

**E.P. KOKANYAN, N.E. KOKANYAN, K.H. AHARONYAN,
N.E. BABAJANYAN, F.S. VOSKANYAN, M. BAZZAN**

RAMAN SPECTROSCOPY OF Ho-DOPED LITHIUM NIOBATE THIN FILMS

Ho-doped lithium niobate (LN:Ho³⁺) thin films on sapphire substrates employing the Sol-Gel technique were synthesized. The Raman scattering mapping of the obtained LN:Ho³⁺ thin films were meticulously obtained through laser excitation at both 785 nm and 532 nm wavelengths. For both cases, a homogeneous distribution of the crystal structure on the surface of the substrate were confirmed. In contrast, the case of 785 nm laser excitation, during the pumping of the films by the laser at 532 nm multiple additional forbidden Raman lines were present, which were attributed to luminescence of impurity ions.

Keywords: lithium niobate, crystal, thin film, Raman spectroscopy.

Lithium niobate (LN) crystals, renowned for their exceptional nonlinear optical, electro-optical, piezoelectric, and photorefractive properties, stand as foundational materials in diverse fields of study and application. While they have long been utilized in frequency converters of laser radiation, electro-optical modulators, and holographic information recording media, LN crystals doped with rare earth ions represent a compelling frontier for modern compact devices. These materials exhibit immense potential as key components in infrared lasers, optical sensors, self-cooling systems, and radiation-balanced laser setups [1-5].

Nominally pure congruent composition LN films have been created by various techniques including vapor deposition [6], liquid phase epitaxy [7], laser deposition [8], molecular beam epitaxy [9] and sol-gel [10, 11].

In the current work we present results on synthesizing of Ho-doped LN alkoxides, growth of LN thin films doped with different concentration of Ho³⁺ ions by the Sol-Gel method, and the Raman study of the structure of obtained thin films.

To prepare the initial Sol, niobium and lithium alkoxides were synthesized using 2-methoxyethanol, atomic lithium, and niobium chloride. The appropriate quantities of the resulting niobium and lithium alkoxides were then mixed to form a lithium niobate solution. This mixture was boiled until it reached the desired density and viscosity. Subsequently, holmium chloride was added in the calculated concentration. The final Sol was stored under a dry argon atmosphere to maintain its integrity.

The prepared Sol was cast onto a pre-polished sapphire substrate with a 001 crystallographic orientation and then spin-coated. As the Sol undergoes the spinning process, it absorbs moisture and converts into a gel. Subsequently, the drying process begins, resulting in the volatilization of residual organics. Once the organics

have fully volatilized, the thin film crystallizes into a solid layer. After one growth cycle, thin films approximately 70 nm thick were obtained. This procedure can be repeated multiple times to achieve thicker films. For studying the main physical properties, films with a thickness of 300 nm were created.

Structural modifications of the obtained thin films were investigated using high resolution X-ray diffraction and X-ray reciprocal space mapping methods.

The films exhibit a strong crystallographic orientation perpendicular to the substrate surface. The X-ray diffraction analysis confirms the predominant alignment of the film's “c” axis, as evidenced by the intense (006) reflection peak. Reciprocal space mapping was performed near the symmetric (006) and asymmetric (018) Bragg reflections on the sapphire substrate. By comparing the maps from various independent Bragg reflections, the deformation matrix was resolved, and the lattice parameters of the resulting thin films were calculated.

The analysis of these results leads to the conclusion that the obtained films are fully relaxed with respect to the sapphire substrates used. For LN:0.1mol%Ho³⁺ films, the lattice parameters “a” and “c” were measured to be 5.176±0.022 Å and 13.8659±0.0081 Å, respectively.

The further characterization of the obtained thin films was performed using the Raman spectroscopy, employing a confocal Raman microscope (LabRAM HR Evolution) with excitation wavelengths of 532 nm and 785 nm. Considering the geometric configuration of the thin films, Z(YY)Z, Z(YX)Z, Z(XX)Z, and Z(XY)Z measurement configurations were possible. At first the measurements were performed on bulk LN:0.1mol%Ho³⁺ crystal. Fig. 1 presents the Raman shift graphs of bulk LN:0.1mol%Ho³⁺ crystal, excited by a 785 nm laser.

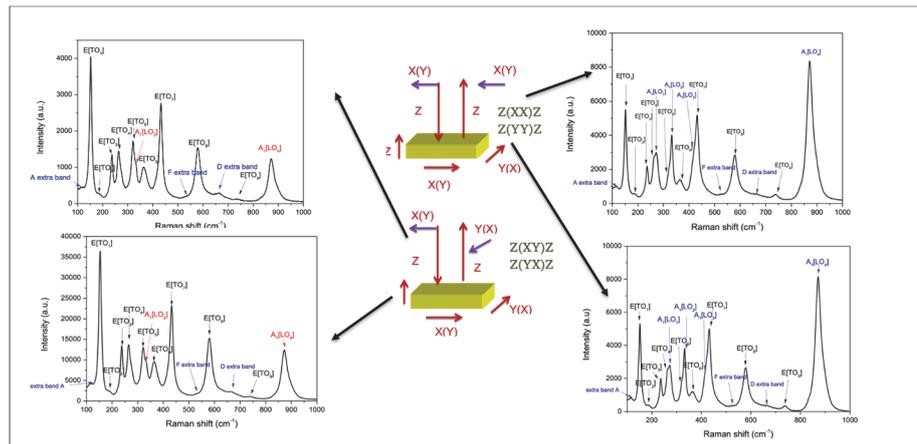


Fig. 1. Raman curves of bulk LN:0.1mol%Ho³⁺ crystal pumped by 785 nm laser and Z(YY)Z, Z(YX)Z, Z(XX)Z and Z(XY)Z measurement configurations

The Raman spectra obtained for the LN:0.1mol% Ho³⁺ films pumped by 785 nm laser closely resembled those of bulk crystals on average. Remarkably, the spectra remained consistent despite variations in the polarization direction of the laser beam and the Raman signal, as well as the rotation of the sample around the normal to the film surface. Fig. 2 presents a representative Raman shift curve for the LN:0.1mol%Ho³⁺ film.

One can observe the presence of the combined spectra consisting of A₁(LO), E(TO) and some additional band modes.

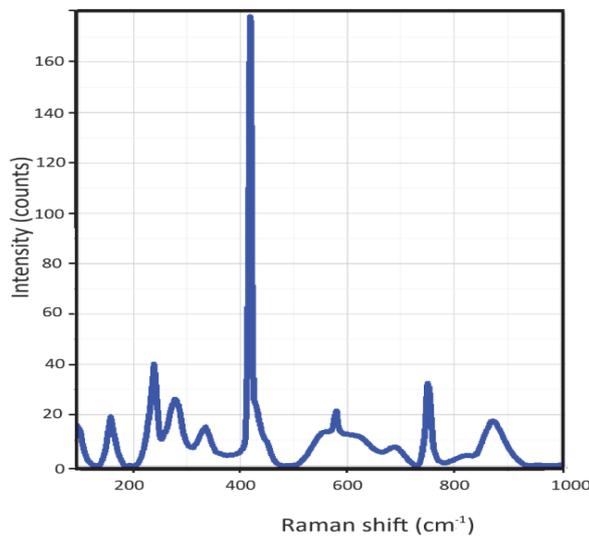


Fig. 2. Raman curves of LN:0.1 mol% Ho³⁺ thin film were obtained using a 785 nm laser. The propagation directions of both the laser beam and the Raman signal were aligned with the normal to the film surface

This behavior of the Raman signal from the film under the study is likely due to the ambiguous designation of the crystallographic “a” and “b” directions, suggesting a mosaic distribution of crystal blocks in the “ab” plane of the film.

Raman studies of thin films of LN:0.1 mol%Ho³⁺ were also carried out when pumped by a laser with a wavelength of 532 nm. While employing a 532 nm laser unveiled additional forbidden lines (Fig.3), reminiscent of behaviors observed in was bulk LN:Ho crystals [12].

These supplementary lines were attributed to luminescence induced by excitation at 532 nm. Leveraging data from anti-Stokes Raman lines facilitated the disentanglement of luminescence spectra from the investigated samples.

Additionally, Raman mapping of the LN:0.1 mol%Ho³⁺ film surface was conducted over a 20x20 μm² area using both 532 nm and 785 nm laser excitations.

Surface scanning affirmed the uniformity of both structure and luminescence across the entire examined area of the thin film.

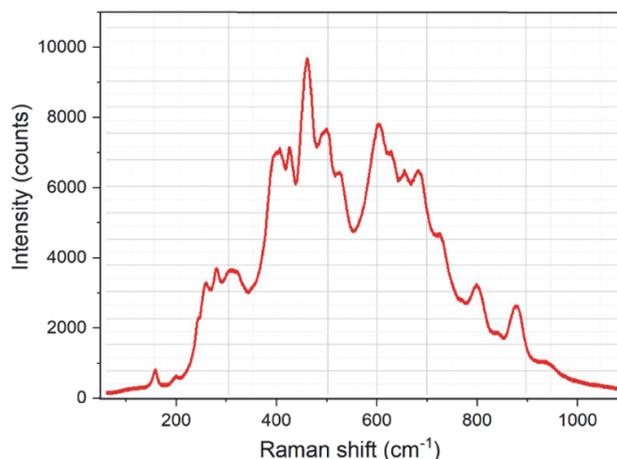


Fig. 3. Raman curves of LN:0.1 mol%Ho³⁺ thin film were obtained using a 785 nm laser. The propagation directions of both the laser beam and the Raman signal were aligned with the normal to the film surface

Thus LN:Ho³⁺ thin films obtained by the Sol-Gel method can be fully relaxed with respect to their sapphire substrates. In this case, the lattice parameters films “a” and “c” are equal to 5.176 ± 0.022 Å and 13.8659 ± 0.0081 Å, respectively.

Raman mapping of the LN:Ho³⁺ thin films, obtained through laser excitation at wavelengths of 785 nm and 532 nm, revealed a uniform distribution of the crystalline structure on the sapphire substrate surface. However, unlike the 785 nm excitation, the 532 nm laser excitation resulted in the appearance of many additional forbidden Raman lines, which were attributed to the luminescence of impurity ions. This luminescence was also homogeneously distributed across the surface of the substrate.

The research was carried out with the financial support of RA Higher Education and Science Committee within the framework of the 24ASPU-PHYS-CON-I-1 program.

REFERENCES

1. Self-frequency doubling in Yb³⁺ doped periodically poled LiNbO₃:MgO bulk crystal /**J. Capmany, E. Montoya, V. Bermúdez, D. Callejo, et al** //Appl. Phys. Lett. – 2000.- V.76.- P. 1374-1376.
2. Suppression of optical damage at 532 nm in Holmium doped congruent lithium niobate/**E. Barnes, N. O’Connell, N. Balli, M. Pokhrel, et al** // Optics Express. – 2014.- V.22.- P. 26222-26231.

3. Demirkhanyan H., Demirkhanyan G., Kokanyan E. LiNbO₃-Yb³⁺ crystal as a material for optical temperature sensor // Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences). – 2017.- V.52.- P. 381–386.
4. Green up-converted luminescence in (Er³⁺-Yb³⁺) co-doped LiNbO₃ crystals /M. Stoffel, H. Rinnert, E. Kokanyan, et al // Optical Materials. – 2016.- V.57.- P. 79–84.
5. Crystal LiNbO₃-Ho³⁺: Material for optical cooling /G. Demirkhanyan, E. Kokanyan, H. Demirkhanyan, et al //Journal of Contemporary Physics. – 2016. - V.51(1). - P. 28–34.
6. Curtis B.J., Brunner H. The growth of thin films of lithium niobate by chemical vapour deposition // Materials Research Bulletin. -1975. –V. 10. -P. 515-520.
7. Miyazawa S., Fushimi S., Kondon S. Optical waveguide of LiNbO₃ thin film grown by liquid phase epitaxy// Applied Physics Letters. -1975. – V. 26.- P. 8-10.
8. Betts B.A., Pitt C.W. Growth of thin-film lithium niobate by molecular beam epitaxy// Electronics Letters. -1985.- V.- 21.- P. 960-962.
9. Hu W.S., Liu Z.D., Feng D. Low electric field induced (001) oriented growth of LiNbO₃ films by pulsed laser ablation // Solid State Communications. – 1996.- V. 97.- P. 481-485.
10. Joshi V., Roy D., Mecarteny M.I. Low temperature synthesis and properties of lithium niobate thin films// *Appl. Phys. Lett.* – 1993.- V.63.- P.1331–1333.
11. Ho-doped lithium niobate thin films growth and properties /E. Kokanyan, A. Movsesyan, M. Bazzan, I. Ghambaryan, et al //Vestnik RAU.- 2017.- V.1.- P.68-75.
12. Luminescence of Ho-doped lithium niobate crystals highlighted by Raman Spectroscopy /N. Kokanyan, E. Kokanyan, N. Babajanyan, et al //Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. – 2018.- P.10750.

**Է.Պ. ԿՈԿԱՆՅԱՆ, Ն.Է. ԿՈԿԱՆՅԱՆ, Կ.Հ. ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ, Ն.Է. ԲԱԲԱՋԱՆՅԱՆ,
Ֆ.Ս. ՈՍԿԱՆՅԱՆ, Մ. ԲԱԶՁԱՆ**

**ՀՈՒՄԻՈՒՄՈՎ ԼԵԳԻՐՎԱԾ ԼԻԹԻՈՒՄԻ ՆԻՈԲԱՏԻ ՆՈՒՐԲ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ
ՌԱՄԱՆՅԱՆ ՍՊԵԿՏՐԱՍԿՈՊԻԱՆ**

Զուգել մեթոդով սինթեզվել են լիթումի նիոբատի բարակ թաղանթներ՝ լեգիրված Ho իոններով (LN:Ho) շափյուղայի տակդիրների վրա: Սինթեզված LN:Ho բարակ թաղանթների ուսմանյան ցրման սպեկտրները ստացվել են 785 և 532 նմ ալիքի երկարություններով լազերային գրգռումների միջոցով: Երկու դեպքում էլ հաստատվել է բյուրեղային կառուցվածքի միատարր բաշխումը տակդիրի մակերեսի վրա: Ի տարբերություն 785 նմ ալիքի երկարությամբ լազերային գրգռման դեպքի՝ 532 նմ ալիքի երկարությամբ լազերային ճառագայթով թաղանթները գրգռելու ժամանակ գրանցվել են բազմաթիվ ուսմանյան արգելված գծեր, որոնք բացատրվում են խառնուրդային իոնների լյումինեսցենցիայով:

Առանցքային բառեր. լիթումի նիոբատ, բյուրեղ, նուրբ թաղանթ, ուսմանյան սպեկտրասկոպիա:

Ք.Ս. ԿՕԿԱՆՅԱՆ, Ն.Ք. ԿՕԿԱՆՅԱՆ, Կ.Գ. ԱԳՐՈՆՅԱՆ, Ն.Ք. ԲԱԲԱԺՃԱՆՅԱՆ,
Փ.Տ. ՎՕՏԿԱՆՅԱՆ, Մ. ԲԱԶՅԱՆ

ՐԱՄԱՆՈՎՏԿԱՅԱ ՏՔԵՏՐՕՏՕՔՈՒՄԻԱ ՆՈ-ԼԵԳԻՐՈՎԱՆՆԻՅ ՏՈՆԿԻՅ ՓԼԵՆՕԿ ՆԻՕԲԱՏԱ ԼԻՏԻՅԱ

Յօլ-գել մեթոԺոմ սԻՏԵԶԻՐՈՎԱՆ ՏՈՆԿԻՅ ՓԼԵՆԿԻ ՆԻՕԲԱՏԱ ԼԻՏԻՅԱ, ԼԵԳԻՐՈՎԱՆՆՈՅ
ԻՕՆԱՄԻ ՆՈ (LN:ՆՈ), ՆԱ ՏԱՓԻՐՈՎՅԱ ՓՈԺԼՈՅՅԱԿԱ. ՐԱՄԱՆՈՎՏԿԱՅ ՏՔԵՏՐՕՏՕՔՈՒՄԻԱ
ՏԻՏԵԶԻՐՈՎԱՆ ՏՈՆԿԻՅ ՓԼԵՆՕԿ LN:ՆՈ ԲՅՈՒԼԻ ՏՈՒՄԱՆ ՓՈՏԵՐՎՈՒՄԻԱ ԼԱԶԵՐՆՈՅ ՎՈԶԲՈՒԺՆԵՐԻ
ՆԱ ԴԼԻՆԱՅ ՎՈԼՆ 785 Ի 532 ՆՄ. Վ ՕԲՈՒՅ ՏԼՈՒԿԱՅ ԲՅՈՒԼԻ ՓՈԺՏՎԵՐԺՈՎԱԾ ՕՏՐՈՐՈՎՈՒՄԻԱ
ՐԱՍՏՐԵԼԵՆԻՅԱ ԿՐԻՏԱԼԼԻԿԵՏԿՈՅ ՏՐՈՒԿՏՈՒՐԱ ՆԱ ՓՈՒՐՅՈՒՄԻԱ ՓՈԺԼՈՅՅԱԿԱ. Վ ՕՏԼԻԿՈՒՄ
ԼԱԶԵՐՆՈՅ ՎՈԶԲՈՒԺՆԵՐԻ ՆԱ ԴԼԻՆԵ ՎՈԼՆ 785 ՆՄ, Վ ՎՐԵՄՅԱ ՆԱԿԱԿԻ ՓԼԵՆՕԿ ԼԱԶԵՐՈՄ
ՆԱ ԴԼԻՆԵ ՎՈԼՆ 532 ՆՄ ՓՐԵՏՏՎՈՒՄԻԱ ՄՆՈՅՏՎՈՒՄԻԱ ԶԱՓՐԵՇՆՆԻՅ ՐԱՄԱՆՈՎՏԿԱՅ
ԼԻՆԻՅԱ, ՉՈՒ ՕԲՅԱՏՆԵՐԵՅ ԼՅՈՒՄԻՆԵՏԵՆԿԵՆԻՅԱ ՓՐԻՄԵՏՆԻՅ ԻՕՆՈՎ.

ԿԼՅՈՒՅԵ ՏՐՈՒՅԱ: ՆԻՕԲԱՏ ԼԻՏԻՅԱ, ԿՐԻՏԱԼԼ, ՏՈՆԿԱ ՓԼԵՆԿԱ, ՐԱՄԱՆՈՎՏԿԱՅ
ՏՔԵՏՐՕՏՕՔՈՒՄԻԱ.

ՀՏԴ 53.081.4

Ա.Ս. ՍԵՂՐԱԿՅԱՆ, Ա.Ֆ. ՊԱՐՍԱՄՅԱՆ, Ա.Ն. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ԽՆԴԻՐ, ՈՐԻ ԼՈՒԾՈՒՄԸ ՀԱՆԳԵՑՎՈՒՄ Է ԱԾԱՆՑՅԱԼԻ ԳԱՂԱՓԱՐԻՆ

Յոյց է տրվել, որ H բարձրությունից հորիզոնի նկատմամբ V_0 արագությամբ նետված նյութական կետի բարդ շարժման, որը ներկայացնում է երկու անկախ շարժումների գումար, խնդրի լուծումը առանձին տեղամասերում (ուղղահայաց և հորիզանական) հանգեցվում է ֆունկցիայի ածանցյալի գաղափարին:

Ասանցքային բաներ. նյութական կետի բարդ շարժում, ազատ անկում, ածանցյալ, դիֆերենցիալ, ակնթարթային արագություն, միջին արագություն:

Ներածություն. Հայտնի է, որ ուսանողների (նաև ավագ դպրոցի աշակերտների) տեսական գիտելիքների, մտավոր և տրամաբանական ունակությունների զարգացման ակնհայտ մեթոդներից մեկը խնդիրների լուծման ժամանակ միջառարկայական կապերի համակարգված մոտեցումն է:

Ուստի ֆիզիկայի դասընթացում խնդիրների լուծման նոր մեթոդական ուղղությունների մշակումը և մոտեցումը [1, 2] միշտ էլ մնում է ֆիզիկայի դասավանդման արդյունավետության բարձրացման կարևոր նախադրյաններից մեկը: Միջառարկայական կապը խորապես հասկանալու համար այս աշխատանքում ներկայացվել է կինեմատիկայից հայտնի նյութական կետի բարդ շարժման խնդիրը (նկ. 1), որի լուծումը հանգեցվում է ածանցյալի գաղափարին: Ստորև ներկայացված կինեմատիկայից հայտնի խնդրի լուծման համար դիտարկենք երկու օրինակ: