

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФОРМАЦИОННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

В. В. Коршунов, Ф. Д. Сенчуков, С. З. Шмурак

В предыдущих работах [1–3] было показано, что при деформации окрашенных щелочно-галлоидных кристаллов имеет место свечение – деформационная люминесценция. Процесс деформационной люминесценции проходит в две стадии. Дислокации, движущиеся под действием внешнего напряжения, освобождают из F -центров электроны, которые затем рекомбинируют на центрах свечения – ионах Cu^{++} .

В настоящей работе изучаются временные характеристики свечения, анализ которых подтверждает предложенный в [4] микромеханизм взаимодействия дислокаций с F -центрами.

Исследования проводились на кристаллах KBr ($2 \cdot 10^{-4}\%$ Cu) и KCl ($1,6 \cdot 10^{-3}\%$ Cu). Образцы окрашивались γ -лучами на источнике Co^{60} , доза облучения $2 \cdot 10^5$ рад. Деформация кристаллов осуществлялась импульсами механического напряжения длительностью (на уровне 0,5) 50 мксек. Для получения импульсного нагружения была разработана установка, в которой нижним пуансоном является магнитострикционный преобразователь с намотанной на него катушкой [5]. Пропускание через катушку тока вызывает удлинение преобразователя и деформацию образца.

Регистрация свечения осуществлялась малошумящими фотоумножителями ФЭУ-77, катодным повторителем и осциллографом С1-37 или С1-42. Второй канал осциллографа С1-42 использовался для регистрации импульса механического напряжения, при этом применялся метод, основанный на регистрации двулучепреломления, возникающего при одноосной деформации кристалла [5]. Каналы люминесценции и двулучепреломления разделялись при помощи светофильтров.

При изучении свечения окрашенных кристаллов, инициированного импульсами механического напряжения, обнаружено, что имеется зависимость временных параметров импульса деформационной люминесценции (фронт нарастания, положение максимума) от величины внешнего напряжения. Импульсы свечения окрашенных кристаллов KBr , полученные при различных величинах импульсов механического напряжения, представлены на рис. 1. Из рисунка видно, что при напряжениях $\sigma_{\text{max}} \sim 20$ г/мм² всплеск деформационной люминесценции имеет один максимум I. Такой вид всплеска сохраняется до напряжений $\sigma_{\text{max}} \sim 40$ г/мм². При $\sigma_{\text{max}} < 40$ г/мм² свечение разгорается после снятия механического напряжения, максимум деформационной люминесценции наблюдается через $\tau_3 \sim 200$ мксек, уже после того как механическое напряжение достигает максимума (τ_3 – время задержки). Увеличение напряжения приводит к возникновению на импульсе свечения еще одного пика II. Его максимум перемещается с увеличением нагрузки, приближаясь к положению

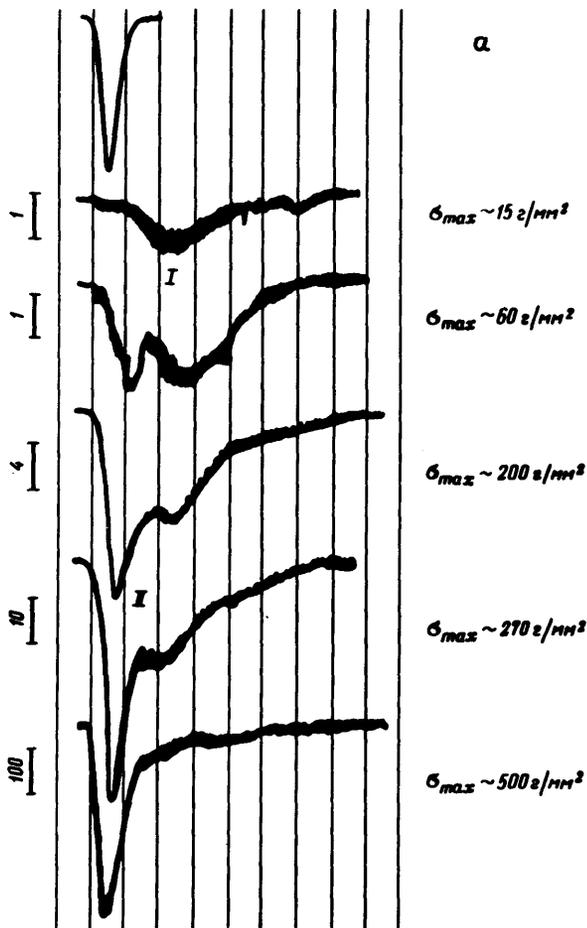


Рис. 1, а. Зависимость формы импульса деформационной люминесценции от величины нагрузки. Кристалл КВг
1 дел = 100 мксек. Верхний импульс — импульс механического напряжения

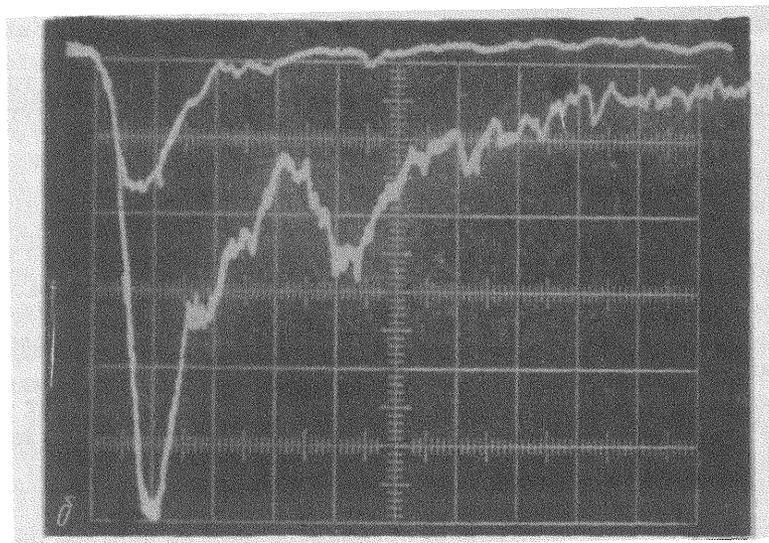


Рис. 1, б. Импульсы механического напряжения (верхняя кривая) и деформационной люминесценции, полученные для кристалла КС1 1 дел = 50 мксек. ($\sigma_{max} = 200 \text{ г/мм}^2$)

максимума внешнего напряжения. При больших нагрузках $\sigma_{max} > \sigma_y$ (σ_y – предел упругости)¹⁾ время задержки для пика II равно 10–20 мксек. Положение первого максимума практически не меняется при всех уровнях механического напряжения. Интенсивность пика II растет с увеличением нагрузки и при больших напряжениях становится значительно больше пика I.

Аналогичные закономерности в поведении всплеска свечения наблюдаются при деформации кристаллов KCl. Однако, даже при малых нагрузках $\sigma_{max} \sim 40 \text{ г/мм}^2$ всплеск деформационного свечения имеет два максимума примерно равной интенсивности. τ_3 для пика I в кристаллах KCl равно $\sim 170 \text{ мксек}$. Увеличение нагрузки, как и для кристалла KBr, приводит к перераспределению интенсивностей двух максимумов – второй становится больше первого. При больших нагрузках интенсивность максимума II – I_{max}^{II} примерно в 5 раз больше I_{max}^I .

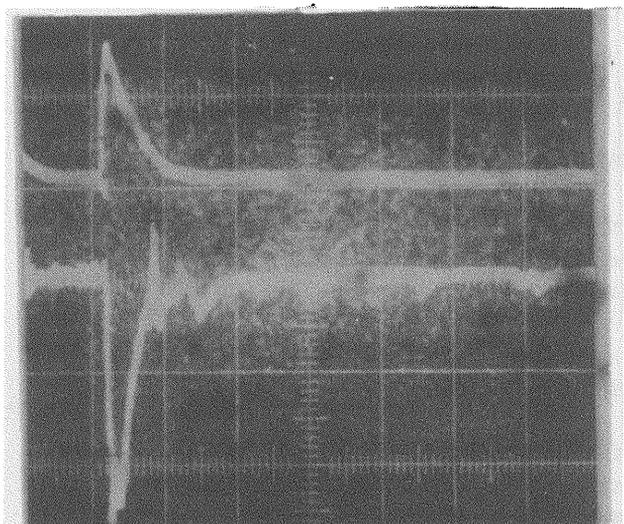


Рис. 2. Импульсы F-света (верхняя кривая) и F-стимулированной люминесценции для кристалла KBr (1 дел = 50 мксек)

Спектры люминесценции первого и второго пиков свечения с точностью до ошибки эксперимента совпадают и соответствуют спектру внутрицентровой люминесценции ионов меди.

Механизм эволюции формы всплеска свечения можно понять, разобравшись в микромеханизме взаимодействия дислокаций с F-центрами.

При взаимодействии дислокации с F-центром электрон в принципе может попасть в зону проводимости, а затем рекомбинировать на центре свечения. Для осуществления этого акта требуется энергия 2 эв. Возможность реализации указанного механизма можно проверить следующим образом.

При освещении окрашенного кристалла F-светом, происходит освобождение F-электронов в зону проводимости. Освобожденные электроны рекомбинируют затем с излучением на центрах свечения. Таким образом, при освещении окрашенного кристалла F-светом, удастся смоделировать процесс рекомбинации электронов, локализованных на центрах захвата, с центрами свечения через зону проводимости.

¹⁾ Для кристаллов KBr $\sigma_y = 250 \text{ г/мм}^2$.

На рис. 2 представлены осциллограммы импульсов возбуждающего F -света ($\lambda_{max} = 630 \text{ нм}$) и люминесценции ($\lambda = 400 \text{ нм}$). (Аналогичные результаты получены для кристаллов KCl). Из сравнения рис. 1 и 2 видно, что имеется существенное различие в процессах развития люминесценции в случае деформационной люминесценции при малых σ и F -стимулированного свечения, что показывает несостоятельность указанной выше модели. Наличие пика I свидетельствует о том, что при освобождении F -электрона дислокацией имеется промежуточное состояние (возможно, захват в дислокационную зону), в котором пребывает электрон до рекомбинации на центре свечения. (Существование локализованных состояний, связанных с дислокациями, предсказывалось в ряде работ, например [6]).

Электрон, захваченный в одномерную дислокационную зону, может перемещаться вдоль дислокации под действием кулоновского притяжения, создаваемого центром свечения — ионах Cu^{++} . Наличие на дислокациях в щелочно-галогидных кристаллах заряженных ступенек [7] сильно замедляет движение электрона в дислокационной зоне. Этим, вероятно, и определяется большое время разгорания деформационной люминесценции при малых σ .

В то же время, из анализа возможных микромеханизмов освобождения дислокациями электронов из F -центров [4] следует, что при всех величинах механического напряжения наиболее вероятным является захват F -электрона в дислокационную зону. Поэтому пик II, возникающий при больших механических напряжениях, а значит и больших скоростях дислокаций, связан, по-видимому, с доставкой электронов движущимися дислокациями к центрам свечения.

Таким образом, F -электрон, захваченный в дислокационную зону может перемещаться вдоль дислокации, а также двигаться по кристаллу при движении дислокации вместе с ней.

Если скорость движения дислокации V_d меньше, чем эффективная скорость движения электрона вдоль дислокации V_e , то кинетику люминесценции будет определять первый процесс. Эта ситуация, по-видимому, реализуется при малых напряжениях в образце (рис. 1, а). Действительно, как видно из рис. 1 интенсивность свечения продолжает увеличиваться после прекращения нагружения кристалла (пик I), когда дислокации уже не движутся.

При возрастании напряжения происходит увеличение скорости движения дислокаций. При выполнении условия $V_d > V_e$ доминирующим становится второй микромеханизм — доставка электронов к центрам свечения определяется, в основном, переносом электронов движущимися дислокациями (пик II).

Если указанные предположения верны, то из анализа формы импульса люминесценции можно в принципе определить параметры дислокационной зоны.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность В.Л.Броуде, В.Я.Кравченко и В.Л.Покровскому за плодотворные дискуссии и ценные советы.

Институт физики
твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
10 марта 1971 г.

Литература

- [1] С.Э. Шмурак, М.Б.Элиашберг. ФТТ, 9, 1818, 1967.
 - [2] С.З.Шмурак. ФТТ, 10, 1934; 1968.
 - [3] Ф.Д.Сенчуков, С.З.Шмурак. ФТТ, 12, 9, 1970.
 - [4] С.З.Шмурак. Автореферат канд. диссертации, М., 1969.
 - [5] В.В.Коршунов, Ф.Д.Сенчуков, С.З.Шмурак. ПТЭ, №1, 1971.
 - [6] P.R.Emtage. Phys. Rev., 163, 865, 1967.
 - [7] А.А.Урусовская. УФН, 96, 39, 1968.
-