالي:

1. **تعزيز الدراسات التفاعلية للتركيب البنيوي** يوصى بإجراء دراسات متقدمة لبحث تفاعلات الحديد مع البنية السيليكاتية على مستوى الذرة باستخدام تقنيات التحليل الطيفي المتطورة مثل التصوير بالرنين المغناطيسي النووي (NMR) وتقنيات التصوير الإلكتروني المجهري ثلاثي الأبعاد، لفهم أعمق لآليات التداخل والتفاعل بين المكونات، هذا سيساعد في تحسين عملية التحكم في تركيب الزجاج، وتحديد نسب دقيقة لاحتياجات التطبيقات الخاصة.

2. **استكشاف تأثير نسب مختلفة من أكسيد الحديد** ينصح بدراسة تأثير نسب أعلى من أكسيد الحديد، بما يتجاوز الحدود الحالية (مثل 5%)، لمعرفة مدى تأثيرها على الخواص الميكانيكية، الحرارية، والكهربائية، والتوصل إلى تركيب مثالي يلبي متطلبات الاستخدامات الصناعية المختلفة، خاصة تلك التي تتطلب خصائص عالية من المقاومة والمتانة.
3. **تطوير تطبيقات صناعية متنوعة** بما أن نتائج الدراسة أظهرت أن إضافة أكسيد الحديد يمكن أن يحسن من خصائص التوصيل والكثافة الحرارية، يُنصح بالبدء في اختبار صلاحية هذه المادة لاستخداماتها في المكونات الإلكترونية، ومواد العزل، وتصنيع النوافذ المقاومة للحرارة، والأجهزة الطبية، بالإضافة إلى التطبيقات البيئية مثل مواد فلترة المياه أو المواد المقاومة للأحماض والمواد الكيميائية القاسية.
4. **تحسين عمليات التصنيع والإنتاج** من المهم أن تتبع عمليات تصنيع الزجاج المُعدّل استراتيجيات تضمن تكرارية عالية وجودة موحدة للمنتجات، مع تقليل التكاليف. يُنصح بإجراء تجارب على التشكيل والتحكم في درجات الحرارة وسرعة التبريد والاضافات المساعدة، لتحقيق استقرار أكبر في المنتج النهائي وتقليل العيوب المتعلقة بالتوتر أو التفاعل غير المرغوب فيه.
5. **دراسات طويلة المدى للمقاومة والتكامل البيئي** ينبغي أن تشمل الأبحاث المستقبلية تقييم مقاومة الزجاج في بيئات مختلفة ولمدات زمنية طويلة، خاصة فيما يتعلق بالمقاومة للتآكل، التفاعل مع المواد الكيميائية، والاختبارات البيئية (الحرارة، الرطوبة، الأشعة فوق البنفسجية). كما يُنصح بدراسة التأثير البيئي لتصنيع واستخدام هذا النوع من الزجاج، والعمل على تطوير طرق تصنيع صديقة للبيئة تقلل من النفايات والانبعاثات الضارة.
6. **التعاون البحثي والصناعي** يوصى بإقامة شراكات مع المؤسسات الصناعية وشركات التصنيع الكبرى للاستفادة من نتائج البحث في تطوير منتجات ذات خصائص متميزة، وأيضًا لتطبيق النتائج بشكل مباشر في الإنتاج الكمي، مع توفير دعم فني واستثمار مالي يدعم استدامة وتطوير هذه التكنولوجيا.
7. **متابعة التغيرات التشريعية والتنظيمية** نظراً لأن المواد الزجاجية ذات الاستخدامات التكنولوجية والصناعية تلعب دورًا مهمًا، من الضروري متابعة السياسات والقوانين المتعلقة باستخدام المواد الكيميائية والمعادن المختلفة، وضمان الامتثال للمواصفات والمعايير الخاصة بالسلامة والجودة، خاصة عند توسيع نطاق الاستخدامات التجارية لهذه المنتجات.

الخاتمة

في هذا البحث، تم التركيز على تحضير وتوصيف زجاج البورسيليكات الليثيوم المعدل بإضافة أكسيد الحديد، بهدف فهم التغيرات الهيكلية والخصائص الفيزيائية والكيميائية الناتجة عن تلك الإضافة. لقد بدأنا بخطوات منهجية في تحضير العينات الزجاجية باستخدام الطرق التقليدية مثل الصهر والتصبب، تلتها دراسات تحليلية متقدمة بواسطة تقنيات متعددة، بما في ذلك الأشعة السينية(XRD) ، التحليل الطيفي، وطرق قياس الخصائص الميكانيكية والكهربائية، بهدف الكشف عن التغيرات البنيوية والخصائص الناتجة.

كما أظهرت نتائج التحليل أن إضافة أكسيد الحديد تؤدي إلى تغييرات ملحوظة في التركيب البنيوي للزجاج، حيث ساعدت على تشكيل روابط جديدة وزيادة تداخل الشبكة الزجاجية، مما أثر بدوره على مقاومته للحرارة والكسر، بالإضافة إلى تحسين بعض الخصائص الكهربائية. كما أن التغيرات في البنية الداخلية، التي لوحظت من خلال التحليل الطيفي، أشارت إلى أن الحديد يتفاعل بشكل خاص مع مكونات الزجاج، مؤثرًا على استقرار الهيكل وعدد الروابط.

وعلى المستوى الوظيفي، كانت النتائج مثمرة، حيث أظهر الزجاج المعدل تأثيرات إيجابية متمثلة في زيادة مقاومته للحرارة والكهرباء، وهي خصائص ذات أهمية كبيرة في تطبيقات متعددة مثل الإلكترونيات، ومواد الحماية، والطاقة الشمسية، والديكورات المعمارية والعزل، ومن خلال الدراسة، تبين أن التحكم في نسبة أكسيد الحديد يمكن أن يساهم في تعديل وتحسين خواص الزجاج بشكل فعال، مما يفتح آفاقًا واسعة للاستفادة منها في تطوير مواد ذات أداء عالي وموثوقية.

كما أن هذا البحث يثري المعرفة العلمية حول تركيب وتفاعلات المكونات في الزجاج البورسيليكات الليثيوم، ويسهم في وضع أساس علمي لتطوير أنواع جديدة من الزجاج ذات خصائص متميزة، كما أنه يبرز أهمية الاستخدام الأمثل لمكونات معدنية مثل الحديد في تحسين المواد الزجاجية، ويوفر مرجعية علمية قيمة للأبحاث المستقبلية في مجال تصنيع الزجاج الذكي والمخصص.

باعتبار أن المواد الزجاجية ذات الإمكانيات المتقدمة تلعب دوراً أساسياً في العديد من الصناعات الحديثة، فإن النتائج التي تم التوصل إليها تؤكد على أهمية العمل المستمر في فهم وتحسين الخواص البنيوية والكيميائية للزجاج، لزيادة تطبيقاتها وتحقيق التنمية التقنية المستدامة.

References

1. Ahmeed, S., & Damrawi, G. (2022). Mechanism of cluster formation on cerium borosilicate glasses based on TEM-EDP and SEM-EDEX investigations. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, *10*, 153–162.
2. Arti Yadav, Manjeet S. Dahiya, Pinki Narwala, A. Hooda, A. Agarwal, S. Khasa "Electrical characterization of lithium bismuth borate glasses containing cobalt/vanadium ions" solid-state Ionics 312,21-31(2017).
3. Azab Taha, AC conductivity and dielectric properties of borotellurite glass, J. Electron. Mater. 45 ,5170– 5177(2016).
4. Ben-Yakar, A. (2004). Femtosecond laser ablation properties of borosilicate glass. *Journal of Applied Physics*, *96*(9), 5316–5323.
5. C. Tealdi, E. Quartarone, P. Mustarelli, Solid-state lithium ion electrolytes, in: Z. Zhang, S.S. Zhang (Eds.), Rechargeable Batteries: Materials, Technologies and New Trends, Springer International Publishing, Switzerland, pp. 311–335(2015)
6. El-Damrawi, G., Hassan, A., Ramadan, R., & El-Jadal, S. (2016). Nuclear magnetic resonance and FTIR structural studies on borosilicate glasses containing iron oxide. *New Journal of Glass and Ceramics*, *6*, 47–56. https://doi.org/10.4236/njgc.2016 .64006
7. El-Damrawi, G., Müller-Warmuth, W., & Doweidar, H. (1992). Structure and heat treatment effects of sodium borosilicate glasses as studied by 29Si and 11B NMR. *Journal of Non-Crystalline Solids*, *146*, 137–144. https://doi.org/10.1016/S0022-3093(05)80485-5
8. G. Zhao, Y. Tian, H. Fan, J. Zhang, H. Lili, properties and structures of Bi2O3-B2O3-TeO2 Glass. J. Mater. Sci. Technol. 29,209–214 (2013).
9. Kim, C. E.; Hwang, H. C.; Yoon, M. Y.; Choi, B. H.; Hwang, H. J. Fabrication of a high lithium ion conducting lithium borosilicate glass. J. Non-Cryst. Solids, 357, 2863−2867(2011).
10. Kloss, T., Lautenschläger, G., & Schneider, K. (2000). Advances in the process of floating borosilicate glasses and some recent applications for specialty borosilicate float glasses. *Glass Technology*, *41*(6), 177–181.
11. Krenkel, S., Uhlig, H., Enke, D., & Rädlein, E. (2015). [Title not provided]. *Physics and Chemistry of Glasses: European Journal of Glass Science and Technology Part B*, *56*(4), 149–158.
12. Qiu, D., & Guerry, P. (2008). A high-energy X-ray diffraction, 31P and 11B solid-state NMR study of the structure of aged sodium borophosphate glasses. *Materials Chemistry and Physics*, *111*, 345–462. https://doi.org/10.1016/j.matchemphys. 2008.04.045
13. S. Dahiya, R. Punia, S. Murugavel, A.S. Maan, Conduc tivity and modulus formulation in lithium modified bismuth zinc borate glasses, Solid State Sci. 55 98– 105(2016).