Исследование образования дефектов на поверхности кристаллов LiF при бомбардировке ионами цезия

У.Б. Шаропов[*1,2,3]

[1]Физико-технический институт НПО «Физика-Солнце», АН РУз, ул. Чингиз Айтматова, 2, 100084, Ташкент, Узбекистан
[2]Институт материаловедения, АН РУз, ул. Чингиз Айтматова, 2, 100084, Ташкент, Узбекистан
[3]НИИ Физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном Университете Узбекистана им. Мирзо Улугбека, ул. Новый Алмазар, 20, Ташкент, Узбекистан

Получена 24.11.2021, revised 08.06.2022.

* Corresponding author: e-mail utkirstar@gmail.com,Phone: +988 90 115 9779

В настоящей работе рассмотрены экспериментальные результаты по исследованию образования дефектов на поверхности кристаллов LiF при облучении ионами с использованием методик спектроскопии полного тока (ПТ), вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС) и программного комплекса SRIM. Проведенные исследования на кристалле LiF при ионном облучении показали, что работает ударный механизм образования дефектов, при этом наблюдается последовательное образование кластерных центров до их коалесценции в коллоидные центры. При ионном облучении наблюдается фазовый переход поверхности кристалла LiF с образованием коллоидных центров с последующей металлизацией поверхности, а также скоплением кластеров нейтральных атомов фтора (пузырьков). Показано, что при облучении ионами образуется большая концентрация вакансий и междоузельных дефектов на поверхности и в объеме кристалла

Ключевые слова: спектроскопия полного тока, вторично-ионная масс-спектрометрия, фторид лития, ионное облучение, поверхность, дефекты.

In this work, we consider the experimental results of studies of the defects formation on the surface of LiF crystals under irradiation with ions using the methods of total current spectroscopy, SIMS, and the SRIM software package. The studies carried out in the LiF crystal under ion irradiation have shown that the impact mechanism of the defects formation realises, and the consecutive formation of cluster centers is observed up to their coalescence into colloidal centers. Under ion irradiation, a phase transition of the LiF crystal surface is observed with the formation of colloidal centers, followed by metallization of the surface, as well as the accumulation of clusters of neutral fluorine atoms (bubbles). It has been shown that irradiation with ions produces a large concentration of vacancies and interstitial defects on the surface and in the bulk of the crystal.

Keywords: total current spectroscopy, SIMS, lithium fluoride, ion irradiation, surface, defects.

DOI: https//doi.org/10.52304/.v24i2 325

I. Введение

Образование дефектов на поверхности кристаллов при воздействии на них атомными частицами всегда интересовало исследователей из-за широкого использования этих материалов в поверхностной инженерии [1-3], оптоэлектронике [4-6], фотовольтаике [7-8], космическом материаловедении [9-10] и других областях науки и техники [11-13]. На сегодняшний день высокотехнологичные материалы, в отличие от объемных, имеют особые поверхностные свойства со специальными рабочими характеристиками [14]. Исследование процессов модификации поверхностных свойств материалов при бомбардировке

электронами и ионами является одним из важнейших направлений материаловедения [15-18].

Также при производстве чипов для процессов легирования, диффузии, кроме качества структуры поверхности, большое значение имеет выбор кристаллографической ориентации кристаллов-подложек [6, 13], н-р, в плоскости (111) дефекты образуются больше, чем в (100), вследствие большой поверхностной плотности упаковки атомов [19].

Исследования в области дефектообразования имеют ключевую роль в решении задач наноэпитаксии [16, 20-21], получении данных о физике и химии взаимодействия радиации с поверхностью кристаллов [11, 22].

При разработке новых устройств и материалов наноэлектроники использование инженерии дефектов (радиационно-стимулированной диффузии и имплантации) для получения *p-n* переходов [23-24], для создания лазеров [25-26]) сталкивается с принципиальной проблемой. Полученные дефекты в этих процессах либо стимулируют получение *p-n* переходов, либо их подавляют. Поэтому исследование поверхностных дефектов в широкозонных кристаллах является приоритетным направлением материаловедения, занимающегося поиском и созданием материалов для элементной базы устройств наноэлектроники нового поколения, принцип работы которых основан на манипуляции дефектов для изменения поверхностных и объемных свойств материала под действием ионного облучения.

LiF используется в качестве детекторов рентгеновского излучения [27-30], также обладает свойствами лазерного оптического материала на основе пленок [31-32]. В настоящей работе рассмотрены результаты исследований образования дефектов на поверхности кристаллов LiF при облучении ионами с использованием различных методик. Измерения проводили на пленках LiF, выращенных на монокристалле Si(111), при облучении разными по массе ионами после напыления пленки. Были исследованы дозовые зависимости образования внедренных дефектов на поверхности пленок LiF методом спектроскопии полного тока (ПТ) и программным комплексом SRIM. Также получены масс-спектры после облучения методом вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС).

II. Методика эксперимента

Подробное описание методик спектроскопии ПТ [33–38] и ВИМС приводится в [39-40]. Сначала получали спектры ПТ кристаллов LiF при облучении электронами (ток ~10^{-8} А). Затем методом ВИМС регистрировали вторичные ионы из монокристаллов LiF при бомбардировке ионами (ток ионов Cs^+ ~10^{-6} А, энергия 1 кэВ). Перед нанесением пленки LiF на подложку Si(111) поверхность образца очищали методом ионного травления с последующим отжигом в высоком вакууме при кратковременном повышении температуры до 700°С. Чистоту поверхности контролировали по спектрам ВИМС. Рабочий вакуум при проведении исследований составлял 10^{-9} Торр. Дополнительно для сравнения результатов использован метод SRIM (The Stopping and Range of Ions in Matter) [41].

III. Полученные результаты и их обсуждение

Нами выполнены исследования процессов дефектообразования, коалесценции и зарядки в тонких слоях LiF/Si(111) при бомбардировке ионами в интервале 200 эВ < $E \leq$ 3000 эВ. Пороги дефектообразования идентифицировали по появлению пиков в спектрах полного тока, обусловленных F и F_n агрегатными центрами. Исходя из поставленной задачи, мы проводили исследования дозовых зависимостей в пленках LiF при облучении ионами Cs^+ с энергией 1000 эВ по следующему алгоритму:

– облучение положительными ионами цезия пленки LiF;

– снятие спектров ПТ при облучении положительными ионами цезия пленки LiF;

– снятие спектров ВИМС при облучении положительными ионами цезия пленки LiF;

– сравнение результатов, полученных методами спектроскопии ПТ, ВИМС и SRIM.

Облучение кристаллов LiF ионами Cs^+ с энергией 1.0 кэВ ведет к появлению в спектре ПТ ряда пиков, которые соответствуют H_{Cs}, F_2, F-центрам (рис. 1). Как мы уже знаем, F-центр – это анионная вакансия с захваченным электроном [42-43]. H_{Cs}-центры приписывают внедренным дефектам кристаллов, они появляются в области энергии поглощения 1.7 эВ. В нашем случае H_{Cs}-центры образуются в мишени в процессе имплантации ионов цезия. Эти центры очень стабильны, не исчезают при отжиге до температуры 200°С. Их концентрация увеличива-

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.

ется с набором дозы. Увеличение дозы бомбардирующих ионов до 4.5×10^{13} ион/см^2 приводит к увеличению интенсивности пиков F, F_2, F_3, F_4 (рис. 1, кривая 3). Изменение положения первичного пика указывает на присутствие положительного заряда на поверхности образца [33]. Дальнейшее увеличение дозы (кривая 4) приводит к ослаблению интенсивности всех пиков, что указывает на фазовый переход поверхности. При этом в спектре ПТ появляется широкий пик при энергии 3.5–4.1 эВ, который идентифицирован как комплекс анионов (V_k-центры) в LiF.

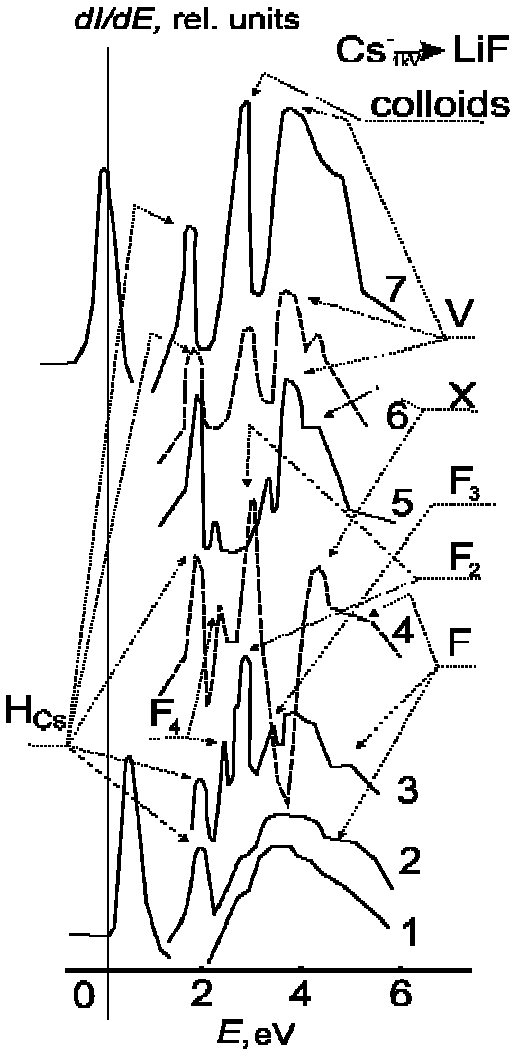


Рисунок 1. Изменение спектра ПТ кристалла LiF при облучении ионами Cs^+ с энергией 1.0 кэВ. Доза Cs^+ (ион/см^2): 0 (*1*); 2×10^{13} (*2*); 4.5×10^{13} (*3*); 5.4×10^{13} (*4*); 9×10^{13} (*5*); 1.2×10^{14} (*6*); 1.6×10^{14} (*7*).

Можно сказать, что кластеры F-центров теряют слабосвязанные электроны при коллоидообразовании, что влияет на образование анионных комплексов за счет снижения концентрации F-центров и их агрегатов. В результате увеличивается концентрация коллоидов и галоидных комплексов в LiF. Дальнейшее увеличение дозы ионов цезия до 10^{14} ион/см^2 ведет к образованию металлических островков на поверхности подложки.

Установлено, что при комнатных температурах ионных кристаллов основным механизмом распыления являются упругие столкновения между первичными ионами и компонентами мишени, а с увеличением температуры усиление распыления можно связать с генерацией в приповерхностном слое дефектов в виде F-H пар [9]. F-H пара – это анионная вакансия с захваченным электроном (F-центр) и междоузельный галоидный атом (H-центр), образующиеся при облучении заряженными частицами. На создание F-H-пары в кристалле LiF расходуется ~60 эВ [9, 29]. Для распыления наиболее существенным является образование первичных F-H-пар. Согласно [43], усиление распыления щелочно-галоидных кристаллов с ростом температуры связывается с диффузией этих дефектов к поверхности, что вызывает в итоге нейтрализацию поверхностных катионов и анионов. Последние, лишенные связи, могут участвовать как в распылении, так и в испарении материала мишени. Принимая во внимание, что при данной энергии E_0 пробеги тяжелых ионов Cs^+ в кристалле LiF меньше, эффективность образования дефектов, в том числе и F-H - пар в приповерхностном слое, будет относительно высокой. В этом случае диффузия дефектов к поверхности будет облегчена в результате повышения температуры облучаемой мишени, что и наблюдалось нами в эксперименте.

Исследования эмиссии вторичных ионов из неочищенного кристалла LiF при облучении ионами Cs^+ показывают, что в масс-спектре продуктов распыления LiF содержатся отрицательные ионы F_{n-} (n=1–4), $(Li_m)^-$ (m=1–3), $(Li_mF_n)^-$, где n=1–4, m=1–2, $(LiO)^-$, $(CF)^-$, $(FO)^-$, $(LiFO)^-$. Наблюдаемые в масс-спектрах выходы тяжелых ионов можно связать с повышенным содержанием дефектных структур на грязной поверхности. В этом случае скорость образования дефектов при бомбардировке и интенсивность распыления поверхностных слоев весьма высоки.

На рис. 2 приведен масс-спектр продуктов распыления кристалла LiF после длительной

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.

очистки ионами Cs^+. Так как фтор является электроотрицательным элементом, его будет больше в виде отрицательных ионов, что и видно из спектра.

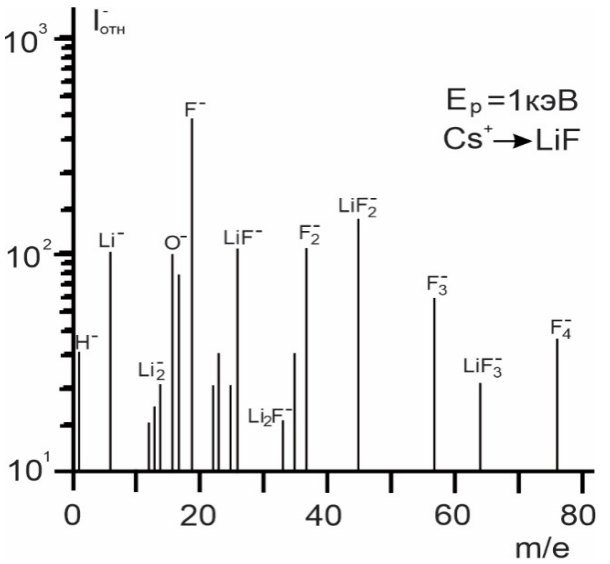


Рисунок 2. Масс-спектры эмиссии отрицательных вторичных ионов из кристалла LiF при бомбардировке ионами Cs^+.

Для проверки и сравнения данных спектров ПТ, мы провели исследования методом SRIM [41]. Были проведены исследования образования вакансий, междоузельных и внедренных дефектов на поверхности LiF при бомбардировке ионами Cs^+. На рис. 3 приведены зависимости образованных вакансий (а), междоузельных дефектов (б) и внедренных дефектов (в) по глубине образца при бомбардировке поверхности LiF ионами Cs. Как видно из рисунка, основное количество вакансий и междоузлий преимущественно образуется на поверхности, но также проникает в объем.

Также из рис. 3в (зависимости образования внедренных дефектов на поверхности LiF при бомбардировке ионами Cs^+) видно, что дефектов внедрения, или можно сказать ионов цезия, на поверхности не наблюдается, они внедряются в объем кристалла. Наблюдается смещение распределения в сторону объема кристалла примерно на 100 Å.

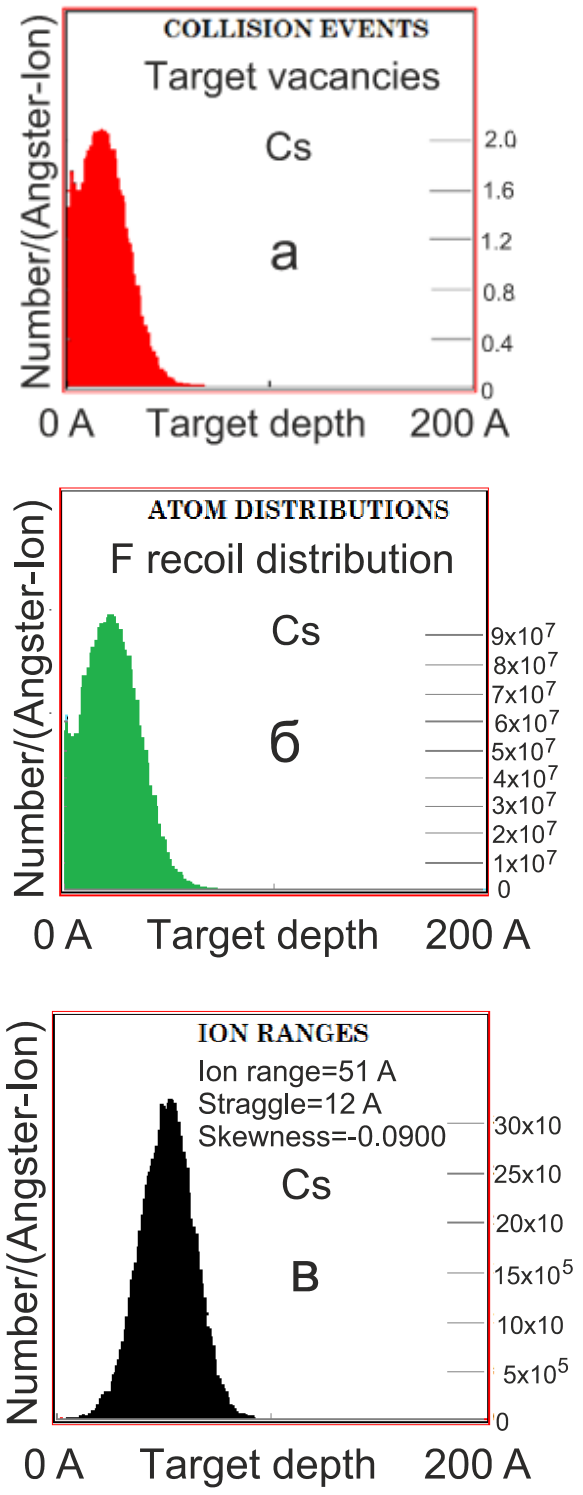


Рисунок 3. Распределение вакансий (а), междоузельных (б) и внедренных дефектов (в) в кристалле LiF в результате бомбардировки ионами Cs^+ с энергией E_k=1.0 кэВ при 45 градусах, d=200 Å.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.

III. Заключение

Проведенные исследования в кристалле LiF при ионном облучении показали, что работает ударный механизм образования дефектов, при этом наблюдается последовательное образование кластерных центров до их коалесценции в коллоидные центры. При ионном облучении наблюдается фазовый переход поверхности кристалла LiF с образованием коллоидных центров, с последующей металлизацией поверхности, а также скоплений кластеров нейтральных атомов фтора (пузырьков).

Образованные при ионном облучении точечные дефекты на поверхности кристаллов LiF не только стимулируют процесс распыления кластеров, но и могут быть выбиты с поверхности вместе со вторичными ионами. Коллоиды стимулируют распыление литиевых кластеров, а кластеры V_k-центров, в состав которых входят H-центры, увеличивают выход кластерных ионов фтора. Показано, что при облучении ионами основная концентрация вакансий и междоузель-ных дефектов образуется на поверхности и в объеме кристалла.

Метаданные

Formation of defects on the surface of LiF crystals at bombardment with caesium ions

U.B. Sharopov[1,2,3]

[1]Physical-Technical Institute NGO "Physics-Sun", Uzbekistan Academy of Sciences, Chingiz Aitmatov str., 2, 100084, Tashkent, Uzbekistan
[2]Institute of Materials Science, Uzbekistan Academy of Sciences, Chingiz Aitmatov st., 2, 100084, Tashkent, Uzbekistan
[3]Research Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the National University, New Almazar str., 20, Tashkent, Uzbekistan

In this work, we consider the experimental results of studies of the defects formation on the surface of LiF crystals under irradiation with ions using the methods of total current spectroscopy, SIMS, and the SRIM software package. The studies carried out in the LiF crystal under ion irradiation have shown that the impact mechanism of the defects formation realises, and the consecutive formation of cluster centers is observed up to their coalescence into colloidal centers. Under ion irradiation, a phase transition of the LiF crystal surface is observed with the formation of colloidal centers, followed by metallization of the surface, as well as the accumulation of clusters of neutral fluorine atoms (bubbles). It has been shown that irradiation with ions produces a large concentration of vacancies and interstitial defects on the surface and in the bulk of the crystal.

Keywords: total current spectroscopy, SIMS, lithium fluoride, ion irradiation, surface, defects.

Литература (References)

[1] C. Jardin, P. Duruptand, J. Davenas. Radiat. Eff. Defects Solids **137**,No.1-4, 29-34 (1995). https://doi.org/10.1080/10420159508222688.
[2] A. Komilov. J. Photonics Energy **11**, 3 (2021). https://doi.org/10.1117/1.JPE.11.035501.
[3] K.M. Karimberganovich, K.U. Otoboyevich, I.S. Ko'ziyevich, O.M. Uchkuno'g'li. e-Journal Surf. Sci. Nanotechnol. **18**, 164-167 (2020). https://doi.org/10.1380/ejssnt.2020.164.
[4] T. Nagao, T.D. Dao, R.P. Sugavaneshwar, K. Chen, K.K. Nanda. Radiat. Eff. Defects Solids **171**, No.1-2, 22–33 (2016). https://doi.org/10.1080/10420150.2016.1160906.
[5] M. Ashry, M.B. El-Mashade, S.M. Eladl, M.S. Rageh. Radiat. Eff. Defects Solids **159**, No.8-9, 453-460(2004). https://doi.org/10.1080/10420150410001670297.
[6] K.M. Karimberganovich, M.K. Jamoladdinovich, O.K. Uchkunqizi,O.M. Uchkuno'g'li. e-Journal Surf. Sci. Nanotechnol.**17**, 179-183 (2019) https://doi.org/10.1380/ejssnt.2019.179.
[7] K.M. Manikandan,A. Yelilarasi. Radiat. Eff. Defects Solids, **176**, 651-661 (2021). https://doi.org/10.1080/10420150.2021.1903894
[8] Special Issue Advances in Silicon. Nanoelectronics, Nanostructures and High-Efficiency Si-Photovoltaics. Phys. status solidi **217**,No.4, 2000023 (2020). https://doi.org/10.1002/pssa.202000023.
[9] B.R. Uma, S. Krishnan, V. Radhakrishna, R. Campesato. Radiat. Eff. Defects Solids **176**, 382-395 (2020). https://doi.org/10.1080/10420150.2020.1849214.
[10] Y. Peng, W. Scales. Radiat. Eff. Defects Solids **175**, No.11-12, 998-1001 (2020). https://doi.org/10.1080/10420150.2020.1845689.
[11] U. Khalilov, A. Bogaerts, E.C. Neyts. Acc. Chem. Res. **50**, No.4, 796-804 (2017). https://doi.org/10.1021/acs.accounts.6b00564.
[12] A.G. Komilov. Appl. Sol. Energy **54**, 308-309 (2018). https://doi.org/10.3103/S0003701X18050092.
[13] U.O. Kutliev, M.K. Karimov, M.U. Otaboev. Inorg. Mater. Appl. Res.**11**, No.3, 503-506 (2020). https://doi.org/10.1134/S2075113320030272.
[14] S. Girard, T. Allanche, P. Paillet, V. Goiffon, M. Van Uffelen, L. Mont-Casellas, C. Muller, A. Boukenter, Y. Ouerdane, W. De Cock. IEEE Trans. Nucl. Sci. **65**, No.8, 1612-1618 (2018). https://doi.org/10.1109/TNS.2017.2778318.
[15] M.K. Karimov, U.O. Kutliev, K.U. Otabaeva, M.U. Otabaev. J. Nano- Electron. Phys. **12**, No.5, 05032-05034 (2020). https://doi.org/10.21272/jnep.12(5).05032.
[16] F. La Via, M. Camarda, A. La Magna..Appl. Phys. Rev. **1**, No.3, 031301 (2014). https://doi.org/10.1063/1.4890974.
[17] F. Wang, S. Bai, W. Tress, A.Hagfeldt, F. Gao. NPJ Flex. Electron. **2**, No.1, 22 (2018). https://doi.org/10.1038/s41528-018-0035-z.
[18] Z. Lin, B.R. Carvalho, E.L.R. Kahn, R. Rao, H. Terrones,

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.

M.A. Pimenta, M. Terrones. 2D Mater. **3**, No.2, 022002 (2016). https://doi.org/10.1088/2053-1583/3/2/022002.
[19] S. Stach, S. Ţălu, R. Dallaev, A. Arman, D. Sobola, M. Salerno. Silicon **12**, No.11, 2563-2570 (2020). https://doi.org/10.1007/s12633-019-00351-x.
[20] H. Xu, Y. Wang, Y. Guo, Z. Liao, Q. Gao, N. Jiang, H.H. Tan, C. Jagadish, J. Zou. Cryst. Growth Des. **12**, No.4, 2018-2022 (2012).https://doi.org/10.1021/cg201725g.
[21] B. Rani, A.F. Wani, S.A. Khandy, U.B. Sharopov, L. Patra, K. Kaur, S. Dhiman. Solid State Commun. **351**, 114796 (2022). https://doi.org/10.1016/j.ssc.2022.114796.
[22] F. Groppi, E. Sabbioni, S. Manenti. Radiat. Eff. Defects Solids **174**, No.11-12, 965-972 (2019). https://doi.org/10.1080/10420150.2019.1683835.
[23] T.Y. Tan. In Handbook of Solid State Diffusion **1**; Elsevier, 239-319 (2017). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804287-8.00005-1.
[24] I.M. Dharmadasa. Advances in Thin-Film Solar Cells (Jenny Stanford Publishing, 2018). https://doi.org/10.1201/9780429020841.
[25] P.D. Dragic, M. Cavillon, J. Ballato. Appl. Phys. Rev. **5**, No.4, 041301 (2018). https://doi.org/10.1063/1.5048410.
[26] G. Baldacchini, Li.F. Colored. J. Lumin. **100**, No.1-4, 333-343 (2002). https://doi.org/10.1016/S0022-2313(02)00460-X.
[27] Y.L. Bakshaev. Plasma Devices Oper. **7**, No.2, 157-161 (1999). https://doi.org/10.1080/10519999908224468.
[28] C. Dujardin, C. Pedrini. Radiat. Eff. Defects Solids **157**, No.6-12, 881-885 (2002). https://doi.org/10.1080/10420150215804.
[29] A.R. El-Sersy, N.E. Khaled. Radiat. Eff. Defects Solids **159**, No.7, 439-445 (2004). https://doi.org/10.1080/1042015042000273676.
[30] R.M. Montereali, A. Ampollini, L. Picardi, C. Ronsivalle, F. Bonfigli, S. Libera, E.Nichelatti, M. Piccinini, M.A. Vincenti. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. **169**, 012012 (2017). https://doi.org/10.1088/1757-899X/169/1/012012.
[31] S. Tascu, R.J. Reeves, B. Jacquier, P. Moretti, R.M. Montereali, M. Piccinini, F. Somma, C. Seassal. Radiat. Eff. Defects Solids **157**, No.6-12, 691-694 (2002). https://doi.org/10.1080/10420150215741.
[32] A.P. Voitovich, O.V. Ignatenko, V.S. Kalinov, O.E. Kostik, V.V. Mashko, A.N. Novikov. Radiat. Eff. Defects Solids **176**, 529-537 (2021). https://doi.org/10.1080/10420150.2021.1878520.
[33] S.A. Komolov, L.T. Chadderton. Surf. Sci. **90**, No.2, 359-380 (1979). https://doi.org/10.1016/0039-6028(79)90350-9.
[34] S.A.Komolov. Total Current Spectroscopy of Surfaces (Gordon and Breach Science, Philadelphia, 1992).
[35] E.K. Alidjanov, B.G. Atabaev, S. Gaipov, N.N. Boltaev. Thin Solid Films **250**, No.1-2, 268-272 (1994). https://doi.org/10.1016/0040-6090(94)90196-1.
[36] U. Sharopov, B. Atabaev, R. Djabbarganov, M. Qurbanov. Mechanism of Aggregation Colloid Centers on Surface Ionic Crystals. In: Advances in Colloid Science; Intech. Open, (2016). https://doi.org/10.5772/65517.
[37] U.B. Sharopov, B.G.Atabaev, R. Djabbarganov, M.K. Kurbanov. J. Surf. Investig. X-ray, Synchrotron Neutron Tech. **7**, No.1, 195-199 (2013). https://doi.org/10.1134/S1027451012120117.
[38] U.B. Sharopov, B.G.Atabaev, R. Djabbarganov. J. Surf. Investig. X-ray, Synchrotron Neutron Tech. **14**, No.1, 101-104 (2020). https://doi.org/10.1134/S1027451020010164.
[39] U.B. Sharopov, B.G. Atabaev, R.Djabbarganov, M.K. Kurbanov, M.M. Sharipov. J. Surf. Investig. X-ray, Synchrotron Neutron Tech. **10**, No.1, 245-249 (2016). https://doi.org/10.1134/S1027451016010328.
[40] R. Djabbarganov, B.G. Atabaev, Z.A. Isakhanov, U.B. Sharopov. J. Surf. Investig. X-ray, Synchrotron Neutron Tech. **13**, No.4, 640-643 (2019). https://doi.org/10.1134/S1027451019040049.
[41] J.F. Ziegler, M.D. Ziegler, J.P. Biersack. Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms **268**, No.11-12, 1818-1823 (2010). https://doi.org/10.1016/j.nimb.2010.02.091.
[42] Radiation Effects in Solids. Eds.: K.E. Sickafus, E.A. Kotomin, B.P. Uberuaga (NATO Science Series **235** (Springer, Netherlands, Dordrecht, 2007). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5295-8.
[43] I.A. Parfianovich, E.E. Penzina. Electronic Color Centers in Ionic Crystals (East-Siberia Book Publishing House, Irkutsk, 1977).

Цезий ионлари билан бомбардимон қилинганда LiF кристаллари юзасида пайдо бўладиган нуқсонлар

У.Б. Шаропов

Физика-техника институти НПО "Физика-Қуёш", Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси, Чингиз Айтматов кўчаси, 2, 100084, Тошкент, Ўзбекистон
Материал шунослик институти Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси, Чингиз Айтматов кўчаси, 2, 100084, Тошкент, Ўзбекистон
Яримутказгич ва Микроэлектроника институти, Ўзбекистон Миллий Университети, Янги Олмозор куч. 20, Тошкент, Ўзбекистон

Ушбу ишда тўлиқ ток спектроскопия услуби, ВИМС ва SRIM дастурий асосида LiF кристалларини ионлар билан нурлантирганда сиртида нуқсонлар ҳосил бўлишини экспериментал ва назарий натижалари келтирилган. LiF кристалида ион нурланишида олиб борилган тадқиқотлар шуни кўрсатдики, нуқсонлар пайдо бўлишида зарба механизми ишлайди ва шу билан бирга кластер марказларининг бирлашиши натижасида коллоид марказларининг пайдо бўлишига олиб келади. Ион нурлантириш LiF кристалининг сиртининг фазали ўтиши коллоид марказларнинг пайдо бўлиши ва сиртнинг металланиши, шунингдек нейтрал фтор атомлари (пуфакчалари) кластерларининг тўпланиши кузатилган. Ионлар билан нурланиш кристалл юзасида ва асосий қисмида юқори концентрацияда вакансиялар ва оралиқ нуқсонларни ҳосил бўлиши экспериментал ва назарий исботланган.

Калит сўзлар: тўлиқ ток спектроскопияси, литий фтор, ион нурлантириш, сирт нуқсонлар.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2022 г.