

Ф. Д. СЕНЧУКОВ, С. З. ШМУРАК

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДЕФОРМАЦИОННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РАЗВИТИЯ ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ В ИОННЫХ КРИСТАЛЛАХ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 21 I 1972)

В работах (¹⁻³) было показано, что свечение, возникающее при деформации фотохимически окрашенных щелочно-галогидных кристаллов (деформационная люминесценция) имеет дислокационную природу. Дислокации, перемещаясь в окрашенном образце под действием внешнего напряжения, освобождают из центров окраски электроны, которые рекомбинируют затем с дырками, локализованными на центрах свечения. Метод деформационной люминесценции использовался в дальнейшем для изучения динамических характеристик движения дислокаций (^{3, 4}).

В настоящей работе предлагается способ применения метода деформационной люминесценции для изучения геометрии развития дислокационной структуры при пластической деформации.

Ранее было показано (⁴), что деформационное свечение обладает свойством «памяти»: движение дислокаций по пути, уже освобожденному ими от центров окраски, не приводит к возникновению люминесценции. В то же время известно, что пластическая деформация — это результат движения и размножения дислокаций. Поэтому из анализа зависимости интенсивности деформационной люминесценции от степени деформации можно сделать вывод о том, происходит ли движение дислокаций во время деформации в одной или соседних плоскостях скольжения.

Эксперименты проводились на закаленных кристаллах KCl, выращенных методом Киропулоса. Окрашивание образцов осуществлялось при облучении γ -квантами, доза облучения 2×10^5 рад. Регистрация свечения, возникающего при деформировании окрашенных кристаллов, производилась фотоумножителем ФЭУ-79 и потенциометром ЭППВ 60 МЗ. Кристаллы размером $5 \times 5 \times 15$ мм³ деформировались с постоянной скоростью (скорости перемещения пуансонов машины были равны 50, 200, 500 м/мин).

На рис. 1 представлены зависимости интенсивности деформационной люминесценции от степени деформации $I = I(\epsilon)$ при различных скоростях нагружения $\dot{\epsilon}$. Видно, что при $\dot{\epsilon} = 50$ м/мин $I(\epsilon)$ вначале быстро увеличивается с ростом степени деформации, а затем достигает насыщения и практически не изменяется вплоть до разрушения образца. Другая зависимость $I(\epsilon)$ наблюдается при больших скоростях деформации ($\dot{\epsilon} = 200$ и 500 м/мин). В этом случае $I(\epsilon)$ имеет максимум, причем с увеличением скорости деформации максимум свечения сдвигается в сторону меньших деформаций.

Если (при постоянной скорости деформации) интенсивность деформационной люминесценции не изменяется с увеличением ϵ при пластической деформации кристалла, то из сказанного выше следует, что при малых скоростях деформации в исследованных кристаллах дислокации движутся в «новых» плоскостях скольжения (для одной и той же системы скольжения) на расстояниях r больших, чем сечение освобождения дислокациями

F -центров. Поэтому при малых ϵ можно определить значение r . Величина r для кристаллов KCl равна $\sim b$ (²). Определение r производилось при $\epsilon = 50 \mu/\text{мин}$.

Известно, что во всех случаях развитие дислокационной структуры при пластической деформации происходит посредством образования полос скольжения и их «бокового» роста, в результате многократного поперечного скольжения (⁵, ⁶). Поэтому экспериментальные зависимости $I = I(\epsilon)$ (рис. 1) позволяют сделать следующие выводы.

При малых скоростях деформации практически нет движения рождающихся дислокаций в плоскостях скольжения, освобожденных от центров окраски уже прошедшими дислокациями. Этот вывод требует постоянного расширения полос скольжения, их бокового роста, во всяком случае на исследованном нами участке деформации (до $\epsilon = 12\%$).

Расширение полос скольжения при пластической деформации кристалла отмечено в ряде работ (⁵, ⁶), в которых для выявления дислокаций применялся метод избирательного травления.

При больших скоростях нагружения зависимость $I = I(\epsilon)$ имеет максимум, что свидетельствует о том, что в этом случае имеет место движение новых дислокаций по уже опустошенному от центров окраски пути. (При этом расстояние между некоторыми полосами скольжения должно быть меньше, чем сечение освобождения дислокациями F -центров — r , т. е. меньше b .) Естественно ожидать, что в этом случае ширина полос скольжения будет уже и плотность дислокаций в них будет больше, чем при медленном нагружении. Это также находится в согласии с экспериментами, выполненными с использованием методики травления.

Пусть число квантов света Σ , излученных при деформации кристалла до 10% со скоростью $\epsilon = 50 \mu/\text{мин}$, равно 1. Тогда из анализа экспериментальных данных (рис. 1) следует, что Σ при $\epsilon = 200$ и $500 \mu/\text{мин}$ будут соответственно равны 0,82 и 0,72. Значит, при этих значениях ϵ по новым плоскостям скольжения движется соответственно в 1,22 и 1,4 раза меньше дислокаций, чем при $\epsilon = 50 \mu/\text{мин}$.

Таким образом, метод деформационной люминесценции может быть применен для изучения развития дислокационной структуры. Достоинство предлагаемого способа заключается в том, что исследование проводится в процессе деформации кристалла, кроме того, разрешение предлагаемого метода примерно равно постоянной решетки; и, наконец, исследование развития дислокационной структуры можно проводить до больших деформаций.

В заключение отметим, что кривая деформации не является абсолютно монотонной — на ней имеются выбросы, возникновение которых связано, по-видимому, с размножением дислокаций при деформации. Аналогичные немонотонности, как отмечалось в (⁷), имеются и на зависимости $I(\epsilon)$ (рис. 1). Однако их величина значительно больше, поэтому характер сбросов удобнее исследовать по изменению деформационной люминесценции от деформации.

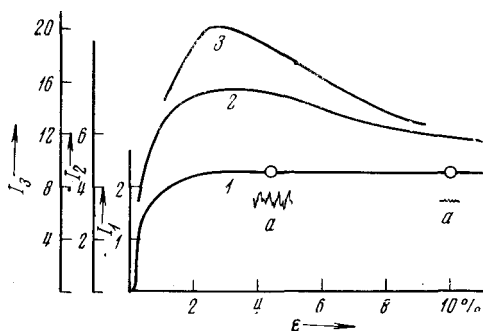


Рис. 1. Зависимость интенсивности деформационной люминесценции от деформации при различных скоростях нагружения ϵ , $\mu/\text{мин}$: 1 — 50, 2 — 200, 3 — 500; а — увеличенные в 2 раза фрагменты кривой 1, выделенные кружками

Авторы выражают глубокую благодарность А. Иванову за помощь в проведении экспериментов, В. Л. Броуде и Э. М. Надгорному за плодотворные дискуссии.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР
Черноголовка Моск. обл.

Поступило
10 I 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ С. З. Шмурак, М. Б. Элиашберг, ФТТ, 9, 1818 (1967). ² Ф. Д. Сенчуков, С. З. Шмурак, ФТТ, 12, № 1, 9 (1970). ³ С. З. Шмурак, ФТТ, 10, 1934 (1968). ⁴ Ф. Д. Сенчуков, С. З. Шмурак, ДАН, 190, 77 (1970). ⁵ J. J. Gilman, Progr. Ceramic. Sci., 1, 146 (1961). ⁶ Э. Ю. Гутманас, Э. М. Надгорный, ФТТ, 12, 939 (1970). ⁷ A. S. Kruglov, El-Schanshoury, M. K. Matta, J. Phys. Soc. Japan, 21, 2147 (1966).