

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ КРИСТАЛЛОВ СУЛЬФИДА ЦИНКА

П. А. Берлов, М. Ф. Буланый, В. И. Клименко,
С. А. Омельченко, А. Я. Якунин

Эксперименты по изучению влияния внешнего электрического поля на пластические свойства кристаллов ZnS позволили установить, что движущиеся при деформировании образцов дислокации обладают электрическим зарядом, линейная плотность которого составляет $0.6\text{--}1.3$ $e/\text{узел}$ вдоль линии дислокации (e — заряд электрона) [1, 2].

Долгое время вне поля зрения оставался важный вопрос о наличии и величине заряда неподвижных дислокаций. Однако в работе [3] в результате исследований деформационных изменений спектров ЭПР фоточувствительных парамагнитных центров в ZnS было обнаружено влияние электрического поля неподвижных дислокаций на зарядовое состояние ионов хрома и железа. В результате были определены размеры ридовских цилиндров, а также проведена нижняя оценка величины линейной плотности заряда неподвижной дислокации $q \geq 0.25$ $e/\text{узел}$.

Очевидно, что электростатическое взаимодействие внешнего электрического поля и заряженных дислокаций может привести к их перемещению. По величине стартового значения напряженности электрического поля можно непосредственно и, следовательно, более точно, чем в [3], определить величину заряда неподвижных дислокаций. С другой стороны, хорошо известно, что в процессе пластической деформации кристаллов сульфида цинка происходит необратимый структурный переход из метастабильных форм микродвойников и политипов в устойчивую при $T < 1024$ °C кубическую 3С-структуру [4]. Было доказано, что перестройка кристаллической решетки происходит во всем объеме деформируемых образцов ZnS , вследствие движения частичных дислокаций. Ясно, что перемещение частичных дислокаций в кристаллах ZnS под действием электрического поля должно приводить одновременно и к их деформированию, и к соответствующим изменениям структуры.

Настоящая работа посвящена исследованию этих эффектов.

1. Исследованы кристаллы $ZnS : Mn, Al$, выращенные по методу Бриджмена в атмосфере аргона при давлении 150 атм, имеющие структуру политипа 6Н. Концентрация марганца, являющегося структурночувствительным парамагнитным зондом, составляла $\sim 10^{-1}$ вес.%. Удельное электрическое сопротивление образцов $\rho = 1.7 \cdot 10^{17}$ Ом·см, диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 8.3$.

Электрическое поле, создаваемое источником напряжения ВС-23, прикладывалось к кристаллам в направлении $[10\bar{1}1]$ и $[1\bar{2}10]$ непосредственно в резонаторе радиоспектрометра ЭПР. Образцы в виде пластинок толщиной 0.1—1 мм через тонкий слой слюды прижимались двумя плоскими электродами в специальной ячейке, заполненной конденсаторным маслом. Ячейка, закрепленная на держателе с подводными проводами, помещалась в резонатор. Для проведения ЭПР измерений использовался радиоспектрометр SE/X-2543.

Известно, что спектр ЭПР примесных ионов Mn^{2+} однозначно отражает реальную структуру кристаллов сульфида цинка. Это связано с тем, что ионы Mn^{2+} с одинаковой вероятностью замещают Zn^{2+} как в участках кристалла со структурой сфалерита, так и в областях дефектов упаковки (ДУ).

Регистрируя вызванные внешними воздействиями изменения линий спектров ЭПР ионов Mn^{2+} , находящихся в узлах с локальной симметрией C_3 , (область ДУ) и T_d (область сфалерита), можно с высокой точностью определять даже очень малые вариации структуры исследуемых кристал-

лов. Так, метод ЭПР был успешно использован для изучения процессов движения частичных дислокаций, приводящих к переориентации структуры кристаллов ZnS при пластической деформации [5-7]. Подобная методика была применена в настоящей работе.

2. Наблюдения проводились за изменением двух идентичных линий «центральных» переходов ($M=1/2$, $m=-5/2$) спектров ионов Mn^{2+} , находящихся в ДУ и кубических областях кристалла ZnS. Известно, что при ориентации кристалла в магнитном поле $H \perp [111]$ вследствие угловой зависимости «центрального» перехода ЭПР ионов Mn^{2+} в узлах симметрии C_3 , эти линии регистрируются отдельно от линий марганца в узлах симметрии T_d . В исходных кристаллах определенная по спектрам ЭПР доля объема, занимаемая ДУ, составляла $\sim 32\%$, что соответствует политу типу сернистого цинка 6Н.

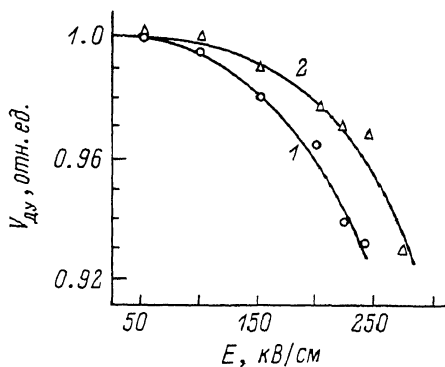
При действии на образец постоянного внешнего электрического поля соответствующей величины изменялась интенсивность линий ЭПР, причем суммарная величина интенсивности оставалась постоянной. Изменений формы и ширины линий не наблюдалось.

Характер изменения интенсивностей линий ЭПР свидетельствует о перераспределении объемов, занимаемых ДУ, и областей с кубической структурой, происходящих таким образом, что приращение объема кубической части равно уменьшению объема, занимаемого ДУ. Это свидетельствует о том, что, как и в случае механического деформирования образцов, при действии внешнего электрического поля в исследуемых кристаллах происходят изменения структуры, обусловленные движением частичных дислокаций.

После прекращения действия электрического поля в зависимости от его величины наблюдалось либо полное, либо частичное восстановление структуры кристалла. Это свидетельствует о том, что изменения структуры сульфида цинка, вызванные действием электрического поля, могут быть как обратимыми, так и необратимыми.

Экспериментально установлено, что во всех исследуемых образцах процесс смещения дислокаций начинается при величинах напряженностей внешних электрических полей от 10 до 120 кВ/см. Однако оказалось, что практически во всех образцах, имеющих толщину 0.1—0.15 мм и меньше, «старт» дислокаций наблюдается при значениях напряженностей электрических полей 110—120 кВ/см. Причем в них в отличие от случая более «толстых» образцов процесс начала движения дислокаций имеет ярко выраженный пороговый характер. Зависимость объема, занимаемого ДУ, от величины напряженности электрического поля для таких образцов приведена на рисунке.

Тот факт, что для смещения дислокаций в разных образцах необходимо воздействие электрических полей, напряженность которых может изменяться в широких пределах, объясняется нами наличием в исследуемых кристаллах макроскопических включений в виде пор и отрицательных кристаллов. Вблизи таких дефектов кристалл может находиться в напряженном состоянии. Степень напряженности зависит от размеров, концентрации и ориентации включений. В каждой из таких областей сила, достаточная для смещения дислокаций, может быть достигнута при разных напряженностях электрических полей. Ясно, что эти значения могут быть значительно ниже, чем в случае чисто электрополевого сдвига.



Зависимость объема, занимаемого дефектами упаковки от величины электрического поля.

1, 2 — под действием и после снятия внешнего электрического поля. Толщина образца 0.14 мм.

Подтверждением сказанному может служить то, что после действия на некоторые образцы сравнительно малых электрических полей 10—30 кВ/см, при которых уже наблюдается изменение структуры ZnS, на внутренней поверхности пор появляются ступеньки деформации, однозначно указывающие, что процесс движения частичных дислокаций начинается в первую очередь в напряженных областях вблизи макродефектов. Очевидно, что уменьшение толщины образцов до величин, сопоставимых с размерами макродефектов или расстояний между ними, приведет к значительному ослаблению влияния пор на взаимодействие внешнего электрического поля с заряженными дислокациями, что и наблюдалось в наших экспериментах на образцах толщиной 0.1—0.15 мм. Можно предположить, что изменения структур (см. рисунок) связаны с движением частичных дислокаций, вызванных только электростатическим взаимодействием их заряда с внешним электрическим полем. Приравнивая силу электрического поля, действующего на дислокацию, и механическую силу, при которой начинается процесс пластического течения, мы произвели оценку линейной плотности заряда неподвижных дислокаций, которая оказалась равной $0.4 e/\text{узел}$ вдоль линии дислокации

$$qE_c = (\sigma_y/2) b,$$

q — линейная плотность заряда дислокации; $E_c = 120$ кВ/см — стартовое значение напряженности электрического поля, определенное из рисунка; $\sigma_y = 2$ кГ/мм² — предел упругости для ZnS; b — вектор Бюргерса.

Найденное значение q хорошо согласуется с результатом, полученным в [3] для заряда неподвижных дислокаций, и не противоречит данным работ [1, 2], так как не превышает величины линейной плотности заряда движущейся дислокации.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность С. И. Бредихину и С. З. Шмураку за ценные советы и обсуждение полученных результатов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Осипьян Ю. А., Петренко В. Ф. // ЖЭТФ. 1975. Т. 69. № 4. С. 1362—1371.
- [2] Бредихин С. И., Шмурак С. З. // ЖЭТФ. 1977. Т. 73. № 4. С. 1460—1469.
- [3] Бредихин С. И., Омельченко С. А., Шмурак С. З. // ЖЭТФ. 1986. Т. 90. № 1. С. 200—215.
- [4] Абдикамалов Б. А., Бредихин С. И., Кулаков М. П., Шехтман В. Ш., Шмурак С. З. // ФТТ. 1976. Т. 18. № 8. С. 2468—2470.
- [5] Бредихин С. И., Омельченко С. А., Шмурак С. З., Якунина Н. А. // ФТТ. 1981. Т. 23. № 3. С. 903—905.
- [6] Омельченко С. А., Бредихин С. И., Берлов П. А., Буланый М. Ф., Шмурак С. З., Якунин А. Я. // ФТТ. 1982. Т. 24. № 9. С. 2803—2808.
- [7] Берлов П. А., Буланый М. Ф., Омельченко С. А., Якунин А. Я. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 9. С. 2854—2856.

Днепропетровский государственный университет
им. 300-летия воссоединения Украины с Россией

Поступило в Редакцию
11 сентября 1989 г.
В окончательной редакции
26 февраля 1990 г.