

دراسة أطياف رامان لبلورة KGW باستخدام منظومة OPO ومطياف رامان

حياة الزايد⁽¹⁾ وكنج الشوفي⁽²⁾

تاريخ الإيداع 2014/05/21
قبل للنشر في 2014/09/09

الملخص

يتضمن هذا البحث دراسةً لأطياف رامان لبلورة تنغستات البوتاسيوم والغادولينيوم KGW بطريقتين . تعتمد الأولى على استخدام منظومة OPO، وتعتمد الثانية على أخذ الأطياف بالطريقة التقليدية بمطياف رامان. بيّنت النتائج وجود اختلافات واضحة في مميزات طيف رامان الذي تم الحصول عليه بالطريقتين المذكورتين. تبين لدى مقارنة هذه الأطياف بالأطياف المرجعية انزياح القمم عن مواقعها والتعرض الكبير لهذه القمم. كما تضمنت الدراسة أيضاً أثر اتجاه الضخ في خصائص أطياف رامان للبلورة بمطياف رامان.

الكلمات المفتاحية: بلورة KGW، مطيافية، انزياح رامان، OPO.

(1) طالبة ماجستير، المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته.

(2) أستاذ مساعد، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق، سورية.

Studing the Raman spectra of KGW crystal using OPO system and Raman spectrometer

H. Al-Zaiad⁽¹⁾ and K. Al-Shoufi⁽²⁾

Received 21/05/2014

Accepted 09/09/2014

Abstract

This work contains the results of studying Raman spectra of KGW crystal by using two methods. The first one uses OPO system, whereas the second depends on Raman spectrometer. The results show that there are clear differences in the Raman spectrum features between the two methods. Compared with reference spectra, our peaks showed position shift and they are wider. Our study contains equally the effect of pumping direction upon raman spectra.

Key words : KGW crystal, Spectroscopy, Raman Shift, OPO.

⁽¹⁾MCS., Student, High Institute of Laser Research and Application.

⁽²⁾ Associate Prof., Department of Physics, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria.

المقدمة

تكمن أهمية بلورات KGW بخصائصها الضوئية اللاخطية المهمة [1-3] خاصة عند إشبانتها بأيونات العناصر الترابية النادرة التي تجعلها مناسبة كمواد فعالة ذات كفاءة عالية في منظومات الليزر الصلبة، إذ تستخدم في تصنيع ليزرات ذات كفاءة عالية وطاقة خرج مرتفعة [4]. يمكن استخدام هذه البلورة في بناء ليزرات آمنة غير مؤذية للعين البشرية؛ وذلك بضخ هذه البلورات بليزر ذات طول موجي 1.5 ميكرو متر [5]. إن KGW هي الصيغة المختصرة تتغستات الغادولينيوم والبوتاسيوم $KGd(WO_4)_2$ وهي بلورات أحادية الميل monoclinic من النمط $\frac{C_2}{C} \equiv C_{2h}^6$ من المجموعة الفراغية $(Z=4)$ عند درجة حرارة الغرفة [5-9]. إن المكون الرئيسي في هذه البلورة هو الأيون WO_4 الذي ينتج انتشار رامن المحثوث (SRS (stimulated Raman Scattering) [10].

تتميز بلورة KGW بإصدار محثوث عالي الكفاءة في المجال المرئي عند إثارتها بالأشعة تحت الحمراء التي يولدها ديود ليزري. ويكون هذا الإصدار فعالاً عند الإثابة بأيونات Er^{+3} إذ نحصل على تآلق ضوئي أخضر وذلك عند الاثارة بضوء ديود ليزري في المجالين (795-805nm) و (970-990nm) [5]. تتميز هذه البلورة باتجاهين مستقلين n_g, n_m معامدين للمحور البصري. في حالة الشعاع المار وفق المحور البصري باستقطاب مواز لـ n_m يكون تواتر رامن مساوياً $901cm^{-1}$. أما في حالة شعاع استقطابه يوازي n_g فيكون $767cm^{-1}$ [10].

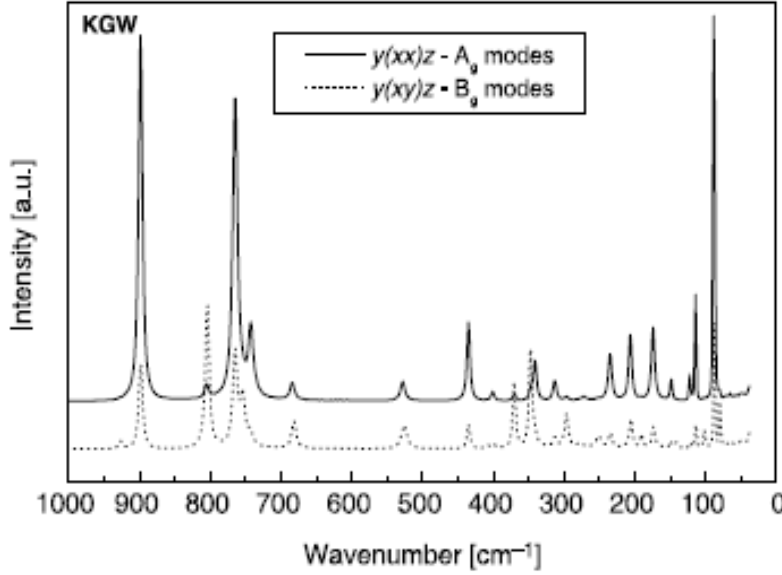
عند دراسة طيف رامن لبلورة KGW نهتم بدراسة الخطوط الطيفية المتشكلة في المجال من $720cm^{-1}$ إلى $920cm^{-1}$ التي تتميز بشدة أعلى خاصة عند الطول الموجي $899cm^{-1}$. يحتوي طيف رامن لبلورة KGW العديد من المميزات الطيفية [5]:

تظهر عصابة مستقطبة بقوة عند $899cm^{-1}$ تعود إلى فونونات الامتطاط المتماثلة لأيونات $(WO_4)^{-2}$ وفونونات روابط الجسر الأكسجيني WO_2W . كذلك تظهر عصابة مستقطبة بقوة عند العدد الموجي $804cm^{-1}$ تعود لفونونات الامتطاط اللامتائل للجزئي $(WO_4)^{-2}$ وروابط الجسور الأكسجينية WOW. تظهر عصابتان مستقطبتان بقوة عند $347, 370cm^{-1}$ في هندسة $y(xy)z$ تعود إلى فونونات الانحناء المتماثل لأيونات $(WO_4)^{-2}$. تظهر عصابات مستقطبة بقوة عند $528cm^{-1}$ و $684cm^{-1}$ تعود إلى فونونات الامتطاط المتماثلة لروابط الجسور الأكسجينية WOW و WO_2W بالترتيب. أما العصابات التي تظهر عند الأعداد الموجية $235cm^{-1}, 435cm^{-1}, 766cm^{-1}$ فتعود إلى فونونات الجسور

الأكسجينية WO_2W . تعود العصابة عند 297 cm^{-1} إلى روابط الجسور الأكسجينية WO_2W . تعود قمم العصابات عند الأطوال الموجية الأقل من 250 cm^{-1} إلى فونونات الشبكة البلورية لأيونات $(WO_4)^{2-}$ وانتقالات أيونات K^+ و Gd^{+3} .

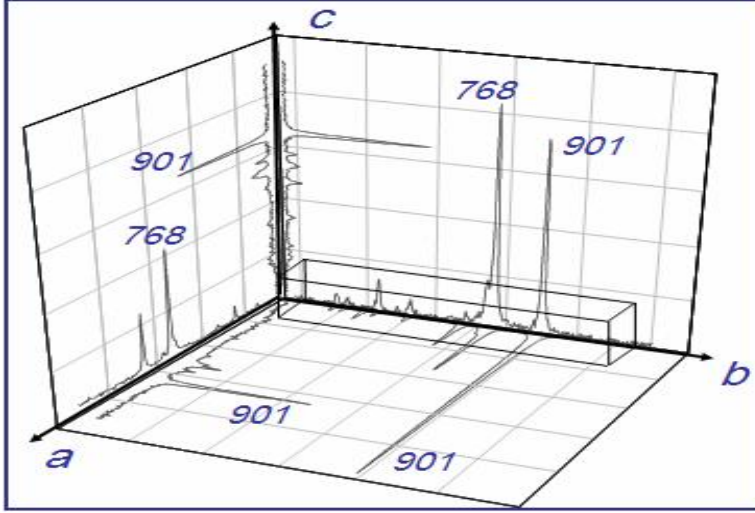
يظهر الشكل (1) طيف رامان لبلورة KGW عند درجة حرارة الغرفة في المجال الطيفي ($20-1000\text{ cm}^{-1}$)، إذ نلاحظ تشكل خطوط ذات شدة مرتفعة عند 766 cm^{-1} و 899 cm^{-1} من أجل الهندسة $y(xx)z$ (النمط A_g)، وتكون هذه الخطوط أقل شدة من أجل الهندسة $y(xy)z$ (النمط B_g).

تجعل هاتان القمتان بلورة KGW مناسبة للعديد من التطبيقات في مجال انتشار رامان المحثوث SRS [4].



الشكل (1) أطياف رامان لبلورة KGW في حالتها هندستيا الانتثار $y(xy)z$ و $y(xx)z$ [5].

يبين الشكل (2) أطياف رامان لبلورة KGW وفق محاورها الثلاثة a, b, c.

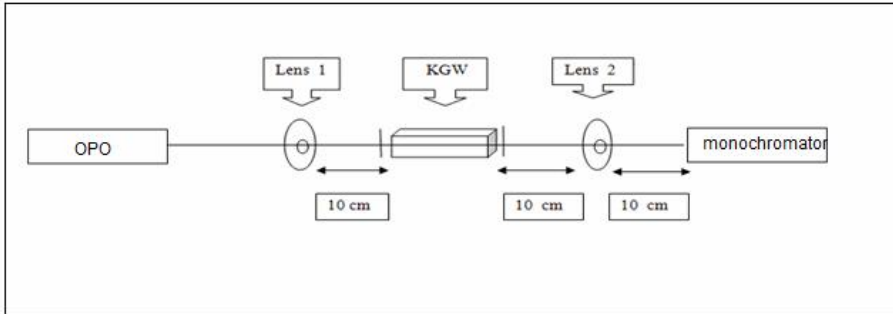


الشكل (2) أطياف رامان لبلورة KGW وفق محاورها الثلاثة [6].

نلاحظ من هذا الشكل أننا نحصل على أعلى شدة للخطين الطيفيين 901cm^{-1} ، 768cm^{-1} عند الضخ وفق المحور b. أما بالنسبة إلى الاتجاهات البلورية للمحاور فهي مرتبطة باتجاه نمو البلورة، وهو الاتجاه [100] (اتجاه المحور الأصلي b) وفق ما ورد في مواصفات البلورة للشركة المصنعة [11].

الإجراءات العملية:

يبين الشكل الآتي مخططاً تفصيلياً للمنظومة المستخدمة، إذ يدخل في مخطط التجربة العديد من الأجهزة والعناصر الضوئية وهي:



الشكل (3) المخطط الصندوقي للتجربة.

1- هزاز البرامترات الضوئية *optical parametric oscillator (OPO)* :
من النوع (*EKSPLA*) قابل للتوليف ضمن المجالات الآتية:

OPO signal 420	709nm
OPO idler 710	2300nm

- طاقة نبضة خرجة (output pulse energy): 30 mJ .
- العرض الزمني للنبضة (FWHM) قرابة 6ns في حالة الطول الموجي 1064nm .
- معدل تكرار النبضات (optical pluse repetition rate) نحو 20 Hz .

2- الموحد اللوني (monochromator):

- استُخدم موحد لوني من النوع (SOLARTII- MS7504i) يتميز بالمواصفات الآتية:
- مقدرة الفصل (wavelength resolution): 0.015 nm .
- دقة تحديد الطول الموجي (wavelength accuracy): ± 0.05 nm .
- سرعة المسح 10000 steps /second .

3- العدسات (lenses):

عدستان مقربتان بقطر 2.5cm وبعد محراقي 10cm وتعمل على رفع كثافة استطاعة الليزر .

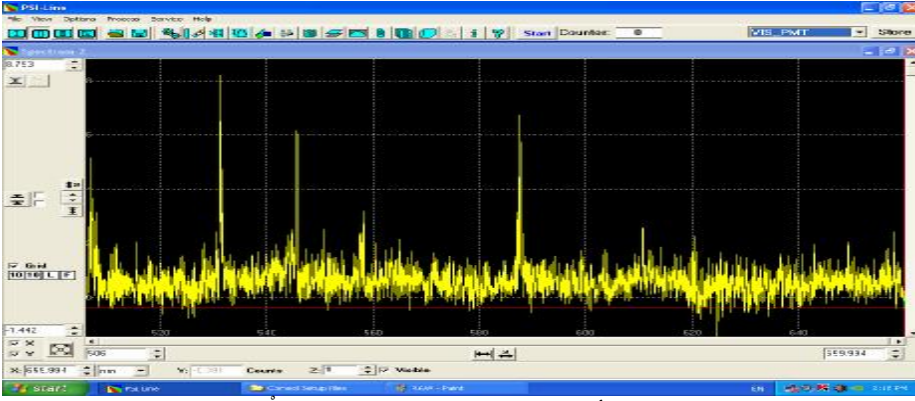
4- بلورة تنغستات البوتاسيوم والغادولينيوم KGW .

مواصفات مطياف رامان:

- يتميز مطياف رامان نوع (Jobin -Yvon Labram HR) بدقة طيفية عالية وبإمكانية استخدام أكثر من طول موجي .
- ليزر هيليوم - نيون بطول موجي 632.8 nm كمنبع للإثارة بكثافة استطاعة 50kw/cm^2 وبدقة 4cm^{-1} .

النتائج والمناقشة

أُخذ طيف رامان لبلورة KGW باستخدام منظومة OPO المبينة في الشكل (3) . إذ صُنعت البلورة وفق المحور (b) . ويظهر الشكل (4) الطيف الذي سُجّل .



الشكل (4) طيف رامان الكلي المأخوذ باستخدام منظومة *OPO* إذ الضخ وفق المحور *b* للبلورة.

نجد في هذا الطيف ظهور مجموعة من الخطوط الطيفية التي تختلف في شداتها كما هو مبين في الجدول (1) إذ أخذت القيم المرجعية من المرجع [11].

الجدول (1) مميزات طيف رامان المأخوذ بـ *OPO*.

رقم القمة	الموقع	المرجعية	القيمة النظرية	الانحراف	الشدة	الشدة النسبية
1	557.78	Stokes 1	558	0.22	4.3	0.377
2	587.62	Stokes 2	588	0.38	9.3	0.815
3	624.76	Stokes 3	621	-3.76	2.3	0.201
4	657.78	Stokes 4	658	0.22	3.4	0.298
5	506.98	Anti Stokes	507	0.02	7.1	0.622
6	531.11	Rayleigh	532	0.9	11.4	1

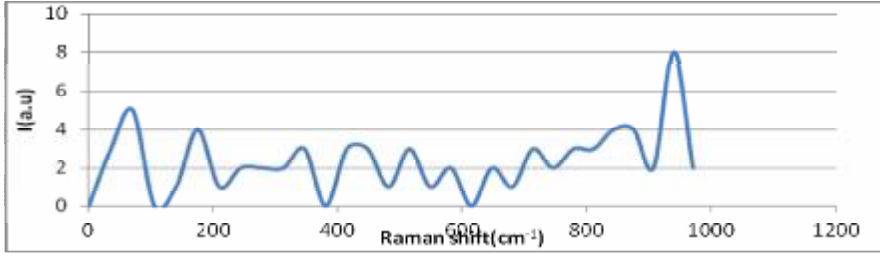
تهتم معظم المقالات بطيف رامان في جوار ستوكس الأول أي في المجال (100-1000)، لأن الخطوط الطيفية التي تظهر في هذا المجال تتعلق بشكل مباشر ببنية البلورة واتجاه الضخ.

دراسة طيف رامان في جوار Stokes 1 :

يبين الشكل (5) طيف رامان لبلورة *KGW* في جوار Stokes 1 الذي تم الحصول عليه باستخدام منظومة *OPO* (حيث جرى الضخ وفق المحور *b* للبلورة).

تم الحصول على هذا المنحنى من المنحنى المبين في الشكل (4) عن طريق استخدام العدد الموجي كواحدة لمحور السينات بدلاً من طول الموجة ومن ثم طُرحت

قيم هذا المحور جميعها من العدد $\frac{1}{\lambda_{pumping}}$ إذ تمثل $\lambda_{pumping}$ طول موجة الضخ وتساوي 532nm. وجرى الاحتفاظ بالنقاط التي تقع ضمن المجال المطلوب.



الشكل (5) طيف رامان لبلورة KGW الذي تم الحصول عليه بـ *opo*.

باستخدام خوارزمية *peakfit* قمنا بتحديد الميزات الرئيسية لكل خط طيفي مثل (شدة الخط الطيفي ومركزه وعرضه) وقد أدرجت النتائج التي تم الحصول عليها في الجدول (2)، إذ نلاحظ انزياح الأعداد الموجية المرتفعة ولكن بمقادير كبيرة على سبيل المثال تنزاح القمة μ_1 ($\mu_1 = 901 \text{ cm}^{-1}$) نحو 40 cm^{-1} . كذلك نلاحظ أن الخطوط الطيفية جميعها تتميز بزيادة عرضها بشكل كبير .

الجدول (2) الميزات الرئيسية لقمم طيف رامان لبلورة KGW الذي تم الحصول عليه بـ *OPO*.

Peak	Center	FWHM	Intensity
1	70.780	53.547	11.0510
2	174.228	41.1542	6.9415
3	265.880	96.2713	9.5824
4	346.642	39.2352	4.6495
5	429.219	42.5268	8.5143
6	514.519	52.9556	6.9816
7	582.577	25.1641	2.1883
8	650.635	12.2088	0.9897
9	709.619	71.3598	8.8814
10	794.010	19.1991	12.4266
11	852.994	64.4064	13.3424
12	938.294	42.3906	14.4508

يمكن تفسير الانزياح الكبير في مواقع القمم من خلال دراسة العوامل المؤثرة في قيمة انزياح رامان كما يأتي:

يعطى انزياح رامان بالعلاقة الآتية [12] :

$$\hat{u} = \nu_R - \nu$$

إذ ν : تواتر القمة. \hat{u} : تواتر انزياح رامان.

ν_R : تواتر الضخ ويفترض أن يساوي تواتر رايليه لذلك جعلنا له الدليل R . يؤدي حساب التغيرات في العلاقة الأخيرة إلى:

$$d\nu' = d\nu_R - d\nu \quad (1)$$

$$d\nu_R = d\left(\frac{1}{\lambda_R}\right) \times 10^7 \quad \text{إذ}$$

$$d\nu_R = \left(\frac{-d\lambda_R}{\lambda_R^2}\right) \times 10^7 \quad \text{أو}$$

$$d = \left(+\frac{d\lambda}{\lambda^2}\right) \times 10^7 \quad \text{وكذلك}$$

نعوض (2) و (3) في (1) نحصل على:

$$d\nu' = \left(-\frac{d\lambda_R}{\lambda_R^2} + \frac{d\lambda}{\lambda^2}\right) \times 10^7 \quad (4)$$

تشير هذه العلاقة إلى أن التغير في قيمة \hat{u} ينتج عن حدوث تغير في قيمتي λ و λ_R . بالعودة إلى الشكل (4) وعزل قمة رايليه، نلاحظ بإجراء الموازنة اللازمة أن عرض هذا الخط الطيفي 0.789cm^{-1} ويقع عند الطول الموجي $\lambda_R=531.11\text{nm}$ الذي يختلف عن طول موجة الضخ $\lambda=532\text{nm}$ ومن ثم $\Delta\lambda=-0.89\text{nm}$. بأخذ قيم $d\lambda$ للخطوط الطيفية الأساسية في الحساب التي تعبر عن الفرق بين القيم النظرية والتجريبية الواردة في كل من الجدولين (1)، (2) نحصل على الجدول (3).

الجدول (3) الانحراف التجريبي والانحراف الحسابي للقيمتين الأساسيتين μ_1 ، μ_2 في طيف المنظومة *OPO*.

موقع القمة التجريبي	موقع القمة النظري	الانحراف التجريبي	الانحراف الحسابي
938.2 cm^{-1}	900 cm^{-1}	38.29 cm^{-1}	38.50
794.01 cm^{-1}	765.78 cm^{-1}	28.23 cm^{-1}	28.38

نلاحظ التقارب بين قيمتي الانحراف التجريبية والمحسوبة في موقع الخط الطيفي، لذلك نستنتج أن الانحراف في موقع الخط الطيفي يعود إلى الأخطاء التجريبية الحاصلة عند تحديد كل من λ ، λ_R المتعلقة بانخفاض الدقة في اختيار طول الموجة الموجود في جهاز *OPO*.

لذلك يجب إجراء التصحيح اللازم باعتماد القيمة 531.11nm لطول موجة الضخ. يمكن تفسير كبر عرض الخطوط الطيفية الظاهرة في الطيف المأخوذ بهزاز البرامترات الضوئية OPO مقارنة بالأطيف المرجعية والأطيف المأخوذة بمطيافية رامان بتأثير عرض الشق slitwidth الذي يمكن أن يصحح باستخدام العلاقة الآتية [8]:

$$\Gamma_t = \Gamma_a \left[1 - \left(\frac{s}{\Gamma_a} \right)^2 \right]$$

إذ Γ_a و Γ_t هما عرض الخط الطيفي الحقيقي وعرض الخط الظاهري على التوالي. s : عرض الشق الطيفي مقدراً cm^{-1} .

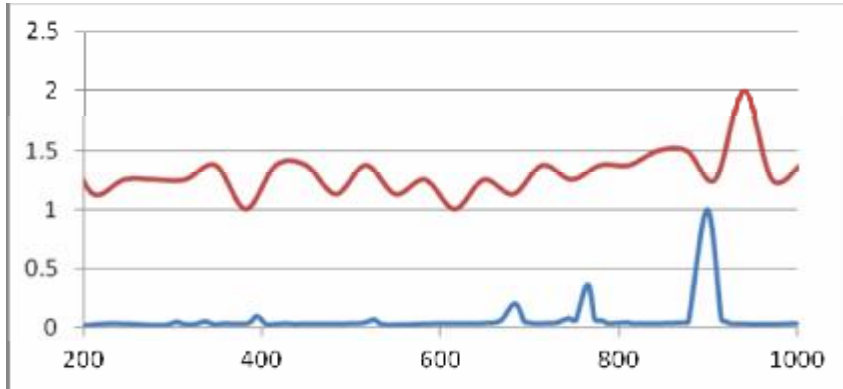
الجدول (4) مقارنة قيم s الحسابية والقياسية .

القيمة	Γ_t	Γ_a	S الحسابي	s(mm)
μ_1	6.00	42.39	39.27	0.255
μ_2	7.22	19.19	15.156	0.660

نلاحظ أن القيمة المحسوبة لعرض الشق تراوح بين 0.255mm و 0.660mm إذ تقع القيمة الحقيقية لعرض الشق 0.3mm ضمن المجال، ومن ثم نستنتج أن الحصول على أطيف مثالية يقتضي استخدام شق عرضه أقل من 0.3mm .

إن سبب عدم تساوي قيمة عرض الشق في الحالتين الواردتين في الجدول (4) هو كون العلاقة المستخدمة علاقة تقريبية، فضلاً عن وجود عدة عوامل أخرى تسهم في عملية التعريض مثل محورة حزمة الليزر.

يبين الشكل (6) الانزياحات التجريبية لطيف رامان باستخدام هزاز البرامترات الضوئية OPO مقارنة بطيف رامان المرجعي.

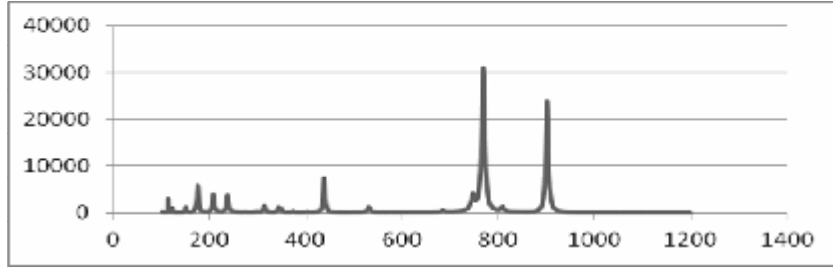


الشكل (6) مقارنة طيف OPO بطيف مرجعي.

نلاحظ انزياح مواقع القمم باتجاه الأعداد الموجبة المرتفعة في طيف OPO مقارنة بالطيف المرجعي، فضلاً عن كبر الاتساع للخطوط الطيفية وزيادة عددها، وهذا ما أدى إلى التشويش الكبير وانخفاض دقة القياس باستخدام هزاز البرامترات الضوئية OPO في دراسة أطياف رامان للبلورة المستخدمة.

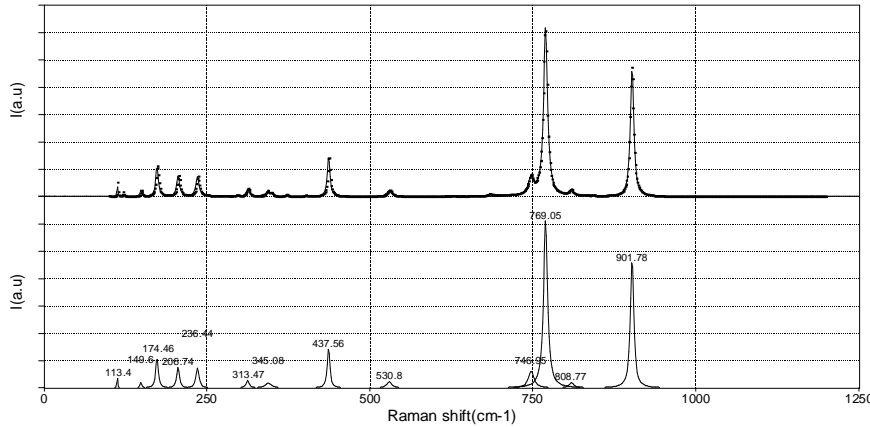
دراسة انزياحات رامان في بلورة KGW بمطياف رامان:

استُخدم في هذا الجزء مطياف رامان المشار إليه أعلاه في الجزء التجريبي. سُجِّلت طيُوف رامان بحيث يكون الضخ وفق المحور b أيضاً. يبين الشكل (7) طيف رامان المسجل لبلورة KGW باستخدام مطيافية رامان وفق الاتجاه b.



الشكل (7) طيف رامان لبلورة KGW إذ الضخ وفق المحور b للبلورة.

وبهدف دراسة خصائص هذا الطيف أُجريت مواعمة لهذا الطيف باستخدام خوارزمية Peakfit. يبين الشكل (8) نتيجة المواعمة التي أُجريت على هذا المنحنى باستخدام خوارزمية Peakfit.



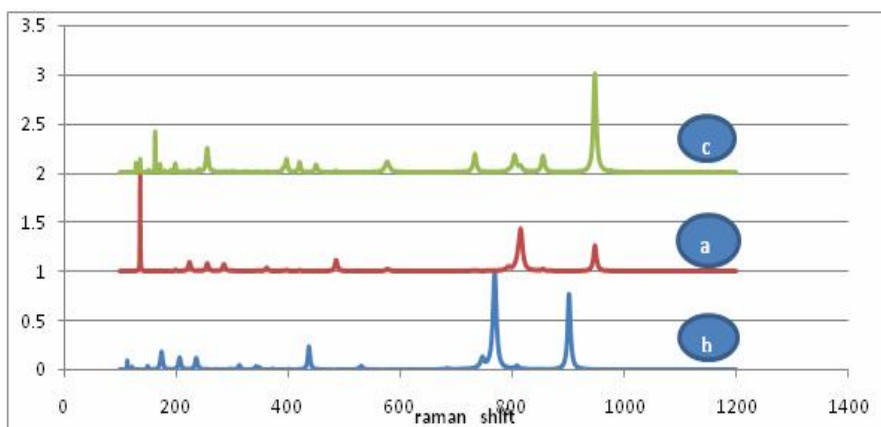
الشكل (8) طيف المواعمة وفق المحور b للبلورة .

يمكن من الشكل (8) ونتيجة عملية الموازنة استنتاج بعض المعلومات من الطيف قمنا بإدراجها في الجدول (5).

الجدول (5) المميزات الأساسية لطيف رامان في حالة الضخ وفق المحور **b** للبلورة.

peak	Center	FWHM	Intensity
1	113.404	1.2977	0.663
2	149.59	3.059	0.611
3	174.46	4.653	4.828
4	206.74	5.060	3.510
5	236.43	5.649	3.798
6	313.46	6.163	1.567
7	345.077	11.480	1.996
8	437.56	4.642	6.305
9	530.80	9.735	2.020
10	746.951	10.376	5.936
11	769.04	7.225	40.87
12	808.77	8.887	1.669
13	901.78	6.007	26.2215

يبين الشكل (9) أطياف رامان المسجلة لبلورة KGW بمطياف رامان في حالة الضخ وفق الاتجاهات الثلاثة (b,a,c).



الشكل (9) أطياف رامان لبلورة KGW وفق الاتجاهات.

(a): الضخ يتم وفق المحور *a* للبلورة. (b): الضخ يتم وفق المحور *b* للبلورة.

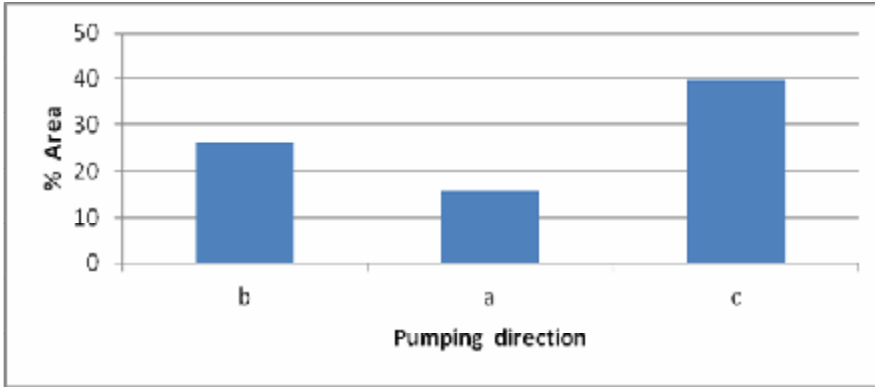
(c): الضخ يتم وفق المحور *c* للبلورة.

نلاحظ من الشكل انزياحاً لمواقع القمم جميعها وخاصة القمتين الرئيسيتين باتجاه الأعداد الموجبة المرتفعة، وذلك عند الانتقال من الاتجاه (b) إلى الاتجاه الأخرى، مما يدل على أن التفاعل بين الزمرة (W-O-W) والذرات المجاورة ذو طبيعة تناظرية ويزداد هذا التناظر في حالة الاتجاهين c و a، وذلك لأن التناظر يزيد من الطاقة الفونونية للرابطة بعكس التجاذب. كما نلاحظ من الشكل أن أعلى شدة للتواتر الأساسي الأول هي في الطيف ذي الاتجاه b.

من الأطياف السابقة نجد أن هناك تأثيراً لاتجاه الضخ في البلورة المدروسة على أطيف رامان الناتجة. ويظهر هذا التأثير في كل من شدة القمم المسجلة ومقدار الانزياحات وعرض الخطوط الطيفية. تبيّن الأشكال (10-11-12-13-14-15) تأثير اتجاه الضخ في مواصفات القمم الأساسية المدروسة (901-768).

دراسة تأثير اتجاهات الضخ في المميزات الأساسية لطيف رامان:

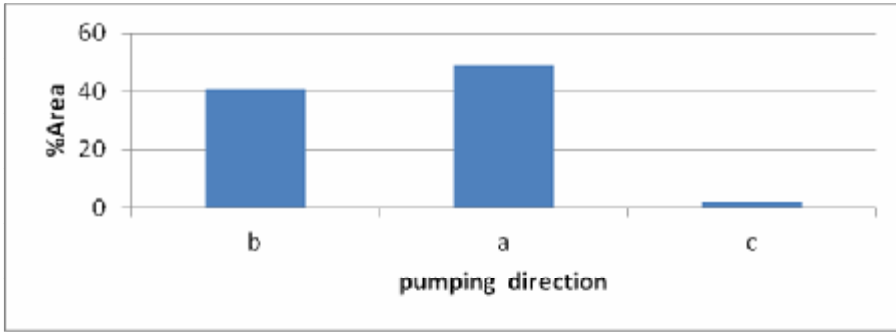
دراسة تأثير اتجاهات الضخ في الشدة: في حالة الخط الطيفي $\mu_1 = 901 \text{ cm}^{-1}$: يتضمن الشكل (10) مقارنة شدة القمة 901 cm^{-1} في اتجاهات الضخ المختلفة إذ نحصل على أعلى قيمة للشدة في الاتجاه c وعلى أخفض قيمة في الاتجاه a.



الشكل (10) مقارنة شدة الخط الطيفي 901 cm^{-1} في اتجاهات الضخ المختلفة.

في حالة الخط الطيفي $\mu_2 = 768 \text{ cm}^{-1}$:

يتضمن الشكل (11) مقارنة شدة الخط الطيفي 768 cm^{-1} في اتجاهات مختلفة للضخ إذ نحصل على أعلى قيمة في الاتجاه a وعلى أخفض قيمة في الاتجاه c.

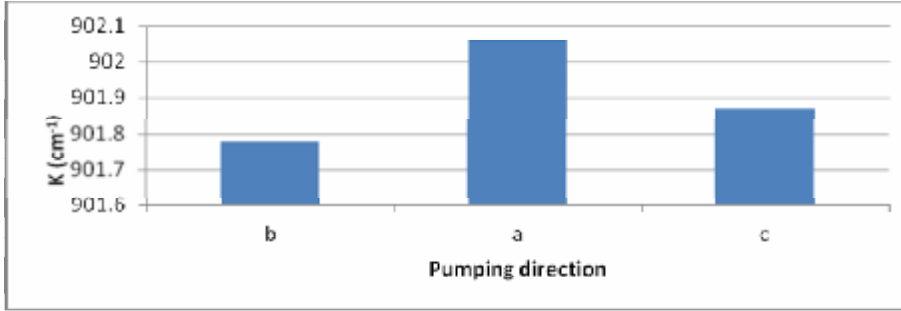


الشكل (11) مقارنة شدة الخط الطيفي 768 cm^{-1} في اتجاهات الضخ المختلفة .

دراسة تأثير اتجاهات الضخ في مواقع الخط الطيفي:

أولاً: في حالة الخط الطيفي $\mu_1 = 901 \text{ cm}^{-1}$:

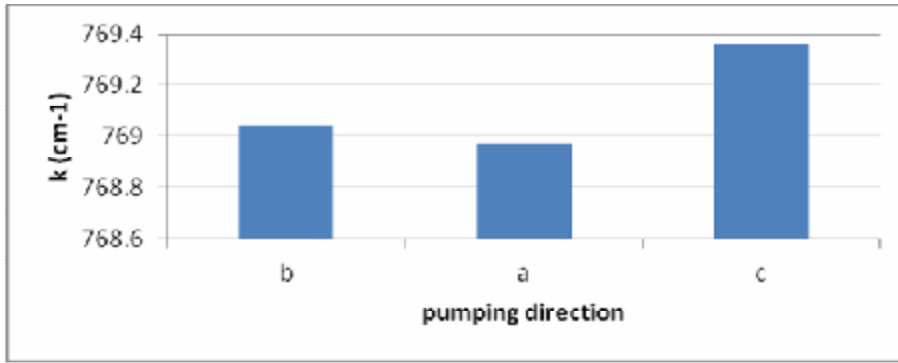
يبين الشكل (12) مقارنة مواقع الخط الطيفي الأساسي μ_1 في اتجاهات الضخ المختلفة. نلاحظ حدوث انزياح في موقع الخط الطيفي باتجاه الأعداد الموجبة المرتفعة عند الانتقال من الاتجاه b إلى الاتجاهات الأخرى ليبلغ ذروته في الاتجاه a .



الشكل (12) مقارنة مواقع الخط الطيفي الأساسي μ_1 في اتجاهات الضخ المختلفة.

ثانياً: في حالة الخط الطيفي $\mu_2 = 768 \text{ cm}^{-1}$

يبين الشكل الآتي مقارنة مواقع الخط الطيفي الأساسي $\mu_2 = 768 \text{ cm}^{-1}$ في اتجاهات الضخ المختلفة.

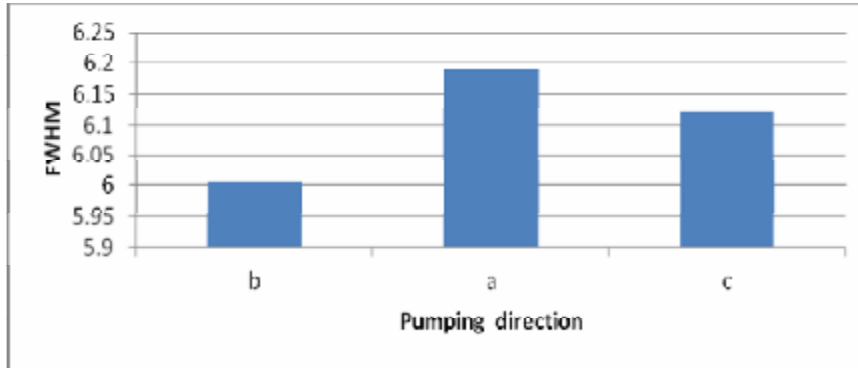


الشكل (13) مقارنة مواقع الخط الطيفي الأساسي $\mu_2 = 768 \text{ cm}^{-1}$ في اتجاهات الضخ المختلفة. نلاحظ حدوث انزياح في مواقع الخط الطيفي باتجاه الأعداد الموجبة المرتفعة عند الانتقال من الاتجاه b إلى الاتجاهات الأخرى ليبلغ ذروته في الاتجاه c.

دراسة تأثير اتجاهات الضخ في عرض الخط الطيفي:

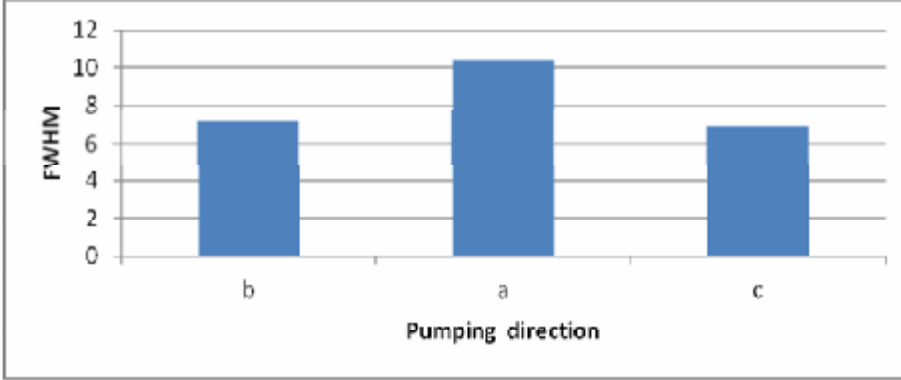
يملك عرض الخط الطيفي مدلولات كثيرة وهو مرتبط بشكل أساسي بدرجة ترتيب الروابط في البلورة إذ تزداد درجة الترتيب مع انخفاض عرض الخط الطيفي. يبين الشكل (14) عرض الخط الطيفي الأساسي $\mu_1 = 901 \text{ cm}^{-1}$ في اتجاهات الضخ المدروسة إذ نلاحظ أن أعلى درجة ترتيب يتم الحصول عليها في اتجاه الضخ b.

في حالة الخط الطيفي $\mu_1 = 901 \text{ cm}^{-1}$:



الشكل (14) مقارنة عرض الخط الطيفي μ_1 في اتجاهات الضخ المختلفة.

في حالة الخط الطيفي $\mu_2 = 768 \text{ cm}^{-1}$:



الشكل (15) مقارنة عرض الخط الطيفي $\mu_2 = 768 \text{ cm}^{-1}$ في اتجاهات الضخ المختلفة.

الخاتمة

أظهرت نتائج دراسة أطياف رامان لبلورة KGW بمنظومة OPO ومطياف رامان اختلافات واضحة بين الأطياف التي تم الحصول عليها في الحالتين، ولوحظ أيضاً وجود اختلافات بين هذه الأطياف عند مقارنتها بطيف مرجعي. كما بيّنت الدراسة انخفاض الموثوقية في الأطياف التي تم الحصول عليها باستخدام منظومة OPO؛ وذلك بسبب انزياح القمم المميزة عن مواضعها، وكذلك التعريض الناتج عن كبر عرض الشق المستخدم في الموحد اللوني، فضلاً عن ذلك لاحظنا عند الضخ باتجاهات مختلفة بليزر مطياف رامان أنّ الضخ وفق الاتجاه (c) يؤمن الحصول على أعلى شدة للخط الطيفي (901 cm^{-1}) . أمّا الضخ وفق الاتجاه (a) فيؤمن الحصول على أعلى شدة للخط الطيفي (768 cm^{-1}) .

المراجع

- [1] Samuel, P. Thangaraju, D. and Moorthy Babu, S. (2011). Effect of dysprosium active ions on spectral properties of KGW single crystals. *Journal of Alloys and compounds*, 509, 177-180.
- [2] Thangaraju, D. Durairajan, A. Balaji, D. and Moorthy Babu, S. (2013). Synthesis and characterization of monoclinic $KGd(WO_4)_2$ particles for non-cubic transparent ceramics. *Optical Materials*, 35, 753-756.
- [3] Andriyevsky, B. Patryn, A. (2003). Electric Conductivity of Nd:KGD $(WO_4)_2$ Crystals at Direct and Alternating Current. *Physics and chemistry of solid state*, 4, 420-425.
- [4] Kumaran, S. Chandru, L. Babu, M. Bhaumik, I. Ganesamoorthy, S. Karnal, A. Wadhawan, V. and Ichimumra, M. (2005). Crystal growth of pure and doped – $KGd(WO_4)_2$ and their characterization for laser applications. *Journal of Crystal Growth*, 275, 2117-2121.
- [5] Kasproicz, D. Runka, T. Szybowicz, M. Drozdowski, M. Majchrowski, A. Michalski, E. and Zmija, J. (2006). Spectroscopic properties of $KGd(WO_4)_2$ and $KGd(WO_4)_2 :HO_3C$ single crystals studied by Brillouin and Raman scattering methods. *Journal of Molecular Structure*, 792-793, 139-145.
- [6] Loiko, P. A. Filippov, V. V. Yumashev, K. V. Kuleshov, N. V. and Pavlyuk, A. A. (2012). Thermo-optic coefficients study in $KGd(WO_4)_2$ and $KY(WO_4)_2$ by a modified minimum deviation method. *Applied Optics*, 51: 2951-2957.
- [7] Kasproicz, D. Runka, T. Majchrowski, A. and Michalski, E. (2009). Low-temperature vibration properties of $KGd(WO_4)_2 : (Er, Yb)$ single crystals studied by Raman spectroscopy. *Journal of Physics and chemistry of Solids*, 10: 7-15.
- [8] Das, A. Das, R. and Kumar, K. (2002). Solvent dependent analysis of isotropic Raman band shape of C=O stretching vibration. *Spectrochimica Acta part A*, 58, 1583-1588.
- [9] Kasproicz, D. Runka, T. Majchrowski, A. and Drozdowski, M. (2009). Vibrational properties of Nd^{+3} , Eu^{+3} , Er^{+3} and HO^{+3} doped $KGd(WO_4)_2$ single crystals studied by Raman scattering method. *Physics Procedia*, 2, 539-550.
- [10] Ivanuk, A. M. Ter-Pogosyan, M. A. Shaverdov, P. A. Belyaev, V. D. Ermolayev, V. L. and Tikhonova, H. P. (1985). Picosecond light pulses under intracavity stimulated Raman scattering in the active element of neodymium laser. *Optika i spektroskopiya*, 59, 950.
- [11] http://eksmaoptics.com/out/media/LASER_COMPONENTS_catalogue.pdf. (2014).
- [12] Ferraro, J. R. Nakamoto, K. and Brown, C. W. (2003). *Introductory Raman Spectroscopy*. New York . ELSEVIER, 435.