

УДК 539.314

© 1990

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МОНОКРИСТАЛЛОВ CdS В ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ 25—300 °С

Т. М. Булатова

Методом релаксации напряжений получены зависимости скорости пластической деформации от эффективного напряжения в монокристаллах CdS для температур 25—300 °С как в темноте, так и на свету. В области температур до 150 °С определена энергия активации деформации, которая коррелирует с величиной энергии активации диффузии точечных дефектов в этом кристалле. Обнаружена аномальная температурная зависимость скорости пластической деформации, т. е. ее падение с ростом температуры в интервале 150—300 °С.

Особый интерес к изучению кристаллов $A^{II}B^{VI}$ возник в связи с открытием фотопластического эффекта [1]. В связи с высокой плотностью дислокаций в этих материалах прямое изучение движения дислокаций в них представляет существенные трудности. Поэтому в работах, посвященных изучению механизма деформации в кристаллах с фотопластическим эффектом, использовались косвенные методы [2—10]. Однако нельзя считать, что были проведены систематические исследования, позволяющие понять все проявления такого сложного эффекта, как ФПЭ. С этой точки зрения наиболее интересным материалом являются монокристаллы CdS, которые в зависимости от ориентации дают при освещении либо положительный (при базисном скольжении), либо отрицательный (при призматическом скольжении) ФПЭ. По этой причине и была предпринята работа по изучению влияния температуры на пластическую деформацию этих монокристаллов методом релаксации.

1. Методика эксперимента

Монокристаллы сульфида кадмия были получены газофазным методом. Содержание в кристалле примесей иода, кадмия, натрия, брома, алюминия, железа, никеля менее 10^{-5} вес.%, магния, серебра — менее 10^{-6} вес.%, свинца — менее 10^{-4} , а кислорода $\sim 10^{-3}$ вес.%.

Размер образцов $2 \times 3 \times 5$ мм. Они подвергались деформации сжатием в испытательной машине «Инстрон» таким образом, что плоскость базиса (0001) располагалась под углом 45° к оси сжатия и являлась плоскостью скольжения.

Схема эксперимента совпадает с реализованной в [11]. Образец нагружался в темной камере до степени деформации $\sim 1\%$, после чего пуансон останавливался и происходила релаксация напряжений. Из этой релаксационной кривой рассчитывалась темновая зависимость скорости пластической деформации $\dot{\epsilon} = \dot{\sigma}_{\text{рел.}}/E^*$ от эффективного напряжения τ^* (σ — нормальное напряжение, E^* — эффективный модуль системы образец—машина). Затем делалась подгрузка до предыдущего уровня напряжений, что позволяло считать дислокационную структуру при повторном нагружении прежней [12], и опять наблюдалась релаксация напряжений,

причем сразу после остановки пуансона включался свет. Из полученной релаксационной кривой рассчитывалась зависимость скорости пластической деформации от эффективного напряжения $\dot{\epsilon}(\tau^*)$ в условиях освещения.

После каждого эксперимента температура повышалась на нужную величину, затем кристалл подгружался до начала пластического течения и эксперимент повторялся при этом новом значении температуры, и т. д. до 300 °С. Величина энергии активации W определялась на основании аррениусовой формулы как $W = -kT\theta \ln \dot{\epsilon}/\theta(T^{-1})$, а активационный объем как $\gamma = kT\theta \ln \dot{\epsilon}/\theta\tau$.

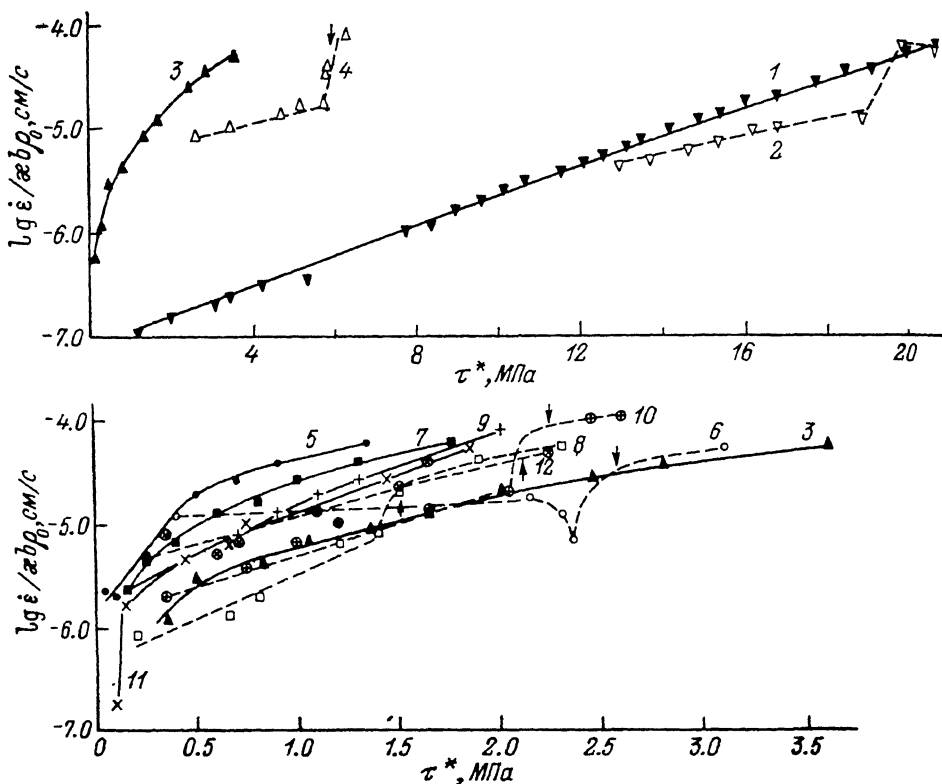


Рис. 1. Зависимость скорости пластической деформации от эффективного напряжения. T , °С: 1, 2 — 50; 3, 4 — 100; 5, 6 — 150; 7, 8 — 200; 9, 10 — 250; 11, 12 — 300. 2, 4, 6, 8, 10, 12 — при освещении. Стрелки указывают момент включения света.

Освещение образца производилось лампой ДКСШ-200 через монохроматор на длине волны 540 нм, соответствующей краю собственного поглощения кристалла.

Прежде чем приступить к изучению, проводился контроль возможности использования метода релаксации по восстановлению формы релаксационных кривых и напряжения течения при повторном нагружении образцов [11, 12].

2. Результаты

Из результатов, полученных в настоящей работе, видно, что существуют две области температур $T < 150$ °С и $T > 150$ °С, где экспериментальные данные имеют совершенно разный характер, а именно в области $T < 150$ °С наблюдается корреляция с работой [11]. Освещение кристалла приводит к резкому падению скорости пластической деформации (рис. 1; 2, б). Активационный объем составляет $\sim 10 \div 60 b^3$, а под действием света $\sim 5 \div 10 b^3$. Энергия активации движения дислокаций при этих темпера-

турах, рассчитанная по температурным зависимостям скорости пластической деформации, оказалась ≈ 0.7 эВ в отличие от 0.6 эВ, полученной в [3].

В температурном интервале 150—300 °С результаты существенно отличаются от предыдущих. Влияние света на скорость пластической деформации резко падает и практически отсутствует уже при 250—300 °С (рис. 2, б), а активационный объем возрастает (как темновой, так и световой) до $\approx 100b^3$ в максимуме. Ход же температурных зависимостей скорости пластической деформации в этом интервале температур таков, как если бы при $T > 150$ °С включался некий механизм очень сильного

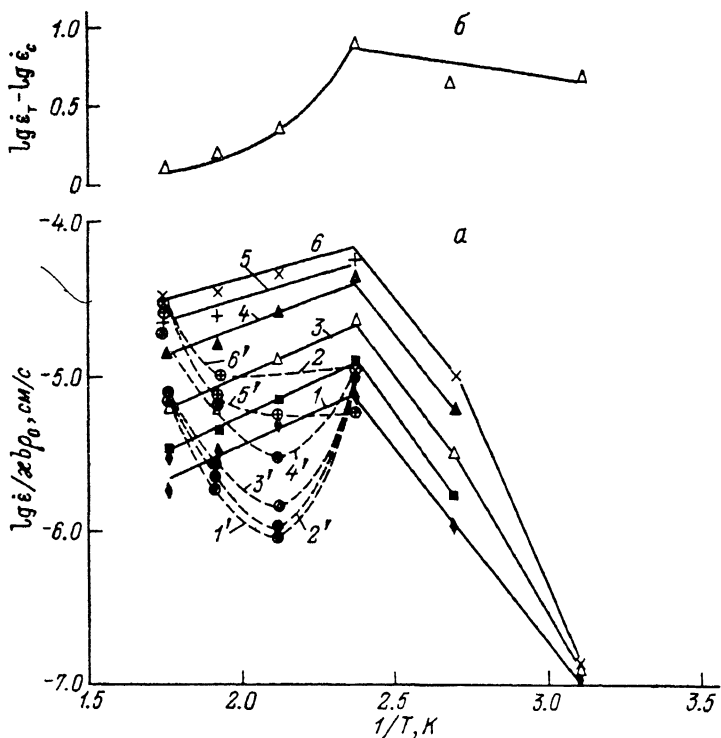


Рис. 2. Влияние температуры на изменение скорости пластической деформации (а) и зависимость воздействия освещения на скорость пластической деформации от температуры (б).

*, МПа: 1, 1' — 0.3; 2, 2' — 0.4; 3, 3' — 0.6; 4, 4' — 1; 5, 5' — 1.3; 6, 6' — 1.5. 1'—6' — при освещении кристалла.

торможения дислокаций, т. е. при повышении температуры не увеличивается, а уменьшается скорость пластической деформации. На свету это торможение проявляется еще более сильно при $T=150 \div 200$ °С. При $T > 200$ °С скорость пластической деформации на свету возрастает, что кажется естественным, учитывая, что влияние света на скорость пластической деформации при этих температурах исчезает, однако для малых напряжений она при этом становится даже выше соответствующих темновых значений (рис. 2, а; кривые 1', 2').

3. Обсуждение результатов

Полученная при температурах менее 150 °С энергия активации ~ 0.7 эВ по порядку величины соответствует энергии активации диффузии в кристаллах CdS атомов кадмия и различных примесных атомов [13]. Это вместе с измеренной величиной активационного объема позволяет предположить, что до 150 °С происходит увлечение точечных дефектов перемещениями на дислокациях.

Наблюдаемое усиление торможения дислокаций в температурном интервале 150—300 °С, а также возрастание активационного объема заставляют думать о том, что происходит смена механизма, лимитирующего пластическую деформацию в кристалле. В частности, это может быть образование атмосфер точечных дефектов на дислокациях, блокирующих их движение. На определяющую роль тормозящего взаимодействия движущихся дислокаций с создающейся при повышении температуры атмосферой точечных дефектов в полупроводниках указывалось ранее в работах [14, 15]. Косвенным экспериментальным подтверждением появления таких атмосфер в данном случае может служить наблюдение в экспериментах при $T > 150$ °С зуба текучести.

Важно понять, с какой из компонент скорости пластической деформации (т. е. дислокационного потока ρv) связано ее резкое падение: с уменьшением средней скорости или плотности подвижных дислокаций.

Можно предположить определяющую роль именно скорости дислокаций, поскольку в [16] было экспериментально получено почти скачкообразное падение с температурой длины пробега головных дислокаций при индентировании монокристалла CdS при ≈ 120 °С (хотя прямого соответствия между коллективным движением дислокаций в деформируемом кристалле и движением головных дислокаций при индентировании нет).

Но, кроме этого, из-за блокирования дислокаций пластическая деформация при $T > 150$ °С может определяться в основном процессами размножения дислокаций.

Окончательная интерпретация всей совокупности как темновых данных, так и результатов, полученных при освещении, требует дальнейших исследований.

Автор считает необходимым выразить благодарность Л. А. Кликовой за предоставление монокристаллов CdS, М. Ш. Шихсандову и Н. Колесникову за помощь в работе, В. Я. Кравченко, В. И. Никитенко, Я. М. Сойферу за обсуждение результатов, а также Б. Я. Фарберу, Ю. Л. Иуину за внимание к работе.

Список литературы

- [1] Осипьян Ю. А., Савченко И. Б. // Письма ЖЭТФ. 1968. Т. 7. № 4. С. 130—133.
- [2] Осипьян Ю. А., Петренко В. Ф. // ЖЭТФ. 1978. Т. 75. № 1. С. 296—305.
- [3] Ahlquist C. N., Garroll M. J., Stroempl P. // J Appl. Chem. Sol. 1972. V. 33. N 2. P. 337—342.
- [4] Maega K., Nakaqawa K., Takeuchi S. // Phys. St. Sol. (a). 1978. V. 48. N 2. P. 587—591.
- [5] Nakaqawa K., Maeda K., Takeuchi S. // J. Phys. Soc. Jap. 1981. V. 50. N 9. P. 3040—3046.
- [6] Karlsson L., Ahlquist C. N. // J. Appl. Phys. 1972. V. 43. N 6. P. 2529—2536.
- [7] Gutmanas E. Y., Travitzky N., Haasen P. // Phys. St. Sol. (a). 1979. V. 51. N 2. P. 435—444.
- [8] Gutmanas E. Y., Travitzky N., Plitt U., Haasen P. // Scripta Met. 1979. V. 13. N 4. P. 293—297.
- [9] Rivour Disaer // J. de Phys. 1983. V. 44. N 9. P. C4—384—C4—394.
- [10] Rivour Disaer // Phys. St. Sol. (a). 1982. V. 73. N 2. P. 401—408.
- [11] Булатова Т. М. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 7. С. 2150—2152.
- [12] Bulatova T. M., Nadgornyi E. M. // Phys. St. Sol. (a). 1978. V. 46. N 1. P. 357—364.
- [13] Физика и химия соединений АІВVI / Под ред. С. А. Медведева. М., 1970.
- [14] Bondarenko I. E., Ersmenko V. G., Nikitenko V. I. // Phys. St. Sol. (a). 1980. V. 60. N 2. P. 341—349.
- [15] Петухов Б. В. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. № 24. С. 1486—1489.
- [16] Струкова Г. К. // Автореф. канд. дис. Черноголовка, ИФТТ АН СССР, 1983.

Институт физики твердого тела АН СССР
Черноголовка
Московская область

Поступило в Редакцию
2 октября 1989 г.
В окончательной редакции
14 марта 1990 г.