

2. Арапов Т.Б. Фото- и термостимулированная люминесценция активаторных центров в NaCl-Ag / Т.Б Арапов, К. Ташкулов, Б. Арапов// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2016. -№4 Ч.5.- С.891-893.

3. Арапов Т.Б. Ионно-диффузионные механизмы тушения свечения радиационно-наведенных центров в ЩГК / Т.Б. Арапов// Международной журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2016.-№7.-ч. 5.- С.783-785.

4. Лущик Ч.Б. Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах / Ч.Б. Лущик, А.Ч. Лущик– Москва: Наука, 1989. -269 с.

УДК 538.113:539.12.04. 548.4

## ЭПР ПЕРВИЧНЫХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В КРИСТАЛЛАХ KCL-AG

*Арапов Т.Б., Орозбаева А.А., Какиев С.З., ОшГУ, Кыргызстан, 723500, г.Ош, ул.Ленина 331, e-mail: arapov\_temir@mail.ru*

Экспериментально изучены и теоретически рассчитаны структуры первичных и промежуточных радиационных дефектов, образующиеся в ходе термической релаксации. Экспериментальные результаты совпадают с теоретически рассчитанными значениями спектра ЭПР парамагнитных дефектов.

**Ключевые слова:** ионные кристаллы, радиационные дефекты, промежуточные дефекты, центры окраски, спектр ЭПР, расщепления.

## EPR PRIMARY AND INTERMEDIATE OF RADIATION DEFECTS IN CRYSTALS KCL-AG

*Arapov T.B., Orozbaeva A.A., Kakiev S.Z., Osh State University. Osh, Kyrgyzstan (723500, Osh, sreet Lenin 331), e-mail: arapov\_temir@mail.ru*

We experimentally studied and theoretically calculated the structure of primary and intermediate radiation defects formed during thermal relaxation. The experimental results are consistent with the theoretically calculated values of the EPR spectrum of paramagnetic defects.

**Keywords:** ionic crystals, radiation defects, defects of the intermediate, color centers, EPR spectrum splitting.

В щелочно-галогенидных кристаллах (ЩГК), легированных ионами  $Ag^+$ , при облучении рентгеновскими лучами образуется ряд электронных и дырочных центров окраски. Применяя различные методы исследования, детально изучены структуры и механизмы образования этих радиационно-наведенных дефектов.

Используя люминесцентные, оптические и электрические методы нами были изучены механизмы термического распада дырочных ( $Ag_c^{++}, V_2, V_{2A}$ ) и электронных ( $F, F_A, Ag_c^0, Ag_a^-$ ) центров и возникновения рекомбинационной люминесценции в облученных рентгеновскими лучами кристаллах KCl-Ag [1-4). Термический распад дырочных и электронных центров окраски в этих кристаллах происходит в трех интервалы температур (для KCl-Ag: I-300-350К, II-350÷410К, III-410÷550К). В этих же интервалах температур наблюдается термостимулированная люминесценция (ТСЛ), спектральный состав который совпадает со спектрам ТСЛ в области термической диффузии  $V_F$  -центров .



Установлено, что в результате взаимодействия  $V_c$  с дырочными  $Ag_c^{++}$ ,  $V_2$  - центрами в начале образуются промежуточные дефекты [1-4]. Затем из этих промежуточных дефектов отщепляются подвижные  $V_F$  и Н –центры, окраски. Образующимся промежуточные продукты взаимодействия неустойчивы и входе термической релаксации быстро распадаются. Поэтому до сих пор не выяснен детальный механизм взаимодействия подвижных  $V_c^-$  с этим дырочными дефектами и не определены структуры промежуточных дефектов.

Для решения этой задачи методом ЭПР нами изучены структуры первичных парамагнитных радиационных дефектов и промежуточных в кристаллах KCl-Ag, а также рассчитаны возможные теоретические значениям проекции магнитных моментов в различных сочетания ядер  $Ag^{109}$ ,  $K^{39}$ ,  $Cl^{35}$  и  $Br^{81}$ , содержащихся в кристалле KCl-Ag.

Значения проекций магнитных моментов для ядра  $Ag_c^+$  равна  $0,26\mu$ , для ядра  $-$ ,  $78\mu$  а для систем ядер и  $(ClBr)_{aa}^-$   $-0,55\mu$  и  $1,04\mu$ , соответственно ( $\mu$ - ядерный магнетон Бора).

Кристаллы KCl –Ag (0,5 моль%) облучались при 290 К рентгеновскими лучами от установками лучами от установки УСР- 55Ф (I=18мА, V=50кИ, трубка БСИ-2, Fe). Для замораживания термически неустойчивых продуктов взаимодействия дырочных центров с  $V_c^-$ , образующихся в ходе термической релаксации кристаллов, образцы резко охлаждались до температуры 120 К. Изменения спектров ЭПР производилось при 125 К на радиаспектрометра Varian,  $\nu= 9,18$ Гц. Напряженность внешнего магнитного поля равна  $3,00\div 3,30$ кГц.

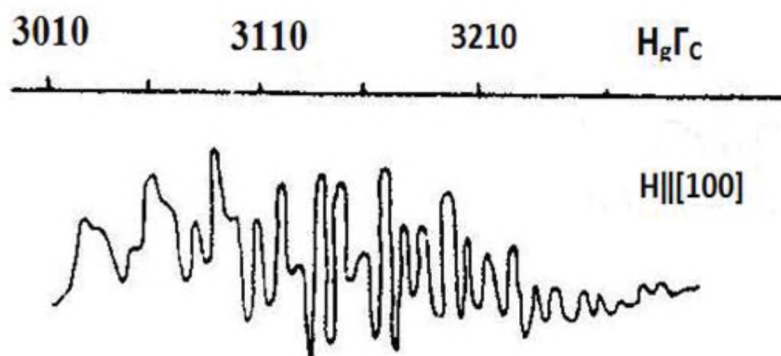


Рис.1. Спектры ЭПР кристалла KCl-Ag (0,5 моль %); Кристалл после рентгенизации нагрет до 350 К, затем быстро охлажден до 125 К и измерен по направлению  $\langle 110 \rangle$

На рис.1 приведены спектры ЭПР первичных дефектов и их продукты взаимодействия  $V_c^-$  в кристалле KCl-Ag. В облученных рентгеновским лучами при 290 К и прогретых в первом интервале температур до 350 К и затем быстро, охлажденных до 125 К кристаллах обнаружен спектр ЭПР, состоящий из 28 эквидистантных линий с  $H=9,5$ Гс при измерении по направлению  $H \parallel \langle 110 \rangle$  оси кристалла (см., рис. 1). Предварительно не прогретых, но охлажденных до 120 К рентгенизированных до 120 К рентгенизированных кристаллах KCl-Ag наблюдаются два вида спектров. В спектре ЭПР измеренном при  $H \parallel \langle 100 \rangle$  проявляется шесть линий, объединенных в две группы по три линии и восемь дублетов. Результаты расчета расщепления спектральных линий ЭПР для отдельных ионов  $Ag_c^+$ ,  $(ClBr)_{aa}^-$  и их совокупности приведены на рис.2. Спектры ЭПР для совокупности указанных дефектов состоят из 28 эквидистантных линий (а). Расщепления линий спектров ЭПР при  $H \parallel \langle 110 \rangle$  на семь линий в каждой группе и постоянной сверхтонкой структуры (СТР) равной 38Гс, обусловлено системой ядер  $(ClBr)_{aa}$  (а). Расщепления линий спектров ЭПР при  $H \parallel \langle 110 \rangle$  на семь линий в каждой групп расщепляются на две линии с постоянной СТС 9,5Гс ядром  $Ag_c^+$ .

(г) и на четыре линии с постоянной СТС также равной 9,5 Гс-ядром  $Ag_c^+$  (г) и на четыре линии с постоянной СТС также равной 9,5 Гс –ядром (б). Кроме того расщепленные 14 линии для дефекта  $[Ag_c^+(BrCl)_{aa}^- V_c^-]$  совпадают с 14 линиями для  $[K_c^+(BrCl)_{aa}^- V_c^-]$  (сравните, б и г рис.2).

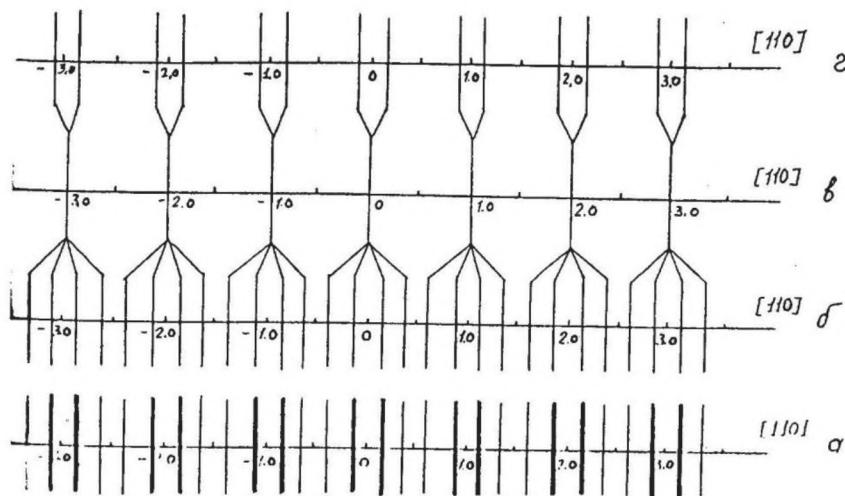


Рис.2. Спектры ЭПР теоретически рассчитанные для дефектов следующего типа:

а)-  $Ag_c^+ + (BrCl)_{aa}^- V_c^-$  и  $K_c^+ + (BrCl)_{aa}^- V_c^-$  б)-  $K_c^+(BrCl)_{aa}^-$  в)-  $(BrCl)_{aa}^-$ ; г)-  $Ag_c^+(BrCl)_{aa}^-$ ;

Поэтому в эксперименте появляются только 28 линий (см.рис.1). Совпадение экспериментальных и теоретически рассчитанных спектров ЭПР дает возможность заключить, что обнаруженных нами спектр ЭПР принадлежит совокупности двух типов парамагнитных дырочных дефектов  $[Ag_c^+(BrCl)_{aa}^- V_c^-]$  и  $[K_c^+(BrCl)_{aa}^- V_c^-]$ , являющихся продуктами взаимодействия  $V_c^-$  с дырочными центрами, которые замораживаются при быстром охлаждении кристалла.

На рис.3 приведены модельные схемы образования и дальнейшего распада промежуточных дефектов в ходе термической релаксации.

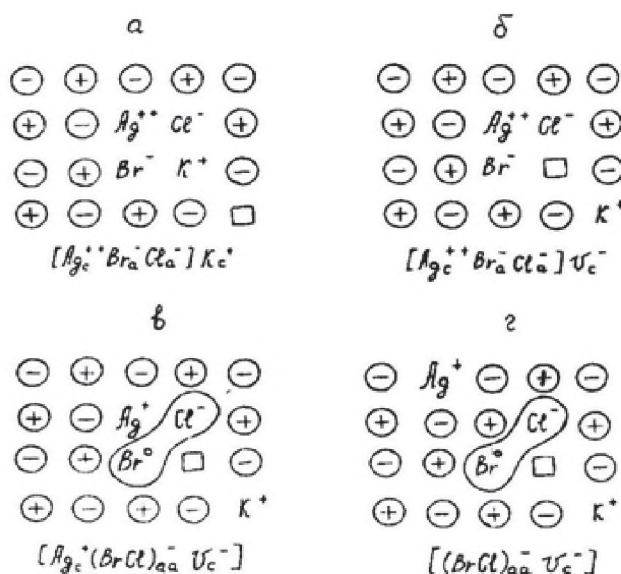
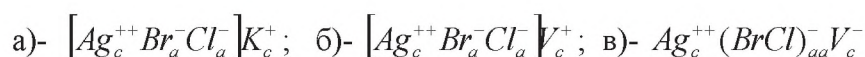
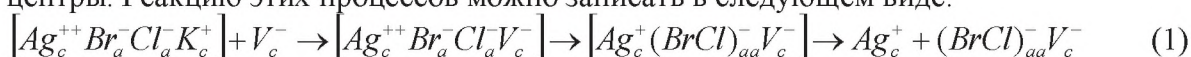


Рис.3. Модельные схемы образования и распада промежуточных дефектов типа:





В ходе нагрева кристалла, если  $V_c^-$  подходит к дефекту типа  $[(Br_a^- Ag_c^{++} Cl_a^- K_c^+)]$  с «калиевыми» концами (а), к пустому узлу переходят ионы  $K_c^+$  и образуются парамагнитные промежуточные дефекты типа  $[Br_a^- Ag_c^{++} Cl_a^- V_c^+]$ . Так как электронное средство  $Br_a^-$  меньше чем  $Cl_a^-$ , поэтому в ходе термической релаксации электроны от иона  $Br_a^-$  перехватывается ионом  $Ag_c^{++}$ . При этом образуется промежуточный дефект типа  $[Ag_c^+ (BrCl)_{aa}^- V_c^-]$  (в). Эти дефекты термически не стабильны и быстро распадаются, образуя подвижные  $V_F$  (Br) - центры. Реакцию этих процессов можно записать в следующем виде:



Если вакансия подходит к дефекту типа  $[Br_a^- K_c^+ Cl_a^- Ag_c^+]_c$  «калиевыми» и «серебряными» концами, тогда образуются дефекты типа  $[K_c^+ Br_a^- Cl_a^- V_c^-]$  за тем  $[Ag_c^+ Br_a^- Cl_a^- V_c^-]$ . Эти промежуточные дефекты также термически не стабильны. В ходе нагрева кристалла они распадаются, также образуя подвижные дефекты типа  $V_c^- (ClBr)_{aa}^-$ . В целом по кристаллу вероятность протекания этих двух процессов одинакова. Поэтому в ходе нагрева кристалла одновременно появляются оба эти промежуточные дефекты:

$[Ag_c^+ (BrCl)_{aa}^- V_c^-]$  и  $[K_c^+ (BrCl)_{aa}^- V_c^-]$ . При экспериментальных измерениях сигнала ЭПР по  $H \parallel <110>$  первый дефект дает 14 линий спектра, а второй - 28 линий. Однако, 14 линиями спектра ЭПР первого промежуточного дефекта совпадают с 14 линиями второго дефекта, поэтому на опыте наблюдаются всего 28 линий спектра ЭПР.

В рентгенизированных, но прогретых до 350 К кристаллах KCl-Ag измерения спектров ЭПР при  $H \parallel <100>$  дает шесть линий, объединенных в две группы по три линии (рис.16). Теоретические расчеты спектров ЭПР показывает, что такие спектры дают центры типа  $[V_c^+ Cl_a^- Ag_c^{++} Br_a^- Ag_c^+]_c$ , которые содержат в своем составе одновременно два иона серебра. Этот комплекс является аналогом  $Ag_c^0$ - центрах в кристаллах KCl-Ag не очищенного от ионов  $Br_a^-$ . Действительно, для таких дефектов спектр ЭПР состоит из шести линий объединенных в две группы. Интервал между двумя группами линий (0,52μ) в двое превышает интервал между линиями ЭПР в каждой группе (0,26μ).

**Выводы:** Из полученных результатов следует, что неочищенных от  $Br_a^-$  кристаллах KCl-Ag (0,50моль %) в ходе термической релаксации в интервале температур 290-350 К с радиационными  $Ag_c^{++}(Br)$ ,  $V_2$  (Br) и  $V_{2A}$  (Br) –центрами взаимодействуют подвижные вакансии  $V_c^-$ , отщепленные от  $Ag_a^- \dots V_c^-$ , превращая их в нестабильные промежуточные дефекты. От них затем отщепляются подвижные дырочные  $V_F$  (Br) –центры, которые приводят к распаду электронных  $F, F_A, Ag_c^0, Ag_a^-$  - центров.

### Список литературы

1. Арапов Б.А., Осмонбаев М.Ч., Камалов С.М.// ФТТ, 1991, Т.33, В.II, С.3158-3162.
2. Арапов Б. Ионные, ионно-дырочные и ионно-электронные процессы распада и взаимопревращения радиационных дефектов в ЩГК [Текст] / Б. Арапов // Дисс. на соиск. докт.физ.-мат.наук, Ош, 1993.
3. Арапов Т.Б. Механизм и кинетика тушения свечения радиационно наведенных центров окраски в ЩГК/Т.Б.Арапов// Диссерт.на соиск... канд.физ.-мат.наук. Ош, 2004
4. Осмонбаев М.Ч. Роль вакансионных дефектов в распаде и преобразовании радиационных центров в кристаллах NaCl и KCl [Текст] / М.Ч.Осмонбаев // Диссерт.на соиск... канд.физ.-мат.наук. Ош, 1996.