

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы, 2021, том 135, №2, 38-42 беттер
<http://bulphysast.enu.kz>, E-mail: vest_phys@enu.kz

ГТАХР: 29.19.21; 29.19.25; 58.09.43

А. Ақылбеков, А. Даулетбекова, Ш. Гиниятова, А. Сейтбаев, Б. Қалмахан, Р. Бөден
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
(E-mail: giniyat_shol@mail.ru)

Жоғары энергиялы ауыр иондармен сәулеленген LiF және Al_2O_3 кристалдарының ионолюминесценциясы

Аннотация: берілген жұмыста DC-60 үдеткішіндегі жоғары энергиялы ионолюминесценцияны (ИЛ) өлшеуге арналған кешенді пайдалана отырып, LiF кристалдарының ионолюминесценция спектрлері зерттелген. Сондай-ақ, әртүрлі иондармен сәулелендірілген Al_2O_3 кристалдарының ионолюминесценция кинетикасын өлшеу нәтижелері ұсынылған. SRIM кодын қолдана отырып, пайдаланылған иондардың радиациялық параметрлеріне талдау жасалған.

Түйін сөздер: ионолюминесценция, LiF және Al_2O_3 кристалдары, радиациялық зақымдану, жылдам ауыр иондар, қарқындылық.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2021-135-2-38-42>

Түсті: 25.02.2021 /Жарияланымға рұқсат етілді: 15.05.2021

Кіріспе. Жылдам ауыр иондармен (ЖАИ) сәулелендіру кезінде пайда болатын радиациялық зақымдануларды және туындайтын механикалық кернеулерді зерттеу ядролық отынның кандидаттық материалдарындағы (матрицаларындағы) әртүрлі эксперименттік жағдайлардағы ақаулы құрылымның эволюциясын дұрыс сипаттау үшін қажет. ЖАИ қолдану бөлу фрагменттерімен сәулелену жағдайын модельдеуге мүмкіндік береді.

Осындай құрылымдық бұзылымдардың түзілуінің микроскопиялық механизмдерінің болмауы кернеулер өрісін теориялық тұрғыдан бағалау мүмкін емес, сондықтан осы бағыттағы эксперименттік зерттеулер өте қажетті және өзекті болып табылады.

Диэлектриктегі радиациялық ақауларды зерттеудің эксперименттік әдістерінің ішінде оптикалық спектроскопия әдістері – жұтылу және люминесценция спектрлерін зерттеу маңызды рөл атқарады.

Жоғары энергиялы ионолюминесценция ЖАИ сәулелендіру процесінде қатты денелердің қасиеттерін зерттеу кезінде "құрылымдық" мәліметтерді алу әдістерінің бірі болып табылады. Диэлектриктерде, атап айтқанда, радиацияға төзімді диэлектриктермен сілтілі-галоидтық кристалдардағы радиациялық зақымдарды зерттеу үшін осы әдістің мүмкіндіктерін пайдалану үлкен қызығушылық тудырады.

Жоғары энергиялы ионолюминесценцияның практикалық қолданылуының маңыздылығының бірі иондық сәулелену процесінде механикалық кернеу деңгейін бағалау болып табылады. Бұл сәулелендірілген материалдардағы механикалық кернеулердің жинақталуын бақылауға және оның эволюциясының әртүрлі кезеңдерінде кернеу деңгейі мен ақаулы құрылымның параметрлері арасындағы байланысты орнатуға мүмкіндік береді.

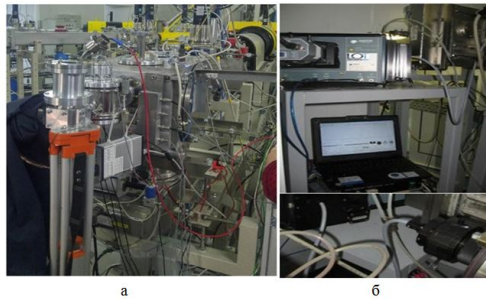
Практикалық тұрғыдан алғанда, мұндай жұмыстар ядролық-энергетикалық қондырғыларда пайдаланылатын керамикалық және оксидті материалдардың бөліну сынықтарының әсеріне қатысты ұзақ мерзімді радиациялық тұрақтылығын болжау үшін үлкен қызығушылық тудырады [1-5].

Бұл жұмыста ауыр иондармен сәулелендіру кезінде LiF, Al_2O_3 кристалдарының ионолюминесценциялары зерттелген. Зерттеулер DC-60 үдеткішіндегі ИЛ зерттеу кешенінде жүргізілді [6].

Эксперименттік техника. Ионолюминесценцияны өлшеу DC-60 (Нұр-сұлтан, Қазақстан) үдеткішіндегі in-situ өлшеулерге арналған кешенде жүргізілді. Бұл кешен жоғары энергиялы иондармен сәулеленген кезде ионолюминесценция мен ИЛ кинетикасын өлшеуге арналған [6].

Кешен мынадай құраушылардан тұрады:

- 4 позициялық монитор (4рмон);
 - Қозған күйлердің өмір сүру уақытын өлшеу кезінде "бастапқы" импульстарды генерациялау үшін микроканалды пластиналар (МКП) негізіндегі жеке иондық детекторы;
 - Кварц терезелері бар миникриостат, бұл 80-300К температура интервалында және 300-800нм толқын ұзындығының диапазонында өлшеуге мүмкіндік береді;
 - Уақытша өлшеулер жүргізу үшін STOP сигналын генерациялайтын ФЭК негізінде сәулеленген үлгілерден жеке фотондарды тіркеу детекторы;
 - Timeharp 260 амплитудалық түрлендіргішіне негізделген қозған күйлердің өмір сүру уақытын өлшейтін құрылғы;
 - Өлшеу жабдығының параметрлерін бақылау бағдарламасы.
- Кешен мен өлшеу бөлігі 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1 – DC-60 үдеткішіндегі ионолюминесценцияны өлшеуге арналған кешен: (а) сыртқы түрі, (б) кешеннің өлшеу бөлігі

Сәулелену режимдеріне сәйкес LiF, Al_2O_3 модельді кристалдарындағы ионолюминесценция спектрлері өлшенді. Түрлі құрылымдық күйдегі LiF кристалдарының ионолюминесценция спектрлері зерттелді.

2-суретте $1 \times 10^9 - 8,4 \times 10^{11}$ ион/см² түрлі флюенсінде энергиясы 200 МэВ ксенон ионымен сәулеленген LiF кристалының ионолюминесценция спектрі көрсетілген.

Флюенске байланысты LiF кристалдарының ионолюминесценция спектрлері 2×10^{11} ион/см² флюенсінен экситондық ионолюминесценция қарқындылығының төмендеуін көрсетеді, F_2 орталықтарының ионолюминесценция қарқындылығының төмендеуі $8,4 \times 10^{11}$ ион/см² флюенсінен басталады, ал F_2^+ орталықтары қанығуға жетеді, бұл ретте F_2^+ орталықтары ионолюминесценциясының ұлғаюы басталады.

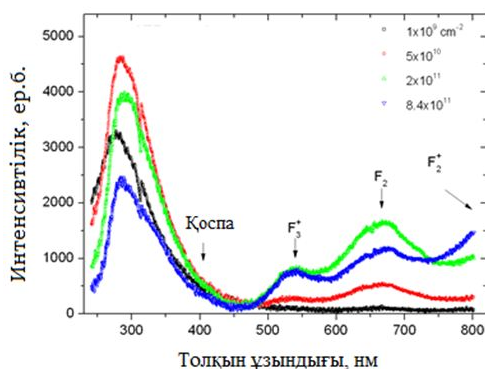
LiF кристалдарының ионолюминесценция кинетикасын өлшеу нәтижелері жұмыста көрсетілген [7].

Бұл жұмыста $\alpha-Al_2O_3$ монокристалдарының ионолюминесценциясын тудырған иондардың параметрлері есептелген, нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1 – DC-60 үдеткішіндегі $\alpha-Al_2O_3$ монокристалдарының ионолюминесценциясын зерттеу эксперименттерінің негізгі параметрлері

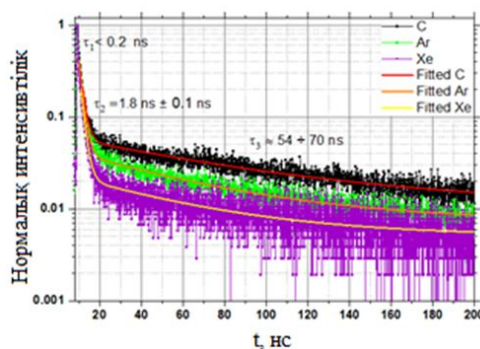
Иондардың типі мен энергиясы, МэВ	R_p , мкм	$\langle S_e \rangle$, кэВ/нм
^{12}C , 21	11,4	1,8
^{40}Ar , 65	9,9	6,5
^{84}Kr , 140	11,8	11,6
^{132}Xe , 220	16,5	13

1-кестеден барлық иондар үшін электронды шығындар басым болатындығын көруге болады.



Сурет 2 – Әртүрлі флюенстегі $1 \times 10^9 - 8,4 \times 10^{11}$ ион/см² энергиясы 200 МэВ ксенон иондарымен сәулеленген LiF кристалының ионлюминесценция спектрі

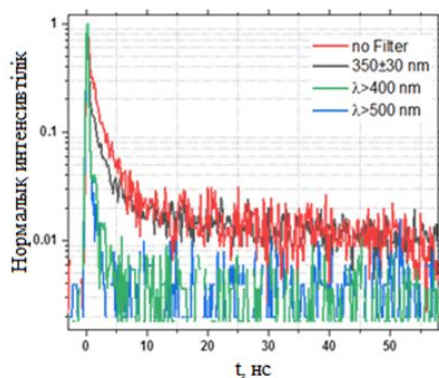
Ионлюминесценция кинетикасын өлшеу нәтижелері 3-суретте көрсетілген.



Сурет 3 – ¹²C (1,6 МэВ/нуклон), ¹³²Xe және Ar (1,2 МэВ/нуклон) иондарымен сәулеленген кездегі α -Al₂O₃ люминесценция кинетикасы

3-суреттен аргон мен ксенон иондары үшін алынған мәліметтер "жылдам" люминесценция кезеңін көрсетеді. Кең уақыттық ауқымда, жаңа әдіспен Al₂O₃ үшін ИЛ кинетикалары өлшенді. Алғаш рет, алюминий оксиді үшін «жылдам» кезеңнен басқа $\tau_2 = 1,8 \pm 0,1$ нс және $\tau_3 = 54 \div 70$ нс компоненттері бақыланады.

Әр түрлі спектрлік диапазондарда алынған эксперименттік мәліметтер 300-400нм ауқымда анықталған өмір сүру уақыты τ_3 сәулелену ақауға жақын автолокализацияланған экситондардың рекомбинациясымен байланысты екенін дәлелдейді (4 сурет).



Сурет 4 – Спектрдің әртүрлі аймақтарындағы α -Al₂O₃ люминесценция кинетикасы. ¹³²Xe (1,2МэВ/нуклон) иондарымен сәулелену

Қорытынды. LiF, Al₂O₃ кристалдарының жоғары энергиялы ионлюминесценция спектрлері DC-60 үдеткішіндегі жоғары энергиялы ионлюминесценцияны in-situ өлшеуге арналған жабдықтар кешенін пайдалана отырып өлшенді. Флюенске байланысты LiF кристалдарының ионлюминесценция спектрлері 2×10^{11} ион/см² флюенсінен экситондық ионлюминесценция қарқындылығының төмендеуін көрсетеді, F₂ орталықтарының ионлюминесценция қарқындылығының төмендеуі $8,4 \times 10^{11}$ ион/см² флюенсінен басталады, ал F₃⁺ орталықтары қанығуға жетеді, бұл ретте F₂⁺ орталықтары ионлюминесценциясының ұлғаюы басталады. Al₂O₃ ионлюминесценция кинетикасы кең уақыт диапазонында өлшенді. Алюминий оксиді үшін жылдам кезеңнен басқа, оларда $\tau_2 = 1,8 \pm 0,1$ нс және $\tau_3 = 54 \div 70$ нс компоненттері байқалады. Өмір сүру уақыты τ_2 сәулелену F⁺ - центрмен ассоцияланады. Әр - түрлі спектральды ауқымда алынған эксперименттік мәндер, 300-400nm ауқымда анықталған өмір сүру уақыты τ_3 сәулелену ақауға жақын автолокализацияланған экситондардың рекомбинациясымен байланысты екенін дәлелдейді. Алынған нәтижелер ионлюминесценция in-situ ядролық композиттік отынның инертті матрицаларының ыдырау фрагменттерінің әсерінен әрекетін болжай алатындығын көрсетеді.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Skuratov V.A., Kim Jong Gun, Stano J., Zagorski D.L. In-situ luminescence as monitor of radiation damage under swift heavy ion irradiation // Nucl. Instr. Meth. B. – 2006. – V. 245. - № 1. – P. 194-200.
- 2 Skuratov V.A., Bujnarowski G., Kovalev Yu. S., Havancsak K. Piezospectroscopic study of mechanical stress in Al₂O₃:Cr under swift heavy ion irradiation // Vacuum. – 2009. – T. 83. – P. 65-68.
- 3 Bujnarowski G., Skuratov V.A., Havancsak K. and Kovalev Yu.S. Accumulation of mechanical stress in Al₂O₃:Cr under swift heavy ion irradiation // Radiation Effects & Defects in Solids. – 2009. - Vol. 164. - № 7-8. – P. 409-416.
- 4 Skuratov V.A., Bujnarowski G., Kovalev Yu.S., O’Connell J., Havancsak K. In situ and postradiation analysis of mechanical stress in Al₂O₃: Cr induced by swift heavy-ion irradiation // Nucl. Instr. Meth. B. – 2010. - V. 268. – P. 3023-3026.
- 5 Skuratov V.A., Kirilkin N.S., Kovalev Yu.S., Strukova T.S., Havancsak K. Depth-resolved photo- and ionoluminescence of LiF and Al₂O₃ // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. – 2012. - V. 286. – P. 61-66
- 6 Ақилбеков А., Даулетбекова А.К., Скуратов В., Гиниятова Ш.Г., Сейтбаев А. Создание установки для in-situ измерения высокоэнергетических ионлюминесценция на циклотроне DC-60 // Вестник ЕНУ им.Л.Н. Гумилева. Серия Физика. Астрономия. – 2019. – Т. 128. - № 3. – С. 25-33.
- 7 Сейтбаев А., Скуратов В., Ақилбеков А., Даулетбекова А.К., Здоровец М.В., Кинетика ионлюминесценции кристаллов LiF // Вестник ЕНУ им.Л.Н. Гумилева. Серия Физика. Астрономия. – 2020. – Т. 2. – № 131. – С. 99-109.

А. Ақилбеков, А. Даулетбекова, Ш. Гиниятова, А. Сейтбаев, Б. Калмахан, Р. Бөден

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Ионлюминесценция кристаллов LiF и Al₂O₃ при облучении высокоэнергетическими тяжелыми ионами

Аннотация. В работе представлены спектры ионлюминесценции (ИЛ) кристаллов LiF с использованием комплекса оборудования для in-situ измерений высокоэнергетической ИЛ на циклотроне DC-60. Также представлены результаты по измерению кинетики ионлюминесценции кристаллов Al₂O₃ при облучении различными ионами. Проведен анализ радиационных параметров использованных ионов с помощью кода SRIM.

Ключевые слова: ионлюминесценция, кристаллы LiF и Al₂O₃, радиационные повреждения, быстрые тяжелые ионы, интенсивность.

A. Akilbekov, A.K. Dauletbekova, S.G. Giniyatova, A. Seitbaev, B. Kalmakhan, R. Boden

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Ionoluminescence of LiF and Al₂O₃ crystals under high-energy heavy ion irradiation

Abstract. The article presents the ionoluminescence (IL) spectra of LiF crystals using an in-situ equipment package for measuring high-energy ionoluminescence on a DC-60 cyclotron. Also, there are presented results of measurements of the ionoluminescence kinetics of Al₂O₃ crystals under irradiation with various ions. There have been analyzed the radiation parameters of the utilized ions using the SRIM code.

Keywords: ionoluminescence, LiF and Al₂O₃ crystals, radiation damage, swift heavy ions, intensity.

References

- 1 Skuratov V.A., Kim Jong Gun, Stano J., Zagorski D.L. In-situ luminescence as monitor of radiation damage under swift heavy ion irradiation, Nucl. Instr. Meth. B., 1(245), 194–200 (2006).
- 2 Skuratov V.A., Bujnarowski G., Kovalev Yu. S., Havancsak K. Piezospectroscopic study of mechanical stress in Al₂O₃:Cr under swift heavy ion irradiation, Vacuum, 83, 65–68 (2009).
- 3 Bujnarowski G., Skuratov V.A., Havancsak K. and Kovalev Yu.S. Accumulation of mechanical stress in Al₂O₃:Cr under swift heavy ion irradiation, Radiation Effects & Defects in Solids, 7–8(164), 409–416 (2009).
- 4 Skuratov V.A., Bujnarowski G., Kovalev Yu.S., O'Connell J., Havancsak K. In situ and postirradiation analysis of mechanical stress in Al₂O₃: Cr induced by swift heavy-ion irradiation, Nucl. Instr. Meth. B., 268, 3023–3026 (2010).
- 5 Skuratov V.A., Kirilkin N.S., Kovalev Yu.S., Strukova T.S., Havancsak K. Depth-resolved photo- and ionoluminescence of LiF and Al₂O₃, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B., 286, 61–66 (2012).
- 6 Akilbekov A., Dauletbekova A.K., Skuratov V., Giniyatova Sh.G., Seitbaev A. Sozdanie ustanovki dlya in situ izmereniya vysokoenenergeticheskikh ionolyuminescencii na ciklotrone DS-60 [Creating a setup for in-situ measurement of high-energy ionoluminescence on a cyclotron DC-60], Vestnik ENU im. L.N. Gumilyov. Series Physics. Astronomy, 3(128), 25-33 (2019). [in Russian]
- 7 Seitbaev A., Skuratov V., Akilbekov A., Dauletbekova A.K., Zdorovets M. V. Kinetika lyuminescencii kristallov LiF [Ionoluminescence kinetics of LiF crystals], Vestnik ENU im. L.N. Gumilyov. Series Physics. Astronomy, 2(131), 99-109 (2020). [in Russian]

Авторлар туралы мәлімет:

Гиниятова Ш.Г. - негізгі автор, Физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көш., 13, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Ақилбеков А.Т. - Физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көш., 13, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Даулетбекова А.К. - Физика-математика ғылымдарының кандидаты, техникалық физика кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көш., 13, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Сейтбаев А.С. - Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің докторанты, Қажымұқан көш., 13, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Қалмахан Б.О. - "Ядролық физика" мамандығының 2 курс магистранты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көш., 13, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Боден Р.Қ. - "Ядролық физика" мамандығының 2 курс магистранты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көш., 13, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Гиниятова Ш.Г. - **The main author**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukhan str., 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Akilbekov A. - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukhan str., 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Dauletbekova A. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Technical Physics Department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukhan str., 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Kalmakhan B. - Ph.D. student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukhanstr., 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Seitbayev A. - The 2nd year Master student of Nuclear Physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Munaitpasov St., 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Boden R. - The 2nd year Master student of Nuclear Physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Munaitpasov St., 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.