تأثير كلوريد الفضة AgCl وكلوريد النحاس CuCl(I) في الخواص البصرية للزجاج

إسماعيل الصالح*

الملخص

إن المركبات التي تدخل في تركيب الزجاج ودرجة تعتيمه وتغيير خواصه وصفاته كثيرة، درس في هذا البحث أثر استعمال كلوريد الفضة **AgCl** وكلوريد النحاس **CuCl(I)** في تحضير زجاج للبصريات، حيث تم إدخال مزيج من بلورات **AgCl** و **CuCl(I)** بنسب مئوية متدرجة منخفضة. دُرست الامتصاصية الضوئية والنفوذية الضوئية للعينات المحضرة باستعمال جهاز المطيافيه الضوئية في مجال الأشعة المرئية وفوق البنفسجية، ولوحظ أن الزيادة المئوية البسيطة من **AgCl** و **CuCl(I)** في الزجاج المحضر قد زادت من نسبة تعتيم الزجاج، حيث زادت الامتصاصية وانخفضت النفوذية للضوء بازدياد النسبة المئوية لـ **AgCl** و **CuCl(I)** في الزجاج. يعد الزجاج المحتوي على كميات قليلة من كلوريد الفضة **AgCl** وكلوريد النحاس**CuCl(I)** كزجاج بصري حساس، لاسيما للموجات الضوئية فوق البنفسجية المجاورة لطول الموجة **310 nm**.

الكلمات المفتاحية: زجاج بصري؛ كلوريد الفضة؛ كلوريد النحاس**(I)**؛ الامتصاصية ؛النفوذية؛ التعتيم.

* قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة حلب

Effect of Silvr chloride AgCl and copper chloride CuCl(I) on Optical Properties of Glass

Ismail Al Saleh*

Abstract

There are many compounds that can be incorporated in glass composition in order to modifying its characteristics including degree of its darkness. In this research we have studied the effect of using silver chloride AgCl and copper chloride CuCl(I) on the characteristics of the prepared optical glasses. A mix of AgCl and CuCl(I) crystals have been inserted in prepared glasses through a gradient of low percentages.The absorption and transmission have been recorded by using UV-visible Spectrophotometer. A little increasing in the percentage of AgCl and CuCl(I) had a marked effect in increasing the darkening of the glass, where absorption have increased and transmission decreased with increasing of the percentage of both AgCl and CuCl(I). We can conclude that the glass containing a small amount of AgCl and CuCl(I) is a good light sensitive glass specially for ultraviolet wavelengths about 310 nm.

Keywords: optical glass, silver chloride, copper chloride, absorption, transmission, darkness.

*Dept. of Chemistry, Faculty of Sciences, University of Aleppo

مقدمة:

الزجاج مادة صلبة شفافة عديمة اللون إن لم تضف له بعض الأكاسيد الملونة، ويصنع من السيليكا المصهورة في درجات حرارة عالية، وتضاف له بعض المواد الأخرى، مثل: حمض البوريك أو الفوسفات وغيرها حسب الغاية من التطبيق. يوجد الزجاج في الطبيعة، كما يوجد أيضاً في المواد البركانية التي تسمى الزجاج البركاني أو المواد التي تنشأ من النيازك، ويعدّ الزجاج مادة غيربلورية، وإن دخلت في تركيبه بعض المواد البلورية، ولا يخضع لقانون النسب الكيميائية، وعُرِف الزجاج في كثير من المراجع ومن قبل الهيئة الأمريكية للمقاييس والمواصفات بأنه منتج لا عضوي لعملية انصهار وتبريد حتى التصلب من دون حدوث تبلور، ويشمل هذا التعريف معظم أنواع الزجاج التقليدي متعدد الأشكال الهندسية، أما من الناحية التكنولوجية يمكن القول إن الزجاج جسم صلب ناتج عن تصلب سائل متعدد المركبات الكيميائية دون حدوث تبلور، ومن الناحية البنيوية يعد الزجاج جسماً صلباً غير بلوري تتوضع الذرات المكونة له في شبكة عشوائية [1,2,3] وعندما يتم تبريد الزجاج بعد الصهر يكون في الحالة الصلبة، ولكن من دون تبلور، ويتحول إلى زجاج شفاف، ولكنه قد يكون غير شفاف أو نصف شفاف وعندها يسمى شافاً، ويختلف لونه تبعاً لمكوناته؛ فمثلاً إضافة أيون الحديد الثلاثي يكسب الزجاج اللون الأصفر، بينما إضافة ثاني أوكسيد المنغنيز يكسبه اللون الأخضر، ويكون الزجاج المصهور كاللدائن بحيث يمكن تشكيله بأشكال متعددة باستعمال تقنيات عدة، ومن الممكن تقطيع الزجاج عندما يكون بارداً إذ يكون هشاً. إن المكونات الأساسية للزجاج هي السيليكا SiO_2 المشتقة من الرمل والصوان والكوارتز؛ وتصهر السيليكا في درجات حرارة عالية جداً لإنتاج زجاج السيليكا المشهور، ويمكن إضافة مركبات قلوية، مثل: كربونات الصوديوم، وكربونات البوتاسيوم التي تخلط بنسب مختلفة حيث تقلل من درجة حرارة الانصهار ولزوجة السيليكا؛ وذلك لاختلال نسبة ذرات الأكسجين إلى ذرات السيليسيوم في الأكسيد SiO_2 كمكون رئيس في الزجاج . إن احتواء الزجاج على بعض أكاسيد المعادن الثقيلة مثل (BaO, SrO, PbO) يكسبه أهمية تكنولوجية كبيرة؛ بسبب خصائصه الضوئية. ويعد الزجاج ناقلاً رديئاً لكل من الحرارة والكهرباء؛ وبالتالي فهو مفيد للعزل الحراري والكهربائي إلا أنه يفقد هذه الخاصة المهمة عندما يسخن إلى درجة أعلى من 200°C [4,5] وتعد صناعة الزجاج من الصناعات الكيميائية المهمة. وترتبط صفات الزجاج العامة بنسبة المواد الأولية المؤلفة له[2]،

لذلك يجب أن تكون المواد الأولية بمواصفات ثابتة ونقاوة عالية. إن مركبات الزجاج لاتخضع لقواعد الارتباط الكيميائي المعروفة وقد يضاف إليها بعض المركبات اللاأكسيدية بقصد الإشابة وإكسابه بعض الخواص المميزة المرغوبة بقصد استعماله لغايات محددة كحماية النظر من أطوال موجية معينة ذات طاقة عالية؛ لتجنب ضررها على العين البشرية. إن المواد التي تضاف إلى الزجاج بنسب بسيطة بهدف الإشابة كثيرة جداً، وكل مادة مضافة للزجاج تكسبه صفات مميزة سواءً ميكانيكية أو لونية، ويعود تشكل بعض الألوان في الزجاج نتيجة تفاعلات أكسدة وإرجاع لمشوبات الزجاج [2-6] ، كما أضاف بعض الباحثين معدني البالاديوم Pd والذهب Au بنسب بسيطة، ووجدوا أن لهما تأثيراً ملموساً في تغيير لون الزجاج عند تعرضه للضوء [7]. وكذلك إضافة عناصر من مجموعة الأكتينيدات واللانثانيدات إلى تركيبة الزجاج تغير من شفافية الزجاج في الضوء بحيث تجعل الزجاج شفافاً تماماً أو معتماً تماماً في الشمس كعنصر النيديوم Nd [8]. وقد اقترح بعض الباحثين دراسة الزجاج المشوب بتتبع التغيرات بالمجهر الإلكتروني التي تحدث على الشوائب عند تعرضها لأطوال موجات معينة مباشرةً من الضوء، وتتبع انتقال الشحن وتفسير ما يحدث-9] [10 وعند تعرض الزجاج المشوب لأطوال موجات من الضوء الأبيض المستمر، يحدث امتصاص لقسم من هذه الأشعة، وتتعلق نسبة الامتصاص بدرجة الحرارة التي خضع لها الزجاج في أثناء التصنيع، وحسب طول موجة الضوء λ التي يتعرض لها[11]. وأثبت بعض الباحثين أن الزجاج المشوب يتغير لونه، وتزداد أو تنقص مقدار شفافيته؛ وفقاً للمدة الزمنية التي يتعرض لها الزجاج للضوء ونوع الشوائب المضافة [12]. عملنا في هذا البحث على إشابة الزجاج بهالوجينات معدنية، لا سيما هالوجينات الفضة؛ إذ تستخدم مركبات الفضة في أفلام التصوير الضوئي كمادة حساسة للضوء، وقد اخترنا من الهاليدات كلوريد النحاس الأحادي كموشب ثانوي وكلوريد الفضة كمادة مشوبة رئيسة أحدثت فروقات بينة أثرت في امتصاصية الضوء ونفوذيته؛ كون مركبات الفضة من المواد الحساسة للضوء ويؤدي الحجم الحبيبي للمواد الشائبة الحساسة للضوء دوراً كبيراً في عملية تغير اللون وتجانس اللون والنفوذية، ويفضل أن تكون من مرتبة النانو متر [13].

2- أهمية البحث وأهدافه:

الهدف من البحث إشابة الزجاج الشفاف ببعض المواد، ودراسة تأثيرها على صفاته الضوئية وذلك بتحضير عينات زجاجية عدة مشوبة بمركبات حساسة للضوء

بقصد استخدامها في صناعة البصريات، كما درسنا علاقة نسبة المادة المشوبة في الزجاج بالامتصاصية والنفوذية الضوئية. ولإنجاز هذا العمل مزجنا نسب بسيطة مختلفة من كل من كلوريد الفضة AgCl وكلوريد النحاس الأحادي CuCl(I) كمادتين مشوبتين لعينات زجاجية حضرت بقصد دراسة تأثير الشوائب واستخدامها في صناعة البصريات؛ بهدف حماية العين البشرية من أضرار الأشعة فوق البنفسجية (UV).

3- القسم العملي والمواد المستخدمة:

3-1- المواد المستخدمة وتحضير العينات:

لتحضير عينات الزجاج استعملت المواد النقية التالية من شركة Merck وشركة Riedel-deHaen وكانت المواد المستخدمة جميعها بنقاوة (99.7%<): ثنائي أكسيد السيليكون SiO_2، كربونات البوتاسيوم K_2CO_3، كربونات الصوديوم Na_2CO_3، أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 ، حمض البوريكH_3BO_3، وأضفنا كلوريد الفضة AgCl وكلوريد النحاس الأحادي CuCl(I) كمادتين بوصفهما شوائب للخلطة الزجاجية، وقد جففت المواد الأولية المستخدمة في تحضير الزجاج المدروس قبل مزجها مع بعضها في مجففة حرارية في الدرجة 105°C لمدة ساعة حتى ثبات الوزن للتخلص من الماء المرتبط ، وذلك لتحسين عملية السحق والمزج والوزن الصحيح لضبط النسب الداخلة في التحضير، ثم سحقت المواد المذكورة سحقاً يدوياً جيداً، وجعلت على شكل مسحوق ناعم جداً، فعملية المزج غير الجيد ستؤدي إلى عينات زجاجية غير متجانسة في الخصائص الفيزيائية لا تصلح في صناعة البصريات، وقد تم تحضير ست عينات زجاجية بنسب مختلفة من المواد الأولية المكونة للزجاج والمواد المشوبة كما في الجدول رقم (1).

الجدول (1) المركبات الكيميائية التي أدخلت في الخلطة الزجاجية قبل التسخين والمعالجة الحرارية

رمز العينة	SiO_2	Al_2O_3	K_2CO_3	Na_2CO_3	H_3BO_3	AgCl	CuCl	المجموع بالغرام
عينة نقية	63	2.00	16.14	19.42	17.76	0.00	0.00	118.32
a	63	2.00	16.14	19.42	17.65	0.04	0.02	118.27
b	63	2.00	16.14	19.42	17.55	0.08	0.04	118.23
c	63	2.00	16.14	19.42	17.44	0.12	0.06	118.18
d	63	2.00	16.14	19.42	17.33	0.16	0.08	118.13
e	63	2.00	16.14	19.42	17.23	0.20	0.10	118.09

في هذا الجدول والذي يليه يقصد بالعينة النقية العينة التي لم ندخل فيها كلوريد الفضة وكلوريد النحاس(I)؛ لأخذها عينة للمقارنة بوصفها عينة شاهدة تستعمل لدى أخذ طيفي الامتصاصية الضوئية والنفوذية الضوئية. أخذت العينات الممزوجة بمعدل 10g في تحضير كل عينة زجاجية، ووضعت في بوتقة بورسلان (فخار)، ثم وضعت في فرن ترميد عند الدرجة 1200°C لمدة ساعة، ومن ثم بردت ببطء حتى الدرجة 500°C وأبقيت في هذه الدرجة لمدة ساعة، ثم نبرد ببطء حتى الدرجة 300°C ونبقيها في هذه الدرجة لمدة نصف ساعة ثم نطفئ الفرن، ونتركه يبرد بشكل طبيعي حتى درجة حرارة المختبر، والغاية من التبريد البطيء على مراحل هو الحصول على العينة الزجاجية من دون تشققات وشروخ صغيرة جداً قد تؤثر في دراسة الخواص الضوئية لعينة الزجاج. وبعد ذلك نخرج العينة من بوتقة البورسلان(الفخار) بعملية يدوية ثم نعالجها بطريقة الشحذ والتنعيم والتلميع. تتفكك بعد المعالجة الحرارية بعض المركبات، مثل: كربونات الصوديوم، والبوتاسيوم، وحمض البور للحصول على أكاسيد ثابته في الدرجة 1200°C ومركبات غازية طيارة لا تؤثر في نسب الخلطة المعدة لتحضير الزجاج، ويكون التفكك الحراري؛ وفق المعادلات الآتية[14]:

$$Na_2CO_3 \xrightarrow{\Delta} Na_2O + CO_2$$
$$K_2CO_3 \xrightarrow{\Delta} K_2O + CO_2$$
$$2H_3BO_3 \xrightarrow{\Delta} B_2O_3 + 3H_2O$$

التي حسبنا منها الكميات المتبقية نظرياً بعد المعالجة الحرارية كأكسيد البور B_2O_3 وأكسيد الصوديوم Na_2O وأكسيد البوتاسيوم K_2O التي تشكلت بعد المعالجة الحرارية للخليط الزجاجي لنحصل على النسب المئوية الصحيحة التي تشكل منها الزجاج المحضر؛ ونعدّ أن كل مادة من المواد التي أدخلت في خلطة تحضير الزجاج ذات نقاوة عالية. بعد المعالجة الحرارية ستتغير الكميات التي يتشكل منها الزجاج، وتصبح النسب كما يوضحها الجدول رقم (2).

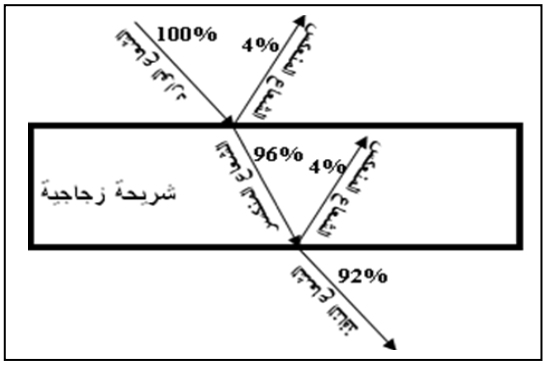
رمزالعينة	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	B_2O_3	AgCl	CuCl	المجموع بالغرام
عينة نقية	63	2.00	11.00	14.00	10	0.00	0.00	100
A	63	2.00	11.00	14.00	9.94	0.04	0.02	100
B	63	2.00	11.00	14.00	9.88	0.08	0.04	100
C	63	2.00	11.00	14.00	9.82	0.12	0.06	100
D	63	2.00	11.00	14.00	9.76	0.16	0.08	100
E	63	2.00	11.00	14.00	9.70	0.20	0.10	100

الجدول(2) يشير إلى المواد الأولية والكميات التي بقيت بعد المعالجة الحرارية وقد أخذت العينات الممزوجة بمعدل 10g في تحضير كل عينة زجاجية، ومن الواضح من الجدول أن كميات كل من كلوريد الفضة وكلوريد النحاسي الحساسين للضوء كميات صغيرة جداً تزداد من عينة إلى أخرى على حساب تناقص كمية أكسيد البور B_2O_3، بينما تبقى بقية الأكاسيد الأخرى على حالها. والغاية من ذلك هو دراسة مدى تأثير كمية المواد الحساسة للضوء، وهل تتأثر الامتصاصية والنفوذية الضوئيتين بنسبة المواد الحساسة للضوء أم لا.

3-2- الميزات الضوئية للزجاج المحضر:

تمَّت دراسة ميزتين ضوئيتين رئيستين، هما: الامتصاصية الضوئية A، والنفوذية الضوئية Tاللتين ترتبطان مع الانعكاسية R بالعلاقة:

$A+T+R=1$ كما أن كلاً من A, T, R تعتمد على الطول الموجي للضوء المستخدم[14,15] وأن الإشعاع النافذ الذي يمرُّ خلال المواد الشفافة يساوي إلى كمية الأشعة المتبقية التي لم تمتص أو لم تنعكس، كما يوضحها الشكل(1) الذي يمثل شريحة زجاجية نقية وشفافة.

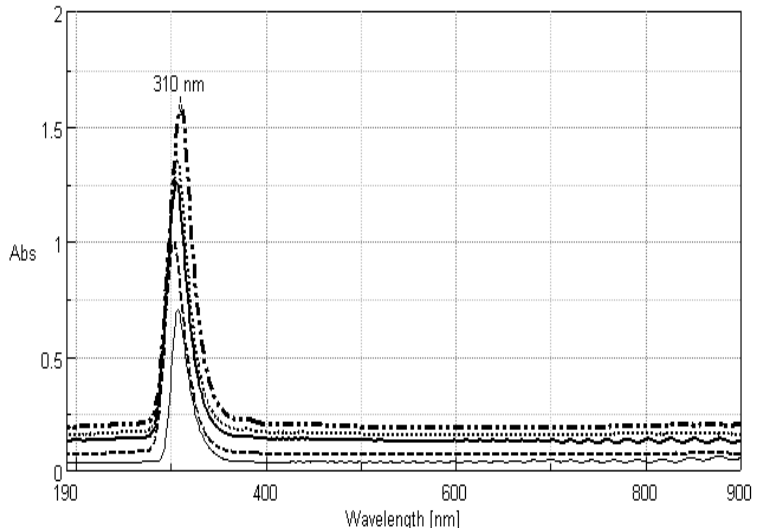


الشكل (1) **يمثل امتصاص وانعكاس ونفوذ شعاع ضوئي خلال مروره في شريحة زجاجية.**

تمّت دراسة ميزتين ضوئيتين للعينات الزجاجية المحضرة بهذه الطريقة، وذلك باستخدام جهاز المطياف الضوئي UV-visible Spectrophotometer كمنبع للموجات الضوئية في المجال المرئي وفوق البنفسجي باستخدام الجهاز Jasco V-650 وهما: الامتصاصية الضوئية، والنفوذية الضوئية.

3-2-1- الامتصاصية (Absorption):

يمتص الضوء من قبل المواد التي يسقط عليها، إما بطريقة الاستقطاب الإلكتروني أو بطريقة الانتقالات الإلكتروني[16] . وتتم عملية امتصاص الضوء من قبل الإلكترونات وتنتقل من سوية عصابة دنيا إلى السويات الأعلى، والامتصاص الضوئي لا يحصل إلا عندما تكون طاقة الفوتون الساقط على العينة أكبر من المجال المحظور الذي يفصل بين السويتين الطاقيتين، السوية الأولى التي كان فيها

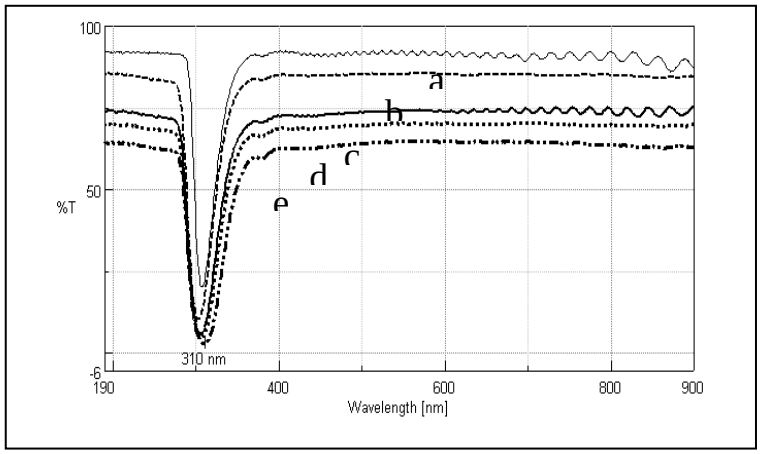


الشكل(2) **طيوف الامتصاصية الضوئية للعينات الزجاجية** (a,b,c,d,e) **المشوبة بالهاليدين** AgCl , CuCl(I) **بنسب مختلفة وفق الجدول**(2).

الإلكترون قبل الانتقال، والسوية الثانية التي استقر فيها الإلكترون بعد الانتقال؛ عبر فجوة الطاقة (Band gap) والتي يمكن تمثيلها بصيغة الطول الموجي $h\nu>E_g$ فعند أخذ طيوف الامتصاصية للعينات الزجاجية المحضرة تم الحصول على الطيوف الموضحة في الشكل **(2)**

3-2-2- النفوذية (Transmission):

يجزأ الضوء الساقط على العينة الزجاجية إلى ثلاثة أجزاء: جزء ينعكس، وجزء يمتص، والجزء الثالث ينفذ إلى الطرف الآخر. وأن كلاً من الامتصاصية والنفوذية والانعكاسية تعتمد على الأطوال الموجية λ للضوء المستخدم [14,15] والذي يهمنا بالدرجة الأولى هو نسبة النفوذية للعينات الزجاجية المحضرة والمدروسة لمعرفة كيفية حماية الحواس البشرية من الأشعة الضارة، فطيوف النفوذية التي حصلنا عليها للعينات الزجاجية التي تمت إشابتها بهاليدي النحاس(I)CuCl والفضة AgCl موضحة في الشكل**(3)**.



الشكل(3) طيوف النفوذية الضوئية للعينات الزجاجية (a,b,c,d,e) المشوبة بالهاليدين AgCl , CuCl(I) بنسب مختلفة وفق الجدول (2).

4- مناقشة النتائج:

لو دققنا بمنحنيات الامتصاصية في الشكل (2) . نلاحظ تزايد قمة الامتصاص الأعظمي بازدياد نسبة كلوريد النحاس(I) وكلوريد الفضة بالخلطة الزجاجية كمادتين مشوبتين في الزجاج المحضر؛ الأمر الذي يدل على أن الامتصاص في منطقة الأشعة فوق البنفسجية(UV) ناتج من قبل كل من كلوريد الفضة وكلوريد النحاس(I) كمادتين مشوبتين للزجاج، مع ملاحظة أن قمم الامتصاص تنزاح قليلاً نحو الموجات الضوئية القصيرة التي تحمل طاقة أكبر، حيث تزداد الطاقة بنقصان الأطوال الموجية الضوئية فوق البنفسجية؛ بسبب زيادة نسبة الإشابة نحتاج إلى طاقة أكبر لتحرير المزيد من الفضة Ag بدلاً من شوارد الفضة Ag^+؛ لأن كلاً من كلوريد الفضة وكلوريد النحاس(I) بطبيعة الحال ملحّان على شكل بلورات شاردية صلبة:

$$AgCl \longleftrightarrow Ag^+ + Cl^-$$

$$CuCl \longleftrightarrow Cu^+ + Cl^-$$

فعند سقوط الأشعة فوق البنفسجية عالية الطاقة UV على العينات الزجاجية يتأكسد الكلور وترجع الفضة بانتقال الشحن في الحالة البلورية الصلبة [11]:

$$Cl^- - e \xrightarrow{h\nu} Cl$$
$$Ag^+ + e \xrightarrow{h\nu} Ag$$

وبعد تجاوز منطقة الأشعة فوق البنفسجية ذات الطاقة العالية المسلطة على العينة الزجاجية وبوجود Cu^+ يحدث التفاعل الآتية:

$$Cl + Cu^+ \longrightarrow Cu^{2+} + Cl^-$$
$$Cu^+ \longleftrightarrow Cu^{2+} ... E_0 = +0.17V$$

بعد تشكل النحاس Cu^{2+} يتفاعل مع الفضة، ويحدث التفاعل الآتية [11]:

$$Cu^{2+} + Ag \longrightarrow Cu^+ + Ag^+$$
$$Ag \longleftrightarrow Ag^+ ... E_0 = +0.80V$$

ومن ثم تتفاعل الشاردة Cl^- مع الشاردة Ag^+ والشاردة Cu^+ ليتشكل كلوريد الفضة وكلوريد النحاس من جديد، وذلك بعد غياب الأشعة فوق البنفسجية:

$$Cl^- + Ag^+ \longleftrightarrow AgCl$$
$$Cl^- + Cu^+ \longleftrightarrow CuCl$$

وتنخفض عملية امتصاص الضوء، حيث إن شاردة الفضة Ag^+ لا تعكس؛ بل قد تمتص الأشعة الساقطة على العينات الزجاجية كعنصر الفضة الحر Ag الذي يستخدم في صناعة المرايا العاكسة للضوء؛ وبالتالي تتناقص الامتصاصية للعينات التي لا تستهلك طاقة الأشعة فوق البنفسجية في هذه المنطقة الضوئية وتتناقص النفوذية بمنطقة الأشعة فوق البنفسجية، بازدياد نسبة كل من كلوريد الفضة وكلوريد النحاس(I)؛ وذلك لأن الطاقة الضوئية في منطقة الأشعة فوق البنفسجية UV تستهلك في تشرد كلوريد الفضة وكلوريد النحاس(I)CuCl ، ويزيد تعتيم الزجاج، كما يظهر ذلك جلياً في الشكل(3) الذي يوضح طيوف النفوذية الضوئية؛ لأن الأشعة فوق البنفسجية قد تنعكس من قبل الفضة كعنصر معدني وتتناقص النفوذية.

5- الاستنتاجات:

نستنتج من هذا البحث ما يأتي:

1- يمكن استخدام الزجاج المحضر بهذه الطريقة في البصريات لحماية العين من الأشعة فوق البنفسجية الضارة والمسببة للسرطانات الجلدية.

2- يمتاز الزجاج المحضر بامتصاصه الجيد للضوء ونفوذيته الضعيفة جداً بمجال الموجات القصيرة فوق البنفسجية الضارة في المجال(280-360 nm).

3- تزداد الامتصاصية بازدياد النسبة المئوية للهاليدين AgCl,CuCl(I) في الزجاج.

4- تتناقص النفوذية بازدياد النسبة المئوية للهاليدين AgCl, CuCl(I) في الزجاج.

المراجع:

[1] Shachelford, J.F., Robert, H., 2008. Ceramic and Glass Material, Structure, Properties and Processing, Doremuns, 2nded,Paris, 658pages

[2] Wolf, W. , 2007. Industrial Glass Bandwidth Analysis, Gas Technology Institute Energy Utilization Center, US, 1nded,New York, 765pages.

[3] Bernardo, E.,Albertini, F., 2006. Glass Foams from Dismantled Cathode Ray Tubes, Ceram. Int,32 ,603–608.

[4] Cable, M., Parker, J.M., 1992. High-performance Glasses. Champion and Hall., U.S.A,757PP

[5] Yasutake, O., 2008. Novel Photonic Glasses for Future Amplifiers, Glass Technol. Eur. J. Glass Sci. Technol. Part A. 49, pp. 317–328..

[6] Schwarz, J.,Ticha, H., 2003. Some Optical Properties of BaO-PbO-B_2O_3 Glasses. J. Optoelectron. Adv. Mater, 5, pp. 69–74.

[7] Shelby, J.E., 2005. Introduction to Glass Science and Technology, 2nded, New York 763PP.

[8] Lythgoe, S., 1972. US Patent, 3876436, filed July 12

[9] Araujo, R.J.,2012.Ophthalmic Glass Particularly Photochromic Glass. Non-Crystalline Solids, Vol.47, 1, 69-86.

[10] Borelli, N. F., Araujo, J. B., Hares, G. B., 1998. Optically Induced Anisotropy in Photochromic Glasses.J. Appl. Phys, Vol. 50, 9, 5956-5962.

[11] Hoffmann, H.J., 2003. The Use of Silver Salts for Photochromic Glasses Photochromism, Molecules and Systems, Revised Edition, Elsevier, 822Pages.

[12] Nolan, D.A., Borrelli, N.F., Schreurs, J.W.H.,2007. Optical Absorption of Silver in Photochromic Glasses Optically Induced Dichroism, J. Amer. Cer. Soc, Vol.63 (5- 6),305–308

[13] Aborrelli, N.F., 1989. Opthalmic Glass particularly

photochromic Glass, Non-Crystalline Solids, Vol.56(1), 66-96
[14] James, D.,Rancourt,N.,1995.Optical Thin Films User Handbook. SPIEBellingham,1st ed ,USA, pp 290.
[15] Eugene,H.,1997. Optics.Addison.Wesley,2eded ,USA,676 pages.
[16] Chikao, K., 2004 . Dielectric Phenomena in Solids, book, ISBN 0-12- 396561-6, Elsevier Academic Press, pp.-86-98.