

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ОКРАСКИ ПОГЛОЩЕННОЙ ЭНЕРГИИ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛАХ

Б. А. КОНОНОВ, О. Б. ЕВДОКИМОВ

(Представлена научным семинаром физико-технического факультета)

Введение

При прохождении электронов через вещество энергия их уменьшается, поэтому можно ожидать различия в распределении потерь энергии электронного пучка и распределения изменений свойств. Вообще представляло бы интерес сравнение пространственного изменения того или иного свойства по длине кристалла с пространственным распределением тех потерь энергии вдоль пути электронов, которые принимают непосредственное участие в изменении данного свойства и могут быть измерены. В частности, сравнение такого рода возможно через сопоставление потерь энергии быстрых электронов на ионизацию с изменением числа F -центров вдоль пути потока электронов. При этом концентрация F -центров должна быть в пределах первой стадии их накопления, когда образование новых вакансий за счет упругого взаимодействия с ядрами вещества еще несущественно и основным процессом является заполнение имеющихся в кристалле анионных вакансий медленными электронами, образующимися в процессе ионизации атомов кристалла.

Ниже сообщаются результаты таких опытов для кристаллов NaCl и LiF.

Экспериментальные исследования и результаты

Кристаллы NaCl и LiF облучались коллимированным пучком электронов с энергией 6 Мэв из бетатрона. Экспозиционная доза контролировалась проходной камерой на входе в коллиматор. Камера откалибрована цилиндром Фарадея, который на время калибровки ставился на место кристалла.

Исследуемый кристалл с размерами $30 \times 18 \times d$ мм³ (где толщина кристалла $d = 1,5-2$ мм) ставился вдоль пучка электронов по центру коллиматора, с боков примыкали два кристалла того же вещества (размеры $30 \times 18 \times 15$ мм³) для уменьшения утечки быстрых электронов из кристалла и удобства измерения распределения поглощенной энергии. После облучения кристалл ставился вместе со специальной кареткой в кюветную камеру спектрофотометра СФ-4 перпендикулярно пучку света. На входе в кюветную камеру устанавливалась дополнительная щель шириной 1 мм и высотой 2 мм вблизи каретки с кристаллом. Измерение распределения коэффициента поглощения в максимуме

F-полосы производилось перемещением каретки с помощью специального микрометрического винта с ценой деления 10 мк в направлении, перпендикулярном пучку света.

Методика измерения распределения поглощенной энергии ионизационным методом заимствована из [1]. Применялась миниатюрная ионизационная камера со стенками из материала исследуемого кристалла. Размеры камеры составляли $20 \times 18 \times 16$ мм³, больший размер ставился вдоль пучка электронов. Рабочий объем камеры $2 \times 2 \times 1$ мм³ находился в центре передней стенки камеры. Измерение распределения ионизации производилось в тех точках, в которых в дальнейшем измерялось распределение величины коэффициента поглощения α_F в максимуме F-полосы.

На рис. 1 приведено относительное распределение α_F по глубине кристалла NaCl (кривая 1) (максимуму окраски соответствует $\alpha_F = 3,3$ см⁻¹) и распределение поглощенной энергии в тех же точках (кривая 2). Совмещение кривых 1 и 2 условно произведено в максимуме 2. Так как кривые 1 и 2 на рис. 1 не совмещаются, то отсюда следует отсутствие пропорциональности между величиной коэффициента поглощения α_F и, следовательно, между плотностью числа F-центров и величиной ионизации по глубине кристалла. Такой же результат наблюдается при энергиях электронов $E = 9$ Мэв и 3 Мэв для кристаллов NaCl, а также для LiF и KBr при $E = 6$ Мэв. На рис. 2 приведены данные для LiF, $E = 6$ Мэв.

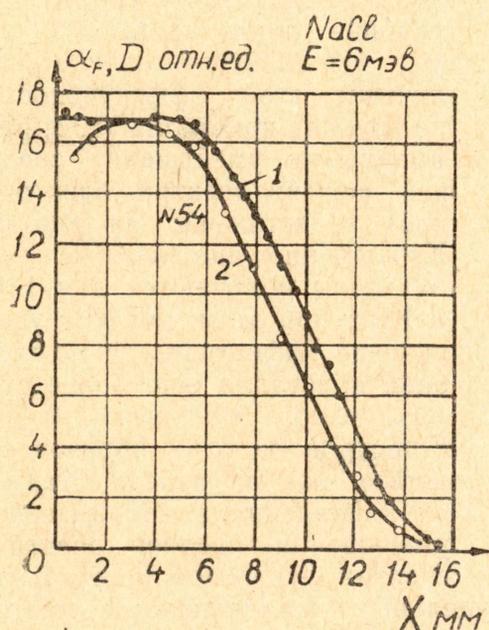


Рис. 1. Распределение относительной величины коэффициента поглощения в максимуме F-полосы (кривая 1) и поглощенной энергии, измеренной ионизационным методом по глубине кристалла (кривая 2) NaCl.

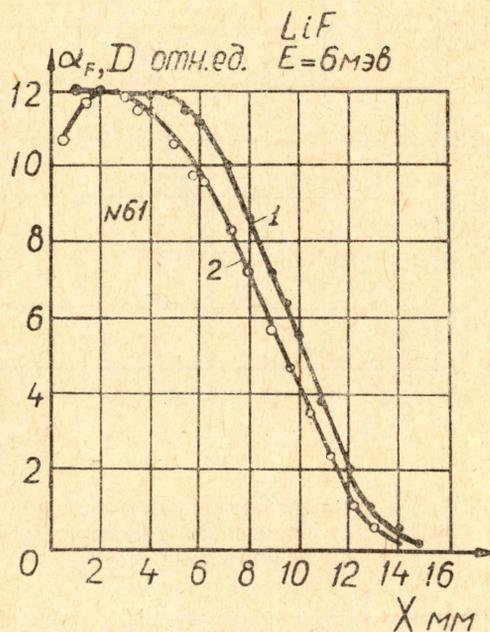


Рис. 2. Распределение относительной величины коэффициента поглощения в максимуме F-полосы (кривая 1) и поглощенной энергии по глубине кристалла (кривая 2) LiF.

Обсуждение результатов

Отсутствие пропорциональности между концентрацией ионов и плотностью образовавшихся F-центров (коэффициент поглощения) может быть вызвано рядом причин. К ним следует отнести влияние

интенсивности (распределение которой в относительных единицах характеризует кривые 2 на рис. 1 и 2), различные в среднем направлении электронов по отношению к кристаллической решетке на разных глубинах кристалла и явления, связанных с изменением энергетического состава электронов по глубине. Согласно [2] при уменьшении числа падающих на поверхность кристалла электронов в единицу времени наблюдается снижение эффективности образования F -центров на первой стадии накопления. Это дает основание полагать, что наблюдаемое отклонение от пропорциональности плотности F -центров от плотности ионов по глубине кристалла не связано с влиянием интенсивности, так как кривая 1 на рис. 1 и 2 идет выше кривой 2.

Влияние изменения угла между траекториями быстрых электронов и кристаллической решеткой, очевидно, исключено, так как роль смещений атомов на рассматриваемой стадии окрашивания не существенна.

Каждой точке кристалла при данной энергии первичных электронов и данной геометрии опыта однозначно соответствует определенный спектр электронов. С углублением потока электронов в кристалл уменьшается средняя энергия электронов в спектре и становится больше

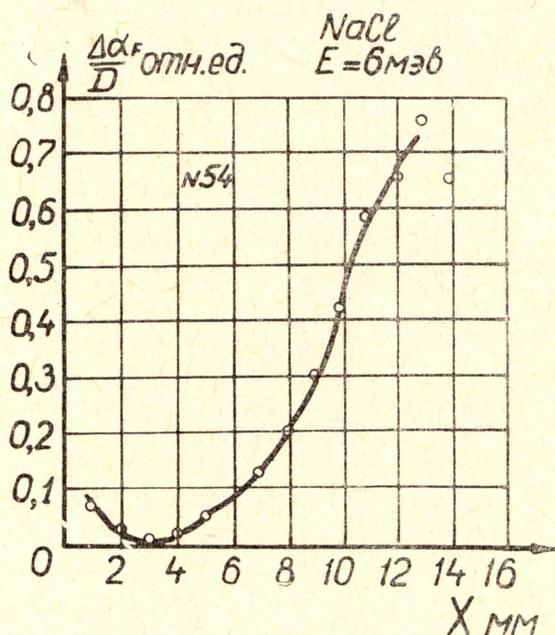


Рис. 3. Относительное увеличение эффективности образования F -центров по глубине кристалла NaCl.

медленных. В этом же направлении нами обнаружено увеличение эффективности образования числа F -центров на единицу объема в расчете на образовавшийся ион, относительное распределение которых по глубине дают кривые 2 на рис. 1 и 2. Относительное увеличение этой эффективности по глубине кристалла (т. е. направлении уменьшения средней энергии спектра электронов) представлено на рис. 3. Качественно аналогичные результаты получаются для LiF и KBr; при этом для KBr увеличение эффективности по глубине кристалла еще более существенно. Большое число F -центров на один образовавшийся ион на первой стадии их накопления в направлении уменьшения средней энергии спектра электронов может быть

вызвано рядом причин. Увеличение удельных ионизационных потерь может привести к тому, что

а) при увеличении dE/dx роль тепловых явлений в треке в разбивании связок вакансий возрастает быстрее, нежели увеличиваются числа ионов на единицу объема;

б) то же самое и за счет участия потерь энергии электронов на возбуждение и увеличение доли этих потерь в общих ионизационных потерях.

Ожидать же увеличения вероятности захвата медленных электронов анионной вакансией при увеличении dE/dx пока оснований нет.

С целью качественной проверки предположений а) и б) проведено измерение распределения поглощенной энергии по кристаллу сцинтилляционным методом.

Предварительные результаты получены в отличной от предыдущей геометрии. Диаметр парафинового коллиматора 40 мм. Миниатюрная камера заимствована из [1]. При измерении сцинтиляционным методом воздушный объем камеры заменяется (воздухоэквивалентным) пластмассовым сцинтилятором на основе полистирола + 2% п/терфенила + 0,1% РОРОР. Световой поток отводился плексигласовым световодом длиной 20 см в ФЭУ-12, помещенному за свинцовой защитой.

Фототок фотоумножителя измерялся гальванометром. На рис. 4 приведены результаты измерения распределения поглощенной энергии сцинтиляционным (кривая 1) и ионизационным (кривая 2) методами в идентичных условиях. В органических сцинтиляторах сцинтиляционный процесс обусловлен возбуждением его молекул, так что световой поток пропорционален потере энергии электронов на возбуждение молекул с поправкой на нелинейность световых выходов от энергии при малых значениях энергии электронов.

Таким образом, кривая 2 рис. 4 характеризует относительное распределение потерь на ионизацию, кривая 1 характеризует с точностью до линейности световых выходов от энергии электронов относительное распределение потерь на возбуждение. Введение поправки за счет снижения удельного световых выходов при малых энергиях электронов приведет, естественно, к подъему кривой 1.

Эта поправка будет тем больше, чем глубже в кристалле рассматриваемая точка. Точная величина поправки требует знания спектра электронов на различных глубинах кристаллов.

Взаимное положение кривых 1 и 2 на рис. 4 говорит в пользу того предположения, что потери энергии электронов на возбуждение атомов вещества участвуют в процессе образования F -центров, по крайней мере при малых плотностях F -центров. Взаимное положение кривых 1 и 2 наводит на мысль о том, что при понижении энергии электронов происходит возрастание доли потерь на возбуждение в общих ионизационных потерях электронов.

Выводы

1. Распределение плотности F -центров по глубине щелочно-галогидных кристаллов в пределах первой стадии их накопления не совпадает с распределением ионов, образовавшихся в результате облучения быстрыми электронами.

2. Наблюдаемое явление может быть объяснено участием потерь энергии электронов на возбуждение в процессе образования F -центров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. А. Кононов, В. Н. Руденко. Сборник трудов конференции «Действие излучений на свойства материалов», Новосибирск, вып. 2, 1963.
2. W. A. Sibley, E. Sonder, J. Appl. Phys. 34, № 8, 2366, 1963.

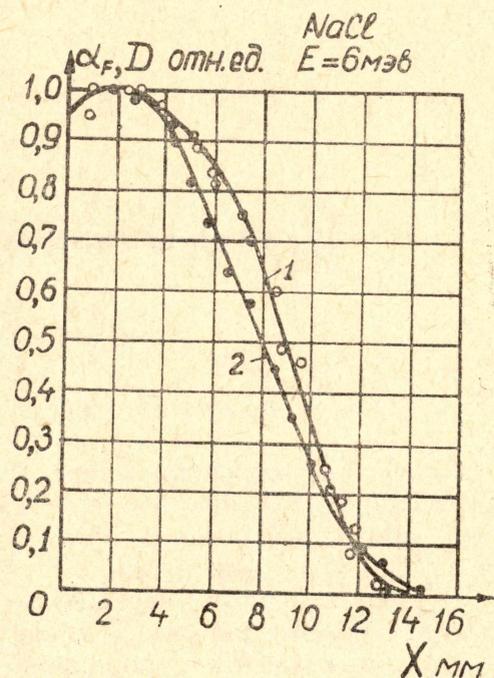


Рис. 4. Распределение поглощенной энергии по кристаллу, измеренное сцинтиляционным (кривая 1) и ионизационным методами (кривая 2).