

- [7] Михеева В. И., Кост М. Е. // Журн. неорг. химии. 1953. Т. 3. С. 260—264.
 [8] Колобянина Т. Н., Демишев Г. Б., Дюжева Т. И., Лосев В. Г., Кабалкина С. С. // Приборы и техн. эксперим. 1984. № 2. С. 194—197.
 [9] Mao H. K., Bell P. M., Shaner J. W., Steinger D. J. // J. Appl. Phys. 1978. V. 49. N 6. P. 3276—3283.
 [10] Yakel H. L. // Acta Cryst. 1958. V. 11. N 1. P. 46—51.
 [11] Crane R. L., Chatteray S. C. // J. Less-Common Metals. 1971. V. 25. N 2. P. 225—227.

Институт физики высоких давлений
 им. Л. Ф. Верещагина
 Троицк
 Московская обл.

Поступило в Редакцию
 3 апреля 1991 г.

УДК 539.89

© Физика твердого тела, том 33, № 9, 1991
 Solid State Physics, vol. 33, N 9, 1991

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ ИОННЫХ КРИСТАЛЛОВ

В. И. Барбашов, Ю. Б. Ткаченко

Метод микроиндентирования нашел широкое применение при исследовании упругопластических свойств твердых тел при атмосферном давлении [1, 2]. В области высоких давлений такие опыты единичны, а их результаты противоречивы [3, 4]. В настоящей работе изучаются особенности микроиндентирования ряда кристаллических твердых тел преимущественно с ионным типом связи в условиях воздействия на них всестороннего гидростатического давления.

В качестве объектов для исследований использовались достаточно чистые (без специального легирования) монокристаллы MgO, LiF, NaCl, KCl, KBr. Уколы наносились на поверхности скола (001), при этом для всех кристаллов одна из граней отпечатков была параллельна оси [001]. Индентирование производилось в камере высокого давления при комнатной температуре, в качестве рабочей жидкости использовался бензин.

На рис. 1 представлены зависимости микротвердости $H(P)/H(0)$ исследуемых кристаллов от величины гидростатического давления P . Значения микротвердости при атмосферном давлении $H(0)$ для указанного выше ряда кристаллов соответственно равны 7840, 1170, 240, 110, 130 МПа. Видно, что во всех изученных кристаллах микротвердость с ростом давления увеличивается, причем в кристаллах KCl и KBr при $P > 0.7$ ГПа наблюдается аномальный рост $H(P)$.

Для объяснения полученных зависимостей воспользуемся хорошо известным фактом корреляции $H(0)$ с величиной модуля Юнга E [1]. В частности, для исследуемых кристаллов эту зависимость можно описать с помощью соотношения

$$H(0) = 0.515E^{1.66}, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где E измеряется в ГПа. Полагая справедливым это уравнение и для гидростатически сжатых кристаллов, вычислим значения $H(P)$ при $P = 1.5$ ГПа. Результаты расчетов представлены в таблице. Здесь величина $H(P)_r$ рассчитана по формуле (1), $H(P)_e$ — результат настоящих исследований. Модуль Юнга рассчитан по формулам анизотропного приближения для кубических кристаллов [5], значения упругих постоянных и их производных по давлению взяты из работы [6].

Как видно из этой таблицы, наилучшее согласие с экспериментом наблюдается для кристаллов MgO, LiF и NaCl, т. е. для тех кристаллов, которые не испытывают полиморфных фазовых переходов вплоть до давле-

ний ~ 10 ГПа. В кристаллах KCl и KBr наблюдается переход от структуры типа NaCl к структуре типа CsCl при давлении P_0 соответственно 1.95 и 1.74 ГПа. Эти давления одного порядка с $P \approx 0.7$ ГПа, при котором начинается аномальный рост $H(P)$, и близки к максимальному давлению 1.5 ГПа, достигавшемуся в эксперименте. Ранее подобный результат — большее значение микротвердости в деформированных высоким давлением щелочно-галогидных кристаллах — наблюдался в работе [7].

Можно предположить по аналогии с [8], что твердое тело, находящееся под индентором, испытывает суммарное воздействие гидростатического и квазигидростатического P_K давлений: $P_{\text{эф}} = P + P_K$. На ранних стадиях

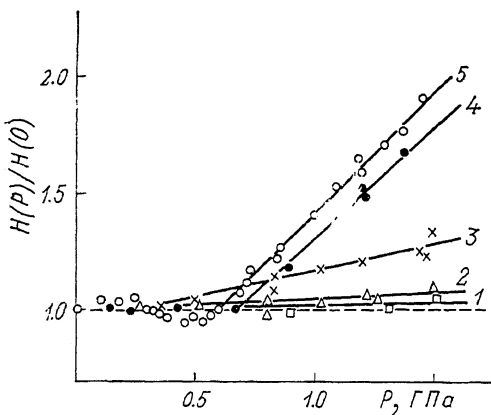


Рис. 1. Зависимость от давления микротвердости кристаллов MgO (1), LiF (2), NaCl (3), KCl (4), KBr (5).

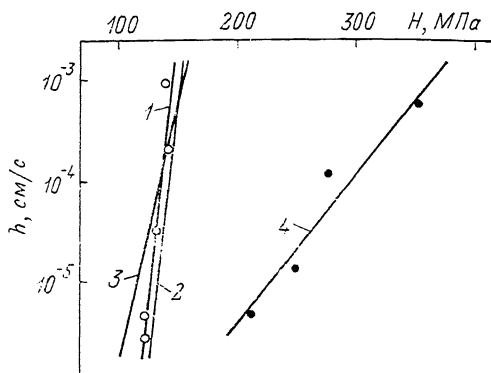


Рис. 2. Зависимость скорости внедрения алмазного индентора в кристалл KBr от величины гидростатического давления. P , ГПа: 1 — 0.0001, 2 — 0.17, 3 — 0.47, 4 — 1.2.

внедрения алмазной пирамидки в кристалл будет выполняться условие $P_{\text{эф}} \geq P_0$. Очевидно, что при $P > 0.7$ ГПа в кристаллах KCl и KBr размеры более прочной фазы высокого давления становятся настолько большими, что начинают контролировать процесс внедрения индентора.

На рис. 2 приведены кинетические зависимости скорости внедрения пирамидки Викерса $\dot{h}(H)$ (здесь h — глубина отпечатка) от величины гидростатического давления для кристаллов LiF и KBr. Линейный характер зависимостей $\dot{h}(H)$, полученных при различных значениях P , позволяет для их описания использовать формулы термоактивационного анализа

$$\dot{h}(H) = \dot{h}(0) e^{U/kT}, \quad (2)$$

где U — энергия активации. Активационный объем

$$V_H = kT \frac{\partial \ln \dot{h}(P)}{\partial H}$$

в кристаллах KCl и KBr уменьшается с ростом давления примерно в 7 раз. В остальных ионных кристаллах изменение V_H с давлением в пределах

Расчетные $H(P)_r$ и экспериментальные $H(P)_e$, значения микротвердости и модуля Юнга для ряда ионных кристаллов

	MgO	LiF	NaCl	KCl	KBr
$E(P)$, ГПа	324	129	45.9	34.6	31.0
$H(P)_r$, МПа	7580	1640	296	184	154
$H(P)_e$, МПа	8150	1260	271	198	247

погрешности измерений не обнаружено. Такое поведение $V_{II}(P)$ качественно согласуется с зависимостью $V_{\tau}(P)$, полученной в экспериментах по динамике дислокаций в гидростатически сжатых щелочно-галлоидных кристаллах [9]. Только в кристаллах KCl и KBr в тех опытах было получено аномально большое изменение скорости дислокаций с ростом давления. Этот факт не нашел в то время своего объяснения в рамках модели, предполагающей усиление упругого взаимодействия дислокаций с точечными дефектами.

Сопоставляя результаты настоящей работы с данными других исследований [6-9], можно с достаточными основаниями предположить, что пластические свойства фазы низкого давления связаны с упругими характеристиками фазы высокого давления. Этот эффект должен быть сильнее выражен в кристаллических твердых телах, имеющих сравнительно невысокое давление полиморфного фазового перехода.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Боярская Ю. С., Грабко Д. З., Кац М. С. Физика процессов микроиндентирования. Кишинев, 1986. 293 с.
- [2] Концевой Ю. А., Литвинов Ю. М., Фаттахов Э. А. Пластичность и прочность полупроводниковых материалов и структур. М., 1982. 239 с.
- [3] Livshits L. D., Fomichev T. D. // Physica Status Solidi (a). 1979. V. 54. N 2. P. K123-K127.
- [4] Григорьев О. Н., Мильман Ю. В., Трефилов В. И. // Элементарные процессы пластической деформации кристаллов. Киев, 1978. С. 144-159.
- [5] Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций: Пер. с англ. М., 1972. 599 с.
- [6] Францевич И. Н., Воронов Ф. Ф., Бакута С. А. Упругие постоянные и модули упругости металлов и неметаллов. Справочник / Под ред. И. Н. Францевича. Киев, 1982. 286 с.
- [7] Бланк В. Д., Веллер М. В., Коняев Ю. С., Кульницкий Б. А., Эстрин Э. И. // Влияние высоких давлений на свойства материалов. Киев, 1983. С. 44-47.
- [8] Gridneva I. V., Milman Yu. V., Trefilov V. I. // Physica Status Solidi (a). 1972. V. 14. N 1. P. 177-182.
- [9] Барбашов В. И., Стрельцов В. А., Ткаченко Ю. Б. // ФТТ. 1982. Т. 24. № 4. С. 1187-1192.

Донецкий

физико-технический институт

Поступило в Редакцию

3 апреля 1991 г.

УДК 537.312.7 621.315.292

© Физика твердого тела, том 33, № 9, 1991

Solid State Physics, vol. 33, N 9, 1991

ПРОЦЕССЫ РЕКОМБИНАЦИИ В ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУРАХ МЕТАЛЛ-СУЛЬФИД САМАРИЯ

Н. М. Володин, Е. А. Серова, П. С. Смертенко, А. В. Ханова

На основе исследования вольт-амперных характеристик (ВАХ) структур Me—моносольфид самария впервые определены рекомбинационные параметры центров запрещенной зоны. Показано, что в данных структурах при комнатной температуре реализуется режим двойной инжекции носителей.

Исследование свойств поликристаллических пленок сульфида самария в последние годы вызвано их высокой тензочувствительностью [1]. Изучение электропроводности и механизмов изменения сопротивления при деформации [2-4] показало, что пьезорезистивный эффект в моносольфиде самария носит концентрационный характер. При этом были обнаружены мелкие донорные уровни с энергией активации порядка 0.045 эВ и концентрацией порядка 10^{20} см⁻³, а также уровень, образованный 4f⁶-оболоч-