

КООПЕРАТИВНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ДЕФЕКТОВ, ВВОДИМЫХ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ В КРИСТАЛЛЫ СУЛЬФИДА КАДМИЯ

В.Д.Негрий, Ю.А.Осипьян

Обнаружено кооперативное поведение создаваемой при пластической деформации кристаллов CdS системы переориентирующихся дипольных центров, в результате чего следы дислокаций при рассмотрении их в поляризованном излучении в интервале температур 77 – 6К имеют доменную структуру, существенно зависящую от уровня оптического возбуждения.

Ранее нами сообщалось, что в процессе низкотемпературной пластической деформации кристаллов CdS образуются специфические дефекты кристаллической решетки, которые обнаруживают себя свечением в зеленой области спектра фотолюминесценции в виде следов двигавшихся в кристалле дислокаций. Пьезоспектроскопия этого излучения позволила обнаружить шестикратное ориентационное вырождение дефектов и определить их группу симметрии (C_s)¹.

В работе использован метод пространственно разрешенной фотолюминесценции, который позволял наблюдать и регистрировать распределение излучения кристалла в узких спектральных интервалах во времени и пространстве.

Источником межзонного возбуждения фотолюминесценции служил He – Cd-лазер ($\lambda = 4416\text{Å}$) непрерывного действия мощностью 10 мВт. Были использованы кристаллы CdS, выращенные из газовой фазы и обладающие малой интенсивностью примесного излучения в области $\lambda \geq 500$ нм. Образцы размером $2 \times 2 \times 0,5$ мм³ помещались в оптический криостат, снабженный устройством для деформации, и при 77К подвергались одноосному сжатию вдоль направления типа $\langle 1\bar{1}00 \rangle$, параллельного длинному ребру кристалла, до появления на его излучающей грани типа $(11\bar{2}0)$ характерных полос, являющихся следами двигавшихся в направлении $\langle 1\bar{1}00 \rangle$ дислокаций и светящихся в диапазоне 505 – 515 нм. После инициирования движения отдельных дислокаций кристалл разгружался и при последующих наблюдениях находился в свободном состоянии. На рис. 1 представлена фотография участка 300×300 мкм² излучающей в диапазоне $\lambda = 500 - 515$ нм при 77К поверхности кристалла, содержащего следы дислокаций. Их прерывистый характер связан как с деградацией этого излучения при отогревании и непродолжительной выдержке кристалла при 300К, так и с "выгоранием" отдельных участков следов дислокаций при облучении фокусированным пучком лазера с плотностью мощности ≥ 200 Вт/см² в области температур 77 – 6К. Ось С кристалла лежит в плоскости рисунка и направлена перпендикулярно следам дислокаций. Показанное на фото распределение неполяризованного дислокационного излучения в соответствии с выбранными условиями возбуждения имеет постоянный во времени и пространстве характер. Однако, наблюдение этого излучения в поляризации, когда вектор электрического поля света E составляет с осью С примерно угол $45 \pm 5^\circ$ или $-45 \pm 5^\circ$, привело к обнаружению ярко выраженной нестационарности, которая проявляется в том, что изучение следов приобретает характер мерцаний. При этом сплошные в неполяризованном свете участки следов в поляризованном предстают в виде отдельных независимо мерцающих отрезков, "доменов", количество которых с течением времени может скачкообразно как увеличиваться так и уменьшаться. При отклонении вектора E от указанных направлений нестационарный характер излучения становится менее заметным, а при $E \perp C$ и $E \parallel C$, как и в случае без поляризатора, не обнаруживается. (Напомним что экситонное и примесное излучение вблизи края поглощения имеет поляризацию $E \perp C$, которая обусловлена симметрией электронных состояний, формирующих запрещенную зону CdS). Понижение температуры кристалла от 77 до 6К при слабом возбуждении приводит к увеличению дины "доменов" и уменьшению частоты их мерцаний. Аналогичной и даже более сильной по сравнению с ее температурной зависимостью является зависимость частоты мерцаний от уровня опти-

ческого возбуждения. При 6К и малом уровне возбуждения, когда мерцания были достаточно редки, прямым наблюдением было установлено, что погасанию доменов в одной из указанных поляризаций однозначно соответствует их разгорание в другой поляризации, и наоборот.

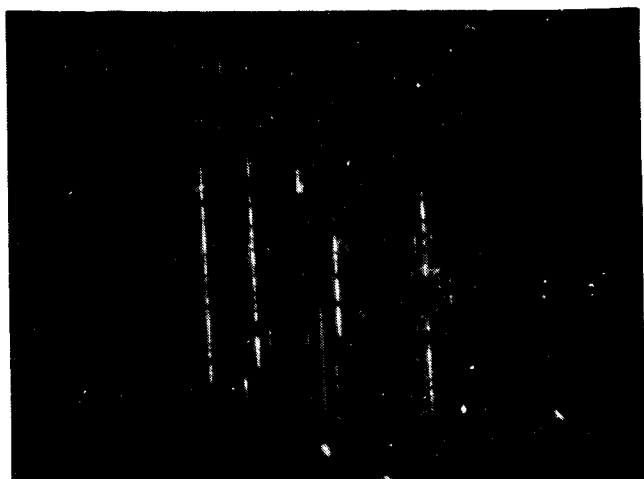


Рис.1

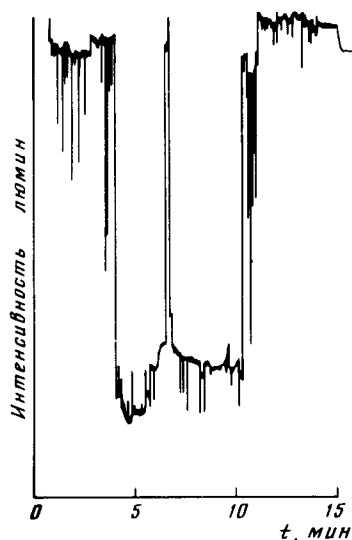


Рис.2

Рис. 1. Фотография излучающей поверхности кристалла, содержащего следы двигавшихся дислокаций.

Рис. 2. Фрагмент временной зависимости интенсивности поляризованного излучения одного из доменов следа дислокации при 6К

На рис. 2 показан фрагмент зависимости интенсивности поляризованного излучения во времени одного из доменов длиной около 50 мкм при 6К и $\lambda = 5105 \pm 0,7 \text{ \AA}$, выделенный с помощью монохроматора ДФС-12. Время срабатывания регистрирующей аппаратуры (ФЭУ-79, система счета фотонов, автоматический потенциометр) составляло 0,3 сек. Таким образом, отдельные выбросы и скачкообразные изменения интенсивности люминесценции на диаграмме при стационарном фотовозбуждении кристалла в каждом случае свидетельствуют о резкой переориентации, примерно на 90° , вектора электрического поля поляризованного излучения на всей длине выделенного домена или его части.

Что касается спектра фотолюминесценции наблюдаемых дефектов ¹, то для обеих поляризаций излучения существенного различия в спектральном положении отдельных линий не обнаружено.

Несмотря на первопричинную роль двигавшихся в кристалле дислокаций в наблюдаемых явлениях мы считаем, что их влиянием на отмечаемые свойства появившейся в кристалле системы дефектов кристаллической решетки в данном случае можно пренебречь, а указанные особенности люминесценции объяснить коллективным поведением дефектов, которое осуществляется посредством диполь-дипольного взаимодействия между ними. Такой вывод основывается на следующем.

Поляризационные особенности фотолюминесценции (степень поляризации, ориентация) позволяют утверждать, что она обусловлена линейными излучающими осцилляторами, ориентация дипольных моментов переходов которых определяется асимметрией атомной структуры дефектов кристаллической решетки. Это находится в соответствии с нашими данными по пьезоспектроскопии наблюдаемого излучения ¹. Поскольку спектр электронных состояний на исследуемых дефектах близок к спектру состояний электронов на хаоти-

чески распределенных в кристалле донорно-акцепторных парах, мы полагаем, что наблюдаемые дефекты представляют собой дипольные центры, состоящие из близко расположенных донора и акцептора. Такие центры, обладая достаточно малыми размерами, могут переориентироваться на значительные углы путем туннелирования одной его составной части, вероятнее всего междоузельного атома, через потенциальный барьер в соседние эквивалентные положения. Симметрия решетки CdS разрешает туннельные переходы с разворотом центра на 120° в проекции на базисную плоскость. Однако, учитывая наклонное расположение оси дефекта к оси С кристалла и геометрию эксперимента, регистрируемый угол переориентации должен быть близким к 90° .

Таким образом, мы приходим к выводу, что нестационарность поляризованного излучения следов дислокаций связана с переориентацией дипольных центров, а их пространственная неоднородность, т. е. доменная структура, является результатом кооперативного поведения центров, обусловленного диполь-дипольным взаимодействием^{2,3}. Сильная зависимость характера доменной структуры от уровня оптического возбуждения может быть связана с изменением вероятности туннелирования центров, находящихся в возбужденном состоянии, а также с эффектами экранирования. Масштаб кооперативного поведения дефектов, интенсивность и тонкая структура спектра их излучения позволяют считать, что мы имеем дело с хорошо организованной системой дефектов. Несомненно, что исследование наблюдаемого явления представляет интерес для понимания как процессов упорядочения в твердых телах, так и механизма пластической деформации полупроводниковых кристаллов.

Литература

1. Негрий В.Д., Осипьян Ю.А. ФТТ, 1982, 24, 344.
2. Вугмейстер Б.Е., Глинчук М.Д. ЖЭТФ, 1980, 79, 947.
3. Fischer B., Klein M.W. Phys. Rev. Lett., 1976, 37, 756.