

РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 535.343.2

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-135-142

Анатолій Ковтун, Андрей Дымерец

ВЗАИМОПРЕВРАЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ЦЕНТРОВ В ПРИМЕСНЫХ ЩЕЛОЧНОГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛАХ

Актуальность темы исследования. В настоящее время хранение информации является очень важной задачей. Таким образом, новый способ записи больших объемов информации при использовании минимальных размеров хранилища будет актуальным.

Постановка проблемы. Исследовать возможность записи информации в кристаллах $KCl+LiCl$, а также механизм позволяющий делать это.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе Барана Н.Н. и др. «Двойной электронно-ядерный резонанс А-центров в смешанных кристаллах $KCl+LiCl$ » методом ДЭЯР подтверждена модель F_A -центра, однако кинетика взаимопревращения $F \rightleftharpoons F_A$ изучена недостаточно.

Части проблемы, которые требуют исследования. Теоретически понятен механизм записи информации при превращении электронных центров $F \rightleftharpoons F_A$ методом использования туннельного эффекта, однако в реальности он еще не реализован.

Постановка задания. Экспериментально и теоретически исследовать кинетику взаимного превращения электронных центров $F \rightleftharpoons F_A$ в кристаллах KCl с примесью ионов Li^+ . В процессе исследования необходимо показать механизм превращения

F -центров в F_A -центры, а также практическое использование его для записи информации.

Изложение основного материала. Проведены экспериментальные и теоретические исследования кинетики фотопревращения $F \rightleftharpoons F_A$ в кристаллах $KCl+ 1 \text{ мол.}\% LiCl$ в шихте. Показано, что механизм превращения F -центров в F_A -центры заключается в том, что при освещении кристаллов светом F -центры переходят в возбужденное состояние и отдают электроны в зону проводимости в результате электронфононного взаимодействия. За время жизни электронов в зоне проводимости свободные галоидные вакансии вследствие диффузии стабилизируются ионами примеси. Затем, присоединяя электроны, стабилизированные галоидные вакансии превращаются в F_A -центры. Показано, что в облученных рентген-лучами (γ -лучами) кристаллах заполнение соседних галоидных вакансий туннелированием электронов возбужденных F -центров происходит только частично. Предлагается использовать туннельный эффект для записи информации сфокусированным лучом от квантового генератора света. Стирать записанную информацию можно расфокусированным световым пучком.

Выводы относительно статьи. Предлагается механизм превращения F -центров в F_A -центры в ионных кристаллах KCl с примесью катионов Li^+ , а также кинетика этого превращения. Этот механизм предлагается использовать для записи информации.

Ключевые слова: F -центры; галоидные вакансии; квантовый выход; туннельный эффект; чужеродные щелочные ионы; зона проводимости; фотопревращение центров.

Постановка проблемы. Экспериментально и теоретически исследовать кинетику взаимного превращения электронных центров $F \rightleftharpoons F_A$ в кристаллах KCl с примесью ионов Li^+ . В процессе исследования необходимо показать механизм превращения F -центров в F_A -центры, а также практическое использование его для записи информации.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе Н. Н. Барана и др. «Двойной электронно-ядерный резонанс А-центров в смешанных кристаллах $KCl+LiCl$ » методом ДЭЯР подтверждена модель F_A -центра: это F -центр, локализованный возле примесного чужеродного иона щелочи, однако кинетика взаимопревращения $F \rightleftharpoons F_A$ изучена недостаточно, о чем упоминается в работах Н. Härtel и П. К. Горбенко.

Об условиях и механизме образования F_A -центров детально изложено в работе П. К. Горбенко.

Части проблемы, которые требуют исследования. Теоретически понятен механизм записи информации при превращении электронных центров $F \rightleftharpoons F_A$ методом использования туннельного эффекта, однако в реальности он еще не реализован.

Вступление. В работе приведены результаты эксперимента и теоретических исследований взаимопревращения $F \rightleftharpoons F_A$ под воздействием света в кристаллах KCl с примесью 1 мол.% $LiCl$ в шихте. Показан механизм превращения F -центров в F_A -центры. По-

казано, что в облученных рентген-лучами (γ -лучами) кристаллах заполнение соседних галоидных вакансий частично осуществляется туннелированием электронов из возбужденных F-центров. Предлагается использовать туннельный эффект для записи информации с помощью квантового генератора света.

Изложение основного материала. В щёлочногалоидных кристаллах (ЩГК) структура F- и F_A -центров установлена достоверно. F-центр представляет собой электрон, захваченный свободной галоидной вакансией, F_A -центр – это F-центр, локализованный возле примесного чужеродного иона щелочи [1].

Понижение симметрии от кубической до C_{4v} при возникновении F_A -центров из F-центров частично снимает вырождение p-уровня F-центра, расщепляя его на два. Поэтому, вместо одной F-полосы наблюдаются две F_A -полосы / F_{A1} - и F_{A2} -/: одна из них F_{A1} соответствует переходу, дипольный момент которого ориентирован вдоль оси C_4 , проходящей через примесный катион; другая F_{A2} соответствует переходу, дипольный момент которого расположен в перпендикулярной к оси C_4 плоскости [2; 3; 4]. На рис. 1 изображена диаграмма энергетических уровней F- и F_A -центров. Трехкратно вырожденное возбужденное 2p-состояние F-центра расщепляется в случае F_A -центра на два состояния: дублетное дважды вырожденное / γ / и синглетное невырожденное / β /. Нижнему возбужденному состоянию β соответствует полоса оптического поглощения F_{A1} , а верхнему γ – F_{A2} . Итак, F_A -центр имеет одно основное и два возбужденных состояния вследствие влияния на электрон возбужденного F-центра чужеродного иона щелочного металла, находящегося в первой координационной сфере.

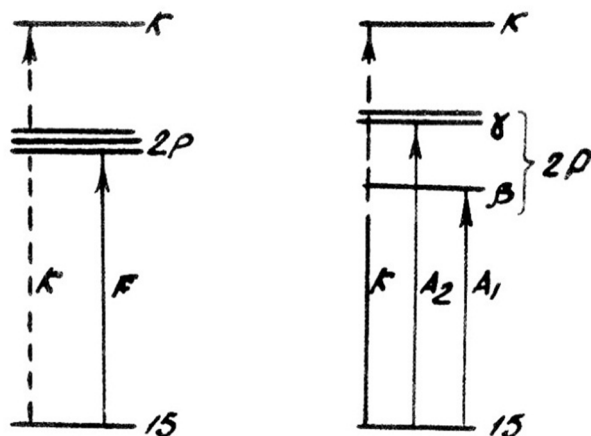


Рис. 1. Диаграммы энергетических уровней F- и F_A -центров

Кинетика взаимопревращения $F \rightleftharpoons F_A$ -центров изучена недостаточно [5; 6], поэтому в работе подробно рассматриваются и экспериментально проверяются возможные механизмы взаимопревращения F- и F_A -центров в кристаллах KCl: LiCl.

Взаимное превращение центров, как известно, наблюдается под действием света в определенном интервале температуры. Следовательно, можно предположить два наиболее вероятных механизма: 1) объединение галоидных вакансий с ионами лития вследствие их диффузии за время жизни электрона в зоне проводимости; 2) объединение возбужденных F-центров с примесными ионами вследствие электрон-ядерного взаимодействия [3].

Первый механизм легко проверить экспериментально, разделив ионный и электронный процессы в превращении $F \rightarrow F_A$. Кристаллы KCl: LiCl, которые содержали свободные галоидные вакансии (рис. 2, кривая 1), полученные при частичном обесцвечивании F-центров белым светом при 195 К (углекислота в ацетоне), нагревали в темноте до 263 К, а затем охлаждали до 77 К (кривая 2) и освещали светом ($\lambda=540$ нм), соответ-

ствующим максимуму F-полосы. В результате возникали F_A -центры (кривая 3). Эти экспериментальные данные показывают, что при нагревании кристаллов от 196 до 263 К происходит диффузия свободных галоидных вакансий, которые стабилизируются ионами лития. F_A^+ -вакансии, захватывая электроны, отдаваемые возбужденными F-центрами, превращаются в F_A -центры.

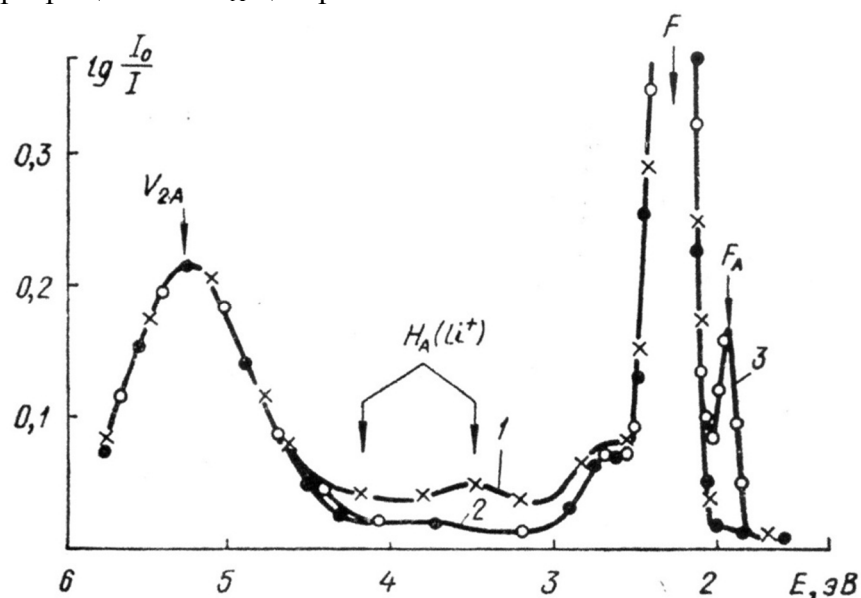


Рис. 2. Спектры оптического поглощения кристаллов $KCl + 1 \text{ мол.}\% LiCl$ в шихте при 77 К: 1 – после 3-часового облучения рентгенлучами при 195 К кристалл нагревали до 320 К, затем охлаждали до 195 К и освещали белым светом в течении 0,5 ч; 2 – после нагрева до 263 К; 3 – после освещения светом $\lambda=540 \text{ нм}$ в течении 1 ч при 77 К. Все спектры сняты при 77 К

Второй механизм превращения можно обнаружить путём исследования квантового выхода электронов в зону проводимости. Если возбужденные F-центры объединяются с примесью, нужно ожидать, что в начале процесса $F \rightarrow F_A$ квантовый выход меньше, чем в конце процесса, так как концентрация реагирующих дефектов со временем уменьшается. Квантовый выход будет постоянным, если процесс объединения возбужденных F-центров с примесью маловероятен.

В аддитивно окрашенных кристаллах, как показали экспериментальные исследования, квантовый выход в зону проводимости в процессе превращения $F \rightarrow F_A$ не изменяется (рис. 3). Следовательно, второй механизм фотопревращения F-центров в F_A -центры маловероятен.

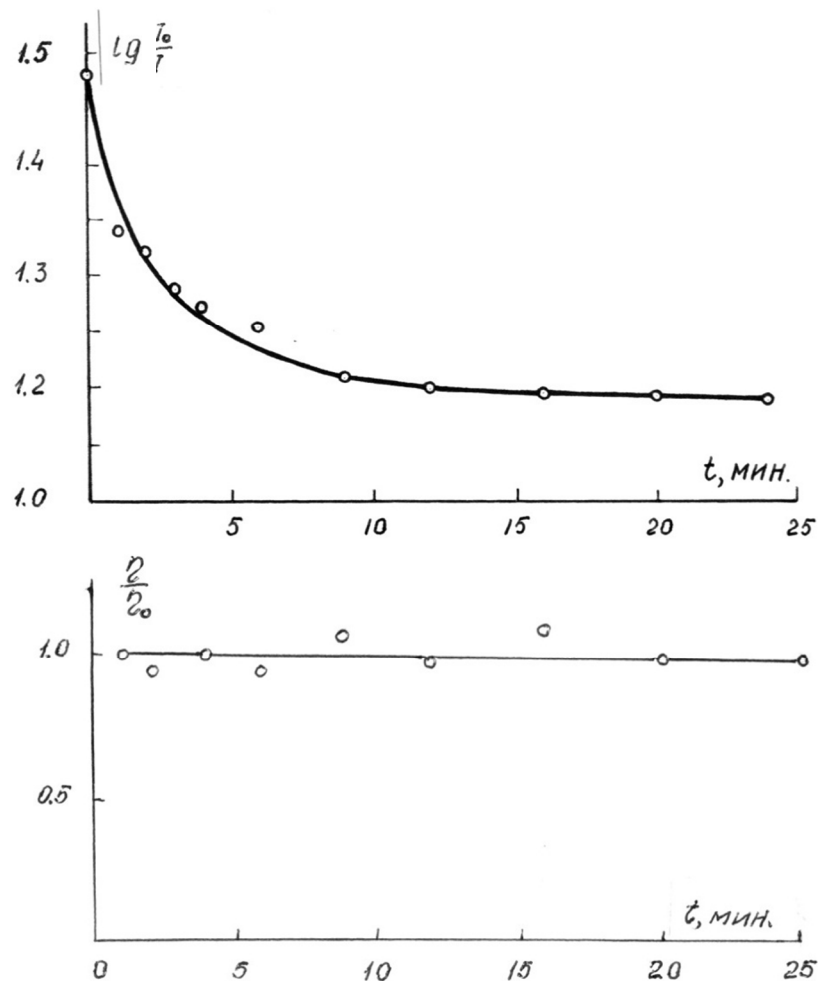


Рис. 3. Верхним графиком показано изменение оптической плотности кристалла для $\lambda=520$ нм в процессе $F \rightarrow F_A$. На нижнем графике дана зависимость квантового выхода электронов в зону проводимости фотопревращения $F \rightarrow F_A$ в аддитивно окрашенном кристалле $KCl : LiCl$ (1 мол. % $LiCl$ в шихте) при 263 К

В облученных рентгеновскими (γ -лучами) кристаллах, кроме процесса $F \rightarrow F_A$, наблюдается частичное обесцвечивание F_A -центров вследствие рекомбинации электронов с дырками V_{2A} (Li^+) центров. При этом образуются F_A^+ -вакансии [5]. Относительный квантовый выход электронов в зону проводимости уменьшается до нуля (рис. 4). Следовательно, происходит туннелирование электронов из возбужденных F_A -центров на соседние галоидные вакансии. Поэтому облученные рентген-лучами (γ -лучами) кристаллы обесцвечиваются лишь на 45 % при температурах, при которых галоидные вакансии не диффундируют.

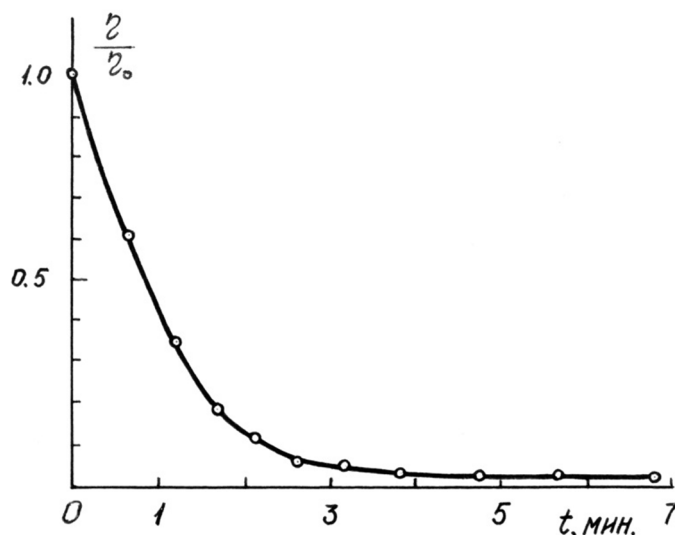


Рис. 4. Зависимость квантового выхода электронов в зону проводимости в процессе $F \rightarrow F_A$ в облученном рентген-лучами кристалле $KCl : LiCl$ (1 мол. % $LiCl$ в шихте) при 263 K (η_0 – квантовый выход в момент времени t_0 в процессе превращения $F \rightarrow F_A$)

Туннельный эффект электронов из возбужденных F- и F_A -центров на соседние вакансии можно успешно использовать для записи информации сфокусированным лучом от квантового генератора света. Стирание информации можно производить расфокусированным световым пучком.

Предположим, что при освещении аддитивно окрашенных примесных кристаллов возбужденные F-центры диссоциируют на поляроны и галоидные вакансии в результате электрон-фононного взаимодействия [7]. F_A -центры образуются вследствие стабилизации диффундирующих свободных галоидных вакансий ионами примеси с последующим захватом полярона. Происходит возбуждение образовавшихся F_A -центров, поскольку F_{A2-} и F-полосы оптического поглощения плотно перекрываются. Возбужденные F_A -центры диссоциируют на поляроны и галоидные вакансии. Вакансии, локализованные возле ионов примеси, при некоторых температурах делокализуются вследствие диффузии. В результате захвата поляронов свободные вакансии превращаются в F –центры. Тогда соответствующие концентрации N_K ($K=F, F^*, F^+, F_A, F_A^*, F_A^+, i, p$) будут подчиняться кинетическим уравнениям:

$$\dot{N}_F = -\eta_F L N_F + A_{F^*} N_{F^*}; \tag{1}$$

$$\dot{N}_{F^*} = \eta_F L N_F - A_{F^*} N_{F^*} + \gamma_{F^+} N_{F^+} N_P - P_{F^*} N_{F^*}; \tag{2}$$

$$\dot{N}_{F^+} = P_{F^*} N_{F^*} - \gamma_{F^+} N_{F^+} N_P + P_{F_A^+} N_{F_A^+} - \gamma_i N_{F^+} N_i; \tag{3}$$

$$\dot{N}_{F_A} = -\eta_{F_A} L N_{F_A} + A_{F_A^*} N_{F_A^*}; \tag{4}$$

$$\dot{N}_{F_A^*} = \eta_{F_A} L N_{F_A} - A_{F_A^*} N_{F_A^*} + \gamma_{F_A^+} N_{F_A^+} N_P - P_{F_A^*} N_{F_A^*}; \tag{5}$$

$$\dot{N}_{F_A^+} = P_{F_A^*} N_{F_A^*} - \gamma_{F_A^+} N_{F_A^+} N_P + \gamma_i N_{F_A^+} N_i - P_{F_A^+} N_{F_A^+}; \tag{6}$$

$$\dot{N}_i = -\gamma_i N_{F^+} N_i + P_{F_A^+} N_{F_A^+}; \tag{7}$$

$$\dot{N}_P = \eta_F L N_F + \eta_{F_A} L N_{F_A} - \gamma_{F^+} N_{F^+} N_P - \gamma_{F_A^+} N_{F_A^+} N_P, \tag{8}$$

где η_F и η_{F_A} – квантовый выход фотовозбуждения F- и F_A -центров; L – интенсивность поглощения света; A_{F^*} и $A_{F_A^*}$ – вероятность спонтанного перехода F- и F_A -центров из возбужденного состояния в основное; P_{F^*} и $P_{F_A^*}$ – вероятности термической делокализации F_A^+ -вакансии; γ_{F^+} и $\gamma_{F_A^+}$ – коэффициенты захвата поляронов галоидными вакансиями; γ_i – коэффициент захвата галоидных вакансий примесью; N_i – концентрация изолированных чужеродных примесных щелочных ионов.

Из условий нейтральности кристалла и сохранения полного числа галоидных вакансий и примеси получаем три интеграла системы:

$$N_{F^+} + N_{F_A^+} - N_P = N_{F^+}^0; \quad (9)$$

$$N_F + N_{F^*} + N_{F^+} + N_{F_A} + N_{F_A^*} + N_{F_A^+} = M_1; \quad (10)$$

$$N_{F_A} + N_{F_A^*} + N_{F_A^+} + N_i = M_2. \quad (11)$$

Результирующий положительный заряд $N_{F^+}^0$ должен быть скомпенсирован равным отрицательным зарядом, находящимся с ним в динамическом равновесии, например щелочными вакансиями.

Эксперимент показывает, что F – центры превращаются только в F_A -центры в том случае, когда $N_i \gg N_F$. Если $N_F \approx N_i$ или $N_F > N_i$, то, кроме F_A -центров, образуются F_2 - F_3 -центры. Мы приводим частное решение системы уравнений (1)-(11), полагая, что при $N_F \gg N_i$ наиболее вероятным процессом фотопревращения $F \rightarrow F_A$ будет процесс объединения свободных галоидных вакансий с ионами примеси за время жизни электронов в зоне проводимости. В этом приближении в уравнении (1) можно пренебречь членом $A_{F^*} N_{F^*}$.

Тогда

$$\dot{N}_F \approx -\eta_F L N_F. \quad (12)$$

Решение уравнения (12) имеет вид:

$$N_F = M_1 e^{-\eta_F L t}; \quad (13)$$

Концентрация F_A -центров, как видно из уравнения (10), будет изменяться со временем:

$$N_{F_A} \approx M_1 - N_F = M_1 (1 - e^{-\eta_F L t}). \quad (14)$$

В уравнении (10) мы пренебрегаем концентрацией промежуточных продуктов (N_{F^*} , N_{F^+} , $N_{F_A^*}$, $N_{F_A^+}$) по сравнению с концентрацией исходных и конечных центров. Такое условие практически всегда выполняется, если кристаллы освещать монохроматическим светом малой интенсивности.

На рис. 5 приведены кривые, показывающие, как изменяется поглощение в максимумах F- (540 нм) и F_{A_2} - (630 нм) полос. Кривая $D_{\lambda=540 \text{ нм}}$ не отражает действительного изменения во времени концентрации F – центров, так как F – полоса плотно перекрывается F_{A_2} -полосой. Поэтому сравнение расчетных данных с экспериментальными производится в максимуме F_{A_2} -полосы (630 нм).

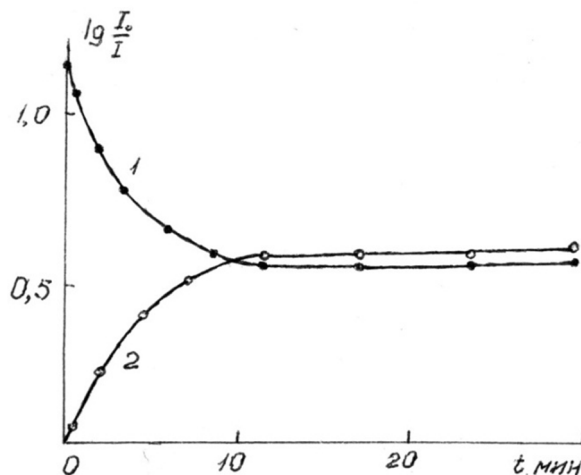


Рис. 5. Временная зависимость изменения концентрации F- и F_A -центров в аддитивно окрашенных кристаллах KCl : LiCl (1 мол. % LiCl в шихте): 1 – оптическая плотность кристалла в максимуме F – полосы ($D_{\lambda=540 \text{ нм}}$); 2 – то же в максимуме F_A -полосы ($D_{\lambda=630 \text{ нм}}$). Кристалл освещали в максимуме F – полосы поглощения при 263 К; поглощение в максимумах F – и F_A – полос измеряли при 77 К

Из уравнения (10) видно, что $M_1 = N_{FA}^\infty$, если все F – центры превращаются в F_A –центры. Постоянную $\alpha = \eta_F L$ легко определить из наклонов прямой $\ln \left[\frac{N_{FA}^\infty}{N_{FA}^\infty - N_{FA}} \right] = \alpha t$.

Рисунок 5 показывает, что экспериментальные и расчетные данные хорошо согласуются. Следовательно, рассматриваемое приближение вполне оправдано.

Выводы и предложения. Предлагается механизм превращения F-центров в F_A -центры в ионных кристаллах KCl с примесью катионов Li^+ , а также кинетика этого превращения.

В результате освещения кристалла светом из F – полосы поглощения F – центры переходят в возбужденные состояния, а затем в результате электрон-фононного взаимодействия электроны оказываются в зоне проводимости. За время пребывания электронов в зоне проводимости теперь уже свободные галоидные вакансии бывших F-центров диффундируют по кристаллу и стабилизируются “чужеродными” ионами Li^+ . Присоединяя электрон, эти “заготовки” превращаются в F_A -центры.

Установлено, что в облученных квантами большой энергии (γ -лучами, рентген-лучами) кристаллах заполнение галоидных вакансий, стабилизированных ионами лития, частично происходит путем туннельного эффекта из соседних возбужденных F – центров. Туннельный эффект можно использовать для записи информации.

Список использованных источников

1. Двойной электронно-ядерный резонанс A-центров в смешанных кристаллах KCl+LiCl / Н. Н. Баран и др. // Физика твердого тела. – 1968. – Т. 10. – С. 3005–3010.
2. Kojima K., Nishimaki N., Kojima T. // J. Phys. Soc. Japan. – 1961. – Т. 16. – С. 2033.
3. Lüty F. // Z. Physik. – 1961. – Т. 165. – С. 17.
4. Henry C.H. // Phys. Rev. – 1965. – Т. 140. – С. 256.
5. Горбенко П. К. Превращение электронных центров в кристаллах KCl+LiCl / П. К. Горбенко, Н. П. Калабухов, А. А. Ковтун // Украинский физический журнал. – 1973. – Т. 18. – С. 1109–1113.
6. Härtel H. Zur bildung-skinetik der F-folgezentren in KCl / H. Härtel, F. Lüty // Z. Physik. – 1964. – Т. 177. – С. 369–384.
7. Горбенко П. К. Об излучательных и безизлучательных электронных переходах в F-центрах / П. К. Горбенко // Известия вузов. Физика. – 1963. – № 5. – С. 73–75.
8. Исследование радиационных дефектов в кристаллах KCl чистых и с примесью ионов Li^+ и Na^+ / П. К. Горбенко, А. А. Ковтун, А. В. Рогоза, Ю. Е. Шоломий // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2014. – № 2 (73). – С. 29–33.

References

1. Baran N. N. (1968). Dvoynoi elektronno-yadernyi rezonans A-tsentrov v smeshannykh kristallakh KCl+LiCl [Dual electron-nuclear resonance of A-centers in mixed crystals of KCl + LiCl]. *Fizika tverdogo tela – Solid State Physics*, vol. 10, pp. 3005–3010 (in Russian).
2. Kojima K., Nishimaki N., Kojima T. (1961). *J. Phys. Soc. Japan*. Vol. 16, pp. 2033.
3. Lüty F. (1961). *Z. Physik*. Vol. 165, pp. 17.
4. Henry C.H. (1965). *Phys. Rev.* Vol. 140, pp. 256.
5. Gorbenko, P.K., Kalabukhov, N.P., Kovtun, A.A. (1973). Prevrashchenie elektronnykh tsentrov v kristallakh KCl+LiCl [The transformation of electronic centers in KCl+LiCl crystals]. *Ukrainskii fizicheskii zhurnal – Ukrainian Physical Journal*, vol. 18, pp. 1109–1113 (in Russian).
6. Härtel H., Lüty F. (1964). *Zur bildung-skinetik der F-folgezentren in KCl*. *Z. Physik*, vol. 177, pp. 369–384.
7. Gorbenko, P.K. (1963). Ob izluchatelnykh i bezizluchatelnykh elektronnykh perekhodakh v F-tsentrah [On radiation and nonradiative electronic transitions in F centers]. *Izvestiia vuzov. Fizika – Proceedings of universities. Physics*, no. 5, pp. 73–75 (in Russian).
8. Gorbenko, P.K., Kovtun, A.A., Rogoza, A.V., Sholomii, Iu. E. (2014). Issledovanie radiatsionnykh defektov v kristallakh KCl chistykh i s primesiu ionov Li^+ i Na^+ [Investigation of radiation defects in KCl crystals of pure and Li^+ and Na^+]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia “Tekhnichni nauky” – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 2 (73), pp. 29–33 (in Russian).

Anatoliy Kovtun, Andriy Dymerecs

MUTUAL TRANSFORMATION OF ELECTRONIC CENTERS IN IMPURITY ALKALI-HALOIDE CRYSTALS

Urgency of the research. Nowadays, information storage is a very important task. Thus, a new way of recording large amounts of information, when using the minimum storage size will be relevant.

Target setting. Investigate the possibility of recording information in KCl + LiCl crystals, as well as a mechanism that allows doing this.

Actual scientific researches and issues analysis. In the work of N.N. Baran. et al. "Dual electron-nuclear resonance of A-centers in mixed crystals of KCl + LiCl" by the

DENR method confirmed the model of the F_A -center, but the kinetics of the interconversion of $F \rightleftharpoons F_A$ has not been studied sufficiently.

Uninvestigated parts of general matters defining. Theoretically, the mechanism of recording information when converting electronic centers $F \rightleftharpoons F_A$ by using the tunnel effect is understandable, but in reality it has not yet been realized.

The research objective. Experimentally and theoretically investigate the kinetics of mutual conversion of electron centers $F \rightleftharpoons F_A$ in KCl crystals with an admixture of Li^+ ions. In the process of research, it is necessary to show the mechanism of transformation

F centers to F_A -centers, as well as its practical use for recording information.

The statement of basic materials. Experimental and theoretical research of the phototransformation kinetics of $F \rightleftharpoons F_A$ in KCl + 1 mol. % LiCl crystals in a charge are carried out. It is shown that the mechanism of transformation of F -centers to F_A -centers consist in the fact that when the crystals are lighted, the F -centers go over into an excited state and give electrons to the conduction band as a result of electron-phonon interaction. During the lifetime of electrons in the conduction band, free haloid vacancies are stabilized by impurity ions because of diffusion. Then, the stabilized haloid vacancies are transformed to F_A -centers by attaching electrons. It is shown that the filling of nearby haloid vacancies by tunneling of electrons of excited F -centers in the X-rays irradiated (γ -rays) crystals occurs only partially. It is proposed to use the tunnel effect to record information with a focused beam from a quantum light generator. The recorded information can be erased by a defocused light beam.

Conclusions. Proposed mechanism to convert the F -centers in F_A -centers in ionic crystals KCl mixed with cations Li^+ , and the kinetics of this transformation. This mechanism is proposed to be used for recording information.

Key words: F_A -centers; haloid vacancies; quantum yield; tunnel effect; foreign alkaline ions; conduction band; photo-transformation of centers.

Анатолій Ковтун, Андрій Димерець

ВЗАЄМОПЕРЕТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ЦЕНТРІВ У ДОМІШКОВИХ ЛУЖНОГАЛОЇДНИХ КРИСТАЛАХ

Проведені експериментальні та теоретичні дослідження кінетики фотоперетворення $F \rightleftharpoons F_A$ в кристалах KCl + 1 мол. % LiCl в шикті. Показано, що механізм перетворення F -центрів в F_A -центри полягає в тому, що при опроміненні кристалів світлом F -центри переходять в збуджений стан та віддають електрони в зону провідності в результаті електронфононої взаємодії. За час життя електронів в зоні провідності вільні галоїдні вакансії внаслідок дифузії стабілізуються іонами домішки. Потім, приєднуючи електрони, стабілізовані галоїдні вакансії перетворюються в F_A -центри. Показано, що в опромінених рентген-променями (γ -променями) кристалах заповнення сусідніх галоїдних вакансій тунелюванням електронів збуджених F -центрів відбувається тільки частково. Пропонується використовувати тунельний ефект для запису інформації сфокусованим променем від квантового генератора світла. Видаляти записану інформацію можна розфокусованим пучком світла.

Ключові слова: F_A -центри; галоїдні вакансії; квантовий вихід; тунельний ефект; чужорідні лужні іони; зона провідності; фотоперетворення центрів.

Ковтун Анатолій Олексійович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри ІВТФ, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Ковтун Анатолій Алексеевич – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры ИИТФ, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Kovtun Anatoliy – PhD in Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Information and Measurement Technologies and Physics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

Димерець Андрій Віталійович – студент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Дымерец Андрей Виталиевич – студент, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Dymerecs Andriy – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: andrey.dymerecs@gmail.com