

не позволяющим решить уравнение (6) относительно измеряемой величины  $x$  и, следовательно, повысить точность измерений. Однако, если в уравнении (6) некоторые  $a_j = 0$ ,  $j < n$ , то отдельно примененные аддитивный и мультипликативный тесты приводят к повышению точности. В противном случае успеха достигают только совместным применением аддитивных и мультипликативных тестов.

Если в процессе измерения предоставляется возможность отключить измеряемую величину от входа измерительного устройства и вместо нее подать тестовую, то задача повышения точности сводится к классической задаче регрессионного анализа.

В процессе проведения эксперимента, особенно в реальном масштабе времени, важнейшее значение имеет скорость выполнения измерений, поэтому следует отдавать предпочтение алгоритмам повышения точности, требующих применения минимального числа тестов, а также наиболее простых вычислений.

В этом случае решается альтернативная задача определение модели средства измерения во всем динамическом диапазоне перед серией измерений или определения модели на небольшом участке в окрестностях измеряемой величины перед каждым измерением.

Для принятия решения нужна априорная информация о скорости протекания процессов в исследуемой модели, а также о нестабильности средства измерения.

Если компромиссным решением будет отдано предпочтение уточнению модели в узком диапазоне, то большие преимущества имеют итерационные алгоритмы повышения точности, так как приближенные значения корня уравнения всегда определяются по номинальной функции преобразования измерительного устройства

$$x_0 = \varphi_n^{-1}(y_0). \quad (7)$$

#### Список использованных источников

1. Вайсбанд М. Д. Техника выполнения метрологических работ / М. Д. Вайсбанд, В. И. Проненко. – К.: Техніка, 1986. – 168 с.
2. Грановський В. А. Методи обробки експериментальних даних при вимірюваннях / В. А. Грановський. – Л.: Енергоатоміздат. Ленінгр. отд-ние, 1990. – 288 с.
3. Зайдель А. Н. Ошибки измерения физических величин / А. Н. Зайдель. – Л.: Наука, 1974. – 108 с.
4. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. – 248 с.

УДК 535.343.2

**А.А. Ковтун**, канд. физ.-мат. наук

**А.В. Рогоза**, канд. физ.-мат. наук

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### ПРИРОДА И СВОЙСТВА ДЫРОЧНЫХ ЦЕНТРОВ В КРИСТАЛЛАХ KCl ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ

*В статье представлены экспериментальные данные, подтверждающие предположение об очень малой силе осциллятора  $V_K$ – и  $V_F$ –центров в кристаллах KCl высокой чистоты, а также предлагается механизм образования  $V_3$ –центров.*

*У статті приведені експериментальні дані, що підтверджують припущення про дуже малу силу осцилятора  $V_K$ – і  $V_F$ –центрів у кристалах KCl високої чистоти, а також пропонується механізм утворення  $V_3$ –центрів.*

*Experimental data, confirming the hypothesis of a  $V_K$  oscillator very weak force and  $V_F$  centers in high purity KCl crystals, are presented, as well as the mechanism of  $V_3$  centers forming is proposed in the present article.*

**Вступление.** Известно, что в результате облучения монокристаллов щелочно-галогенидных солей рентгеновскими или  $\gamma$  – лучами при температуре жидкого азота образуются  $V_K$  центры. Впервые Кенциг и Вудраф [1; 2] методом электронного парамагнит-

ного резонанса (ЭПР) обнаружили спин-резонансное поглощение этих центров. Хорошее разрешение сверхтонкого расщепления линий ЭПР позволило провести детальный анализ электронной структуры  $V_K$ -центра. Установлено, что  $V_K$ -центр представляет собой молекулярный ион  $X_2^-$ , т. е. автолокализованную дырку, который ориентирован вдоль  $\langle 110 \rangle$  направлений кристалла.

Позднее, методом двойного электронно-ядерного резонанса (ДЭЯР), позволяющим установить структуру дырочных центров, было показано, что  $V_K$ -центр действительно представляет собой автолокализованную дырку [3; 4].

Несмотря на то, что структура  $V_K$ -центров подробно исследована при помощи ЭПР и ДЭЯР, оптический спектр этих центров в чистых кристаллах еще не изучен. Поэтому нами были выращены в платиновом тигле методом Киропулоса кристаллы KCl высокой чистоты путем двойной перекристаллизации шихты в полностью химически обессоленной воде.

**Методы и результаты.** На рисунке 1 представлен спектр оптического поглощения чистого кристалла KCl после четырехчасового облучения рентгеновскими лучами при температуре жидкого азота. В спектре оптического поглощения нами обнаружена только электронная F-полоса поглощения (рис. 1).

В силу закона электронейтральности кристалла в последнем, кроме F-центров, возникают  $V_K$ -центры, оптическое поглощение которых в пределах точности прибора нами не замечено. Следовательно, ранее наблюдаемые дырочные полосы оптического поглощения в так называемых «чистых» кристаллах KCl [5-7] естественно связаны с дырками, локализованными около неконтролируемой примеси.

Действительно, при введении в чистые кристаллы KCl ионов  $Li^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mn^{2+}$  нами наблюдались дырочные полосы (рис. 2).

Эти дырочные полосы оптического поглощения уже появлялись в кристалле при введении очень малых концентраций примеси (порядка 0,01 мол. % соответствующей хлористой соли в шихте).

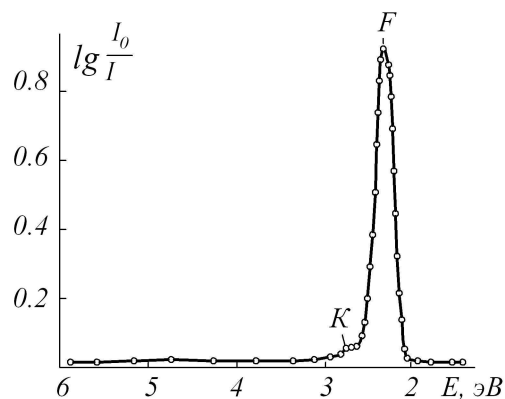


Рис. 1. Спектр оптического поглощения чистого кристалла KCl после 4-х часового облучения рентгеновскими лучами при температуре 77 К

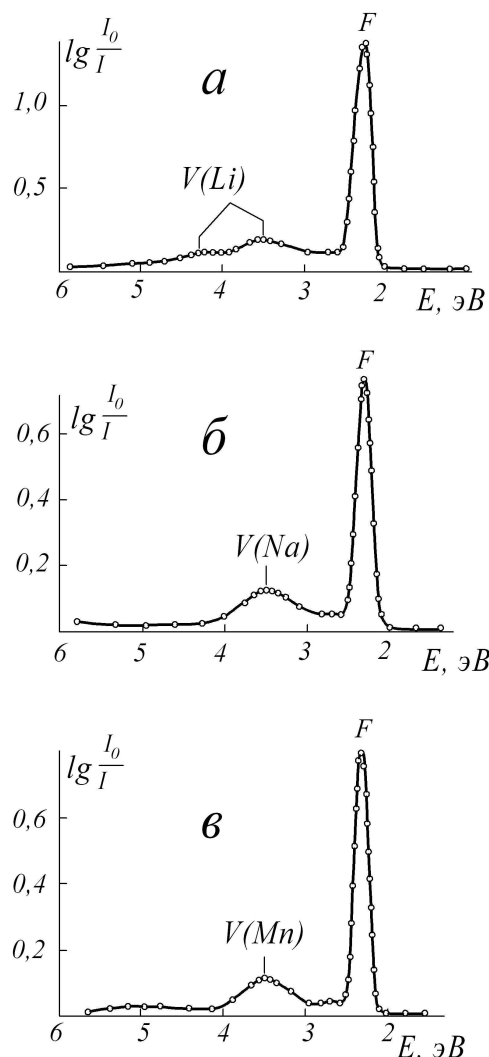


Рис. 2. Спектры оптического поглощения кристаллов KCl с примесью ионов  $Li^+$  (а),  $Na^+$  б,  $Mn^{2+}$  (в). Ионы примеси введены в кристалл путем добавления в шихту 1 мол. % соответствующей хлористой соли. Спектры сняты при температуре 77 К

Авторы работы [7] провели анализ ЭПР  $V_K$ -центров после облучения кристаллов KCl светом соответствующем длине волны  $\lambda = 365$  нм и поляризованным в направлении  $\langle 110 \rangle$  кристалла. Установлено, что большинство  $V_K$ -центров приняли в кристалле соответствующую ориентацию. Оптическими методами поглощение  $V_K$ -центров, а следовательно, и их дихроичные свойства, не замечено. Теоретический расчет, изложенный в работе [8], показывает, что максимум полосы поглощения  $V_K$ -центров в кристаллах KCl соответствует длине волны  $\lambda = 365$  нм. Исходя из результатов эксперимента с кристаллами высокой чистоты, и принимая во внимание результаты исследования Делбека, Смаллера и Юстера [8], а также теоретический расчет [9], можно заключить, что сила осциллятора  $V_K$ -центров очень мала. Этот вывод подтверждает предположение авторов работ [6; 7].

Методом ЭПР установлено, что температура делокализации  $V_K$ -центров в чистых кристаллах KCl соответствует 130К [7; 9]. Эта температура была определена в нашей лаборатории оптическими методами [10].

На рисунке 3 (кривая а) представлен спектр оптического поглощения чистого кристалла KCl после облучения рентгеновскими лучами при температуре 77 К в течение двух часов.

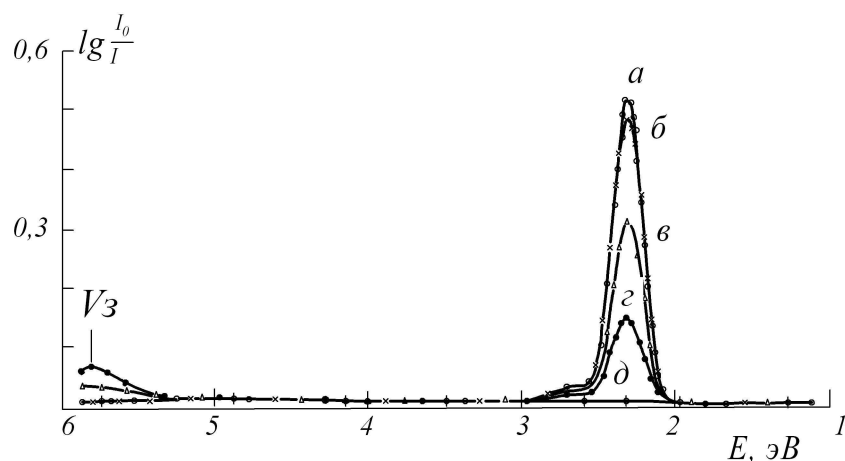


Рис. 3. Спектры оптического поглощения чистого кристалла KCl:  
*a* – после облучения рентгенлучами в течение 2-х часов при температуре жидкого азота;  
*б, в, г, д* – после нагревания соответственно до температур 183 К, 278 К, 353 К, 493 К.  
 Спектры измеряны при температуре 77 К

В результате нагревания этого кристалла до температуры 183 К F-полоса частично (~ 8 %) термически обесцветилась (рис. 3, кривая *б*). Уменьшение концентрации F-центров сопровождалось пиком термолюминесценции (~ 130 К) (рис. 4).

Методом накопления F-центров методами [10] показано, что в результате рекомбинации электронов F-центров с дырками вследствие диффузии  $V_K$ -центров образуются изолированные галоидные вакансии.

Основная же доля дырок, освобождаемых термически из  $V_K$ -центров, локализуется на собственных дефектах решетки, представляющих собой более глубокие дырочные уровни захвата. Известно, что под действием квантов большой энергии (рентгеновские,  $\gamma$ -лучи) генерируются свободные галоидные и щелочные вакансии.

Следовательно, преимущественная часть  $V_K$ -центров локализуется на вакансиях щелочного металла, образуя при этом  $V_F$ -центры [10]. Отсюда ясно, что в результате облучения кристалла рентгеновскими или  $\gamma$ -лучами концентрация образовавшихся щелочных вакансий не меньше концентрации F-центров.

После нагревания кристалла до температуры близкой комнатной в спектре оптического поглощения (рис. 3, кривая *в*) наблюдается уменьшение интенсивности F-полосы, сопровождаемое люминесценцией (максимум люминесценции соответствует ~240 К (рис. 4).

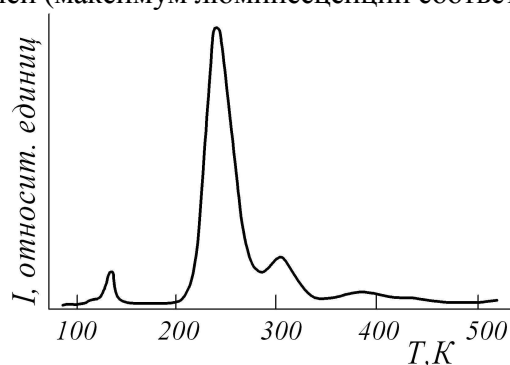


Рис. 4. Кривая термовысвечивания чистого кристалла KCl, рентгенизованного при температуре 77 К. Скорость нагрева образца 12 град./мин

В этом случае в кристалле проявляется ионно-электронный процесс, в результате которого исчезают изолированные свободные галоидные вакансии [10]. Это объясняется тем, что в рассматриваемом температурном интервале наблюдается диффузия  $V_K$ -центров, следствием которой является частичное уменьшение концентрации F-центров.

Отсутствие изолированных свободных галоидных вакансий в кристалле указывает на то, что в результате аннигиляции F- и  $V_F$ -центров образуются нейтральные пары, т. е. мы получили еще одно подтверждение того, что в состав  $V_F$ -центра входит щелочная вакансия. Оптическое поглощение  $V_F$ -центров, как и  $V_K$ -центров, в пределах точности прибора в измеряемом нами интервале частот, не обнаружено (рис. 3, кривая б). Вероятно, сила осциллятора  $V_F$ -центров тоже очень мала.

На рисунке 3 (кривая в) видно, что при нагревании кристалла KCl, облученного рентгеновскими лучами при температуре жидкого азота, до температуры 278 К в спектре оптического поглощения появляется  $V_3$ -полоса (212 нм). Появление этой полосы, сопровождаемое пиком люминесценции (~ 240 К) на кривой термовысвечивания (рис. 4), указывает, как упоминалось ранее, на диффузию  $V_F$ -центров. Следовательно, дырочные  $V_3$ -центры, возникающие в процессе диффузии  $V_F$ -центров, могут представлять собой продукт объединения  $V_F$ -центров или продукт захвата этих центров дефектами кристаллической решетки, например, щелочными и галоидными вакансиями. Если бы  $V_3$ -центры представляли собой продукт объединения  $V_F$ -центров со щелочными и галоидными вакансиями, тогда  $V_3$ -центры должны были быть парамагнитными, т. к. суммарный их спин в этом случае должен отличаться от нуля. Нами и другими исследователями [19] не удалось обнаружить сигнал ЭПР  $V_3$ -центров, поэтому, вероятнее всего, что  $V_3$ -центры возникают в результате парного объединения  $V_F$ -центров друг с другом.

Концентрация  $V_3$ -центров продолжает возрастать при нагревании кристалла до 353 К (рис. 3, кривая з). На кривой термовысвечивания (рисунок 4) в температурном интервале 280-353 К наблюдается пик термолюминесценции, а в спектре поглощения (рис. 3, кривая з) уменьшение концентрации F-центров.

Понятно, что освободившиеся  $V_F$ -центры, диффундируя по кристаллу, частично исчезают в результате электронно-дырочной рекомбинации, а остальные, слипаясь, образуют  $V_3$ -центры.

Исследования показывают, что параметры  $V_3$ -полосы меняются с изменением температуры, т. е. сильно проявляется электрон-фононное взаимодействие центров, которым соответствует  $V_3$ -полоса поглощения (рис. 5). Это указывает, что  $V_3$ -полосу нужно связывать с оптическим поглощением молекулярных центров.

Кристалл термически полностью обесцвечивается, если его нагреть до температуры 493 К (рис. 3, кривая д).

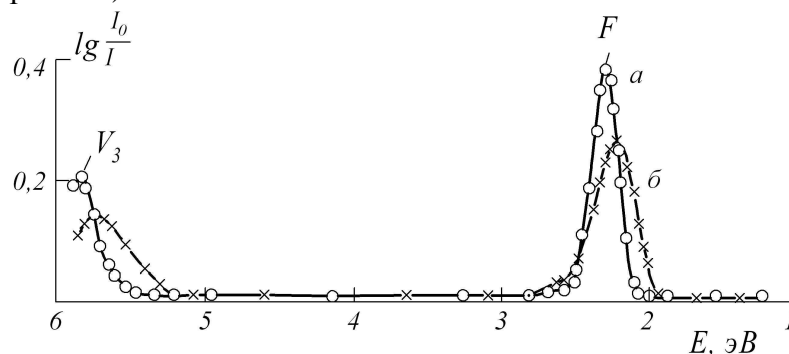


Рис. 5. Спектры оптического поглощения чистого кристалла KCl, облученного рентгеновским излучением при комнатной температуре: а — измерен при 77 К, б — измерен при комнатной температуре

При указанной температуре могут иметь место параллельно различные механизмы рекомбинации электронов и дырок, локализованных на собственных дефектах решетки [11]. Можно предположить, что обесцвечивание кристалла происходит путем термической диссоциации  $V_3$ -центров на  $V_F$ -центры, которые диффундируя по кристаллу, сближа-

ються с F- центрами или в результате диффузии  $V_3$  –центров, вследствие чего и происходит электронно-дырочная рекомбинация. Термическое обесцвечивание может еще происходить путем термоионизации F- центров в результате которой осуществляется рекомбинация электронов с  $V_3$  –центрами. Не исключена возможность третьего механизма электронно-дырочной рекомбинации, заключающегося в осуществлении обоих вышеупомянутых процессов.

Таим образом, под действием  $\gamma$ - излучения ( $Co^{60}$ ) или рентгеновского излучения в кристаллах KCl происходят сложные ионно-электронные процессы, в результате которых образуются электронные и дырочные центры.

#### Список использованных источников

1. W. Känzig. Phys. Rev., 99,1890, 1955.
2. W. Känzig, O.T. Woodruff. Phys. Chem. Sol., 9, 70, 1958.
3. R. Gazzinelli, R.L. Miehler. Phys. Rev., 175,395,1968.
4. D.F. Daly, R.L. Miehler. Phys. Rev., 175, 412,1968.
5. D. Dutton, R. Maurer. Phys. Rev., 90, 126,1953.
6. T. Castner, W. Känzig. J. Chem. Sol., 3, 178, 1957.
7. C.J. Delbecq, B. Smaller, P.H. Yuster. Phys. Rev., 111, 1235, 1958.
8. E.F. Gucker, Yelvetika Phys. Acta, 41,493,1968.
9. Пунг Л. А. Температурная стабильность автолокализованных дырок в некоторых щелочногалогенидных монокристаллах / Л. А. Пунг, Ю. Ю. Халдре // Известия АН СССР. Серия. Физика. – 1966. – № 30. – С.1446-1447.
10. Горбенко П. К. Природа и свойства дырочных центров кристаллов KCl / П. К. Горбенко, А. А. Ковтун // ФТТ. – 1971. – Т. 13.
11. Адуев Б. П. Температурная зависимость радиационно-индуцированной проводимости кристаллов CsI при возбуждении пикосекундными пучками электронов / Б. П. Адуев, Э. Д. Алукер, В. Н. Швайко, В. М. Фомиченко // ФТТ. – 2001. – Т. 43, вып. 7. – С. 1185-1188.

УДК 681.325

**М.І. Козленко**, канд. техн. наук

Приватний вищий навчальний заклад “Галицька академія”, м. Івано-Франківськ, Україна

### ЯКІСТЬ ЦИФРОВОЇ ДЕМОДУЛЯЦІЇ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ З КЕРОВАНОЮ ЕНТРОПІЄЮ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА КОМП’ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

*Проведено дослідження залежності відношення сигнал/завада на виході демодулятора від такого відношення на його вході при цифровому опрацюванні широкосмугових сигналів з керованою ентропією в розподілених комп’ютерних та телекомунікаційних системах. Отримано кількісні показники завадостійкості для сигналів з базою 17 дБ.*

**Ключові слова:** широкосмуговий сигнал, керована ентропія, комп’ютерна система.

*Проведено исследование зависимости отношения сигнал/помеха на выходе демодулятора от такого отношения на его входе при цифровой обработке широкополосных сигналов с управляемой энтропией в распределенных компьютерных и телекоммуникационных системах. Получены количественные показатели помехоустойчивости для сигналов с базой 17 дБ.*

**Ключевые слова:** широкополосный сигнал, управляемая энтропия, компьютерная система.

*Noise proof feature index of the variable entropy spread spectrum signals digital demodulation in form of dependences of the signal/noise ratio at the demodulators input and output has been obtained. Noise proof feature index has been obtained for 17 dB base signals.*

**Key words:** spread spectrum signal, variable entropy, computer system.

**Вступ.** Одним з найгостріших питань надійного функціонування розподілених телекомунікаційних і комп’ютерних систем та мереж загального та спеціального призначення є стабільність та якість обміну даними. Як правило, завадозахищеність передачі даних у сучасних умовах забезпечується використанням широкосмугових сигналів [1; 2]. Традиційні методи формування широкосмугових сигналів мають низку недоліків, зокрема,