

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПЛАСТИЧЕСКУЮ ДЕФОРМАЦИЮ КРИСТАЛЛОВ ZnSe

Ю. А. Осипьян, В. Ф. Петренко

Обнаружено явление сильного упрочнения (до 100%) монокристаллов ZnSe в постоянных электрических полях. Исследованы зависимости эффекта от температуры и величины приложенного напряжения. Явление связывается с изменением состояния электронной подсистемы кристалла.

Ранее нами был наблюден и исследован эффект обратимого влияния света на пластическую деформацию полупроводников (фотопластический эффект) [1 – 5]. Оказалось, что изменение состояния электронной подсистемы кристалла, происходящее под действием света, приводит к изменению условий для движения дислокаций и, как следствие этого, к резкому упрочнению кристалла. Для подтверждения этой модели было весьма заманчивым попытаться изменить состояние электронной системы кристалла каким-либо иным путем, например, с помощью электрического поля, и проследить, окажет ли это влияние на пластическую деформацию. Настоящая работа посвящена описанию подобных экспериментов, в результате которых был наблюден эффект влияния электрического поля на пластическую деформацию полупроводниковых кристаллов. Монокристаллы ZnSe *n*-типа со структурой сфалерита, были выращены из расплава и имели удельное сопротивление $10^7 \div 10^{10}$ ом·см. Образцы для деформации вырезались в форме тонких пластин $0,3 \times 4 \times 8$ мм³, с широкой гранью (110). С обеих сторон образца в центре широких граней наносились токоподводящие контакты из In, Ag или Cu₂Se, который является полупроводником *p*-типа и образует с ZnSe гетеропереход [6]. Индиевые контакты вплавлялись в водородной атмосфере при температуре 500 – 600°C. Серебряные контакты либо напылялись, либо приклеивались серебряной пастой. Слой Cu₂Se на поверхности ZnSe выращивался по методике, описанной в работе [6]. Площадь контактов составляла около 5 мм², их суммарная толщина не превышала несколько микрон. Пластическая деформация осуществлялась трехточечным изгибом при температурах от 40 до 210°C. Расстояние между нижними опорами составляло 5 мм. Деформация проводилась с постоянной скоростью сближения опор 3 мк/мин. Активно деформируемая область располагалась при этом между двумя контактами. Величины электрического напряжения достигали 2,4 кВ, что соответствует средним полям порядка 10^5 в/см. На рис. 1 изображена диаграмма деформации пластинки In – ZnSe – Ag. На участке пластического течения в момент (1) было включено напряжение 1,2 кВ (+ на Ag контакте). В момент (2) напряжение было выключено. В моменты (3) и (4) включалось и выключалось напряжение противоположной полярности. Как видно из рис. 1 при приложении электрического поля образец сильно упрочняется и пластическое течение вновь устанавливается лишь при нагрузках пре-

вышающих предел текучести на 100%. При выключении поля упрочнение снимается. Аналогичное явление мы наблюдали при деформации пластинок, имевших всевозможные комбинации контактов In, Ag и Cu_2Se . Максимальный эффект наблюдался для систем Ag-ZnSe-In (около 100%) и $Cu_2Se-ZnSe-In$ (около 60 ÷ 70%) при приложении отрицательного потенциала к In. Минимальный эффект упрочнения в несколько процентов наблюдался для систем In-ZnSe-In. Наиболее воспроизводимые результаты были получены для пластинок Ag-ZnSe-Ag с контактами из серебряной пасты. Поэтому основные измерения были проведены для таких образцов, хотя эффект на них был не столь велик (20 ÷ 40%). На рис. 2 изображена температурная зависимость эффекта.

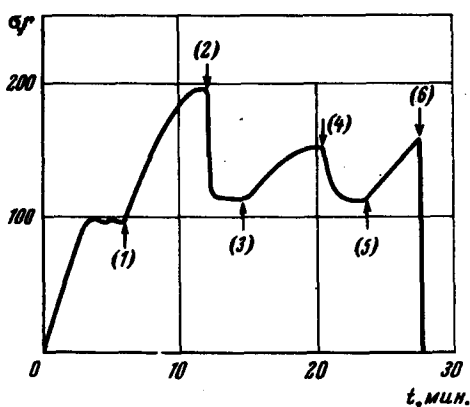


Рис. 1. ЭПЭ в образце Ag-ZnSe-In, $T = 105^\circ C$

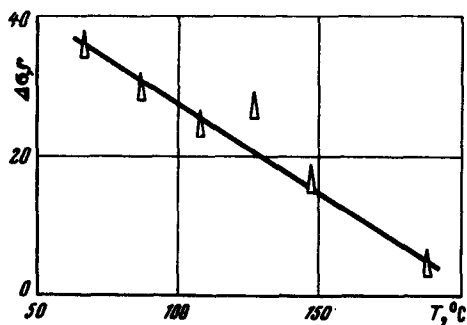


Рис. 2. Температурная зависимость эффекта для образца Ag-ZnSe-Ag

Упрочнение за счет поля, понижаясь с ростом температуры T , исчезало при температурах $T \approx 200^\circ C$, что на $80 \div 100^\circ$ ниже температуры теплового гашения фотопластического эффекта в ZnSe. Для всех образцов существовало пороговое напряжение, ниже которого эффект не наблюдался. Для напряжений выше порогового эффект быстро увеличивался с увеличением напряжения. Величина порогового напряжения и ход возрастания от образца к образцу несколько отличались. При включении напряжения $\approx 2 \kappa \theta$ в области упругой деформации возрастание

механических напряжений не наблюдается. Токи через образцы при напряжениях возбуждающих эффект менялись от $10^{-7} a$ (для систем $Ag-ZnSe-Ag$) до $5 \cdot 10^{-5} a$ (для систем $In-ZnSe-In$). Наименьшим сопротивлением обладали контакты из In , сделать которые полностью омическими нам, тем не менее, не удалось. Эффект наблюдался также в переменных полях для частот ≤ 10 кГц, однако был существенно меньше. Например, для частот 3,7 кГц, он был меньше, чем в постоянном поле в 10 раз. На некоторых образцах как в упругой, так и в пластической области деформации, в момент включения поля наблюдалось скачкообразное падение механических напряжений, независящее от полярности напряжения и слабо зависящее от его величины. Этот скачок разупрочнения исчезал после нескольких последовательных включений поля. Можно полагать, что он связан с коллективным выбросом дислокаций на поверхность образца из приповерхностных слоев в момент включения поля. В электрических полях, возбуждающих эффект, величина возникающего упрочнения намного превосходит величину таких скачков разупрочнения. Видимой электролюминесценции в исследованных образцах наблюдать не удалось. Отсутствие упрочнения в упругой области, существование порогового напряжения и независимость его от полярности для симметричных систем (например, $Ag-ZnSe-Ag$) позволяет исключить из сферы рассмотрения такие явления, как тепловой нагрев и пьезоэлектричество.

Возможным механизмом наблюдаемого явления может являться изменение состояния электронной подсистемы кристалла путем инжекции из контакта в объем не основных носителей, аккумуляции основных носителей и т. д. или путем ионизации точечных центров в сильных электрических полях. В настоящее время проводятся эксперименты, направленные на выяснение механизма эффекта.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
4 апреля 1973 г.

Литература

- [1] Ю.А.Осипьян, И.Б.Савченко. Письма в ЖЭТФ, 7, 130, 1968.
- [2] Ю.А.Осипьян, В.Ф.Петренко, И.Б.Савченко. Письма в ЖЭТФ, 13, 622, 1971.
- [3] Ю.А.Осипьян, И.Б.Савченко. ФТТ, 14, 1993, 1972.
- [4] Ю.А.Осипьян, В.Ф.Петренко. ЖЭТФ, 63, 1735, 1972.
- [5] Ю.А.Осипьян, В.Ф.Петренко. Проблемы физики соединений $A_{II}B_{VI}$ т. II 330, Вильнюс, 1972.
- [6] M. M. Aven, D. A. Cusano. J. Appl. Phys., 35, 606, 1964.