

О КОРРЕЛЯЦИИ ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ, МИКРОТВЕРДОСТИ И ДЕФОРМИРУЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ NaCl:Pb

© Ю.С.Боярская, Р.П.Житару, М.А.Линте

Институт прикладной физики Академии наук Молдавии,
277028 Кишинев, Молдавия
(Поступило в Редакцию 14 июля 1995 г.
В окончательной редакции 9 октября 1995 г.)

Из литературы известно, что для щелочно-галлоидных кристаллов (ШГК), легированных двухвалентными катионными примесями, имеется хорошая корреляция между изменением предела текучести (σ_y) и микротвердостью H [1-4]. Для этих материалов σ_y и H связаны зависимостью

$$\sigma_y = a(H - H_0), \quad (1)$$

где a и H_0 — константы. Формула (1) является аналогом известной формулы Табора

$$H = C\sigma_y, \quad (2)$$

где C — константа, близкая к трем. Для легированных кристаллов NaCl константа a меняется в пределах 0.21–0.25 [1,3,4], что довольно близко к значениям, предсказываемым из формулы (2).

Однако для кристаллов NaCl:Pb соотношение (1) теряет смысл, константа a обращается в ∞ [3,4]. Одной из причин этого может явиться тот факт, что вдавливание индентора при измерении микротвердости производится в деформационно-упрочненный материал. В области отпечатка достигается пластическая деформация $\varepsilon \sim 10\%$ [5]. Поэтому изменения микротвердости скорее должны коррелировать с изменениями деформирующего напряжения σ_d при $\varepsilon \approx 10\%$, а не σ_y . Если последние два параметра меняются согласованно, то тогда должна существовать корреляция между изменениями H и σ_y . В противном случае эта корреляция нарушается.

Для проверки справедливости этого мнения в настоящей работе на кристаллах NaCl:Pb проведено исследование корреляции изменений предела текучести, деформирующего напряжения ($\varepsilon = 10\%$) и микротвердости при изменении концентрации примеси. Вопрос о корреляции этих трех параметров, насколько нам известно из литературы, до сих пор не рассматривался ни на одном материале.

Предел текучести и деформирующее напряжение определялись из опытов по одноосному сжатию кристаллов вдоль оси [001] на машине Instron, скорость деформации равнялась 10^{-4} s^{-1} . Микротвердость измерялась с помощью прибора ПМТ-3 на плоскости спайности (001) при нагрузке на индентор 10 г. Температура деформирования изменялась в интервале 20–400 °С.

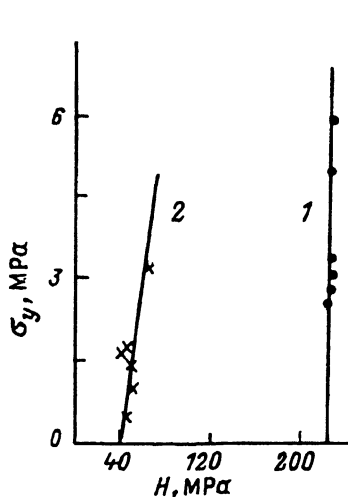


Рис. 1. Зависимость предела текучести от микротвердости для кристаллов NaCl:Pb при комнатной температуре (1) и при 400 °C (2).

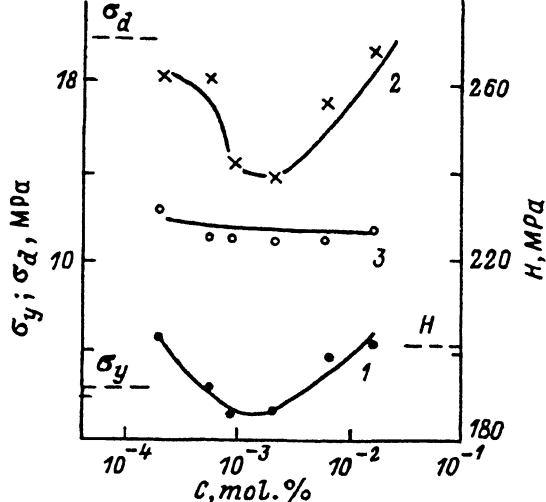


Рис. 2. Концентрационные зависимости предела текучести (1), деформирующего напряжения (2) и микротвердости (3) для кристаллов NaCl:Pb при комнатной температуре. Штриховые линии показывают значения σ_y , σ_d и H для нелегированных кристаллов.

Из рис. 1 следует, что при комнатной температуре зависимость $\sigma_y(H)$ характеризуется прямой, параллельной оси ординат; при изменении предела текучести в пределах 3–6.5 МПа микротвердость остается практически постоянной (прямая 1). Результаты, представленные на рис. 2, показывают, что несогласованное поведение σ_y и H не связано с тем, что изменение микротвердости предпочтительно определяется изменением σ_d , а не σ_y . Действительно, в случае деформирования при комнатной температуре зависимости $\sigma_y(C)$ и $\sigma_d(C)$ хорошо коррелируют между собой (кривые 1, 2 на рис. 2) и не согласуются с поведением микротвердости, которая меняется практически лишь в пределах ошибок эксперимента (3–5%).

Необычный вид концентрационной зависимости предела текучести монокристаллов NaCl:Pb — вогнутая кривая — наблюдался ранее [6]. Он был связан с процессами преципитации, которые характерны для ШГК, легированных двухвалентными катионными примесями [7,8]. Эти процессы особенно развиты для плохо растворимых примесей, в том числе для Pb^{2+} в NaCl. Поэтому кристаллы NaCl:Pb являются мало упрочненными, предел текучести для некоторых концентраций примеси даже меньше, чем для нелегированных образцов (рис. 2). В кристаллах же NaCl, содержащих хорошо растворимую примесь Ca^{2+} , наблюдаются довольно значительное упрочнение и хорошая корреляция между пределом текучести и микротвердостью, для которых выполняется формула (1) [2–4].

В связи с этим логично предположить, что в кристаллах NaCl:Pb, деформированных при повышенной температуре, когда можно ожидать растворения преципитатов, будут наблюдаться согласованные изменения σ_y и H . Прямая 2, представленная на рис. 1, подтверждает спра-

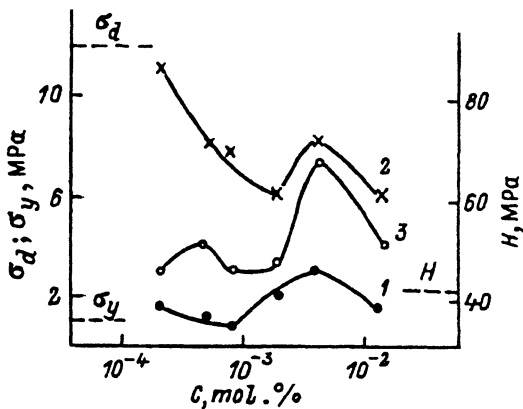


Рис. 3. Концентрационные зависимости предела текучести (1), деформирующего напряжения (2) и микротвердости (3) для кристаллов NaCl:Pb при 400 °С.

ведливость этого предположения. Видно, что в случае деформирования исследуемых кристаллов при температуре 400 °С между σ_y и H существует прямая пропорциональная зависимость, удовлетворяющая (1) при константе $a = 0.1$.

Существенное изменение претерпел и вид концентрационных зависимостей предела текучести, деформирующего напряжения и микротвердости при повышении температуры деформированная от 20 до 400 °С (рис. 2,3). Вместе вогнутых кривых, характеризующих зависимости $\sigma_y(C)$ и $\sigma_d(C)$ при комнатной температуре (кривые 1, 2 на рис. 2), наблюдаются кривые с максимумом (кривые 1, 2 на рис. 3). Такой же вид имеет зависимость $H(C)$ (кривая 3 на рис. 3). В области концентраций примеси $2 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$ mol.% наблюдается плавное изменение σ_d , а величины σ_y и H меняются немонотонно (рис. 3). При более высоких концентрациях ($2 \cdot 10^{-3} - 1.65 \cdot 10^{-2}$ mol.%) существует хорошая корреляция между изменениями всех исследуемых параметров. На концентрационных зависимостях этих параметров имеются максимумы при $C = 5 \cdot 10^{-3}$ mol.%. Однако, нельзя заключить, что в этой области концентраций примеси σ_y , σ_d и H ведут себя одинаково. Дело в том, что для σ_y и H имеет место примесное упрочнение, а для σ_d — разупрочнение. Значения σ_d для примесных кристаллов лежат ниже уровня деформирующего напряжения нелегированных образцов (кривая 2 на рис. 3). Поэтому можно заключить, что при 400 °С происходят согласованные изменения предела текучести и микротвердости (прямая 2 на рис. 1; кривые 1, 3 на рис. 3). Поведение же микротвердости отлично от поведения деформирующего напряжения как при комнатной температуре, так и при 400 °С. При измерении H в обоих случаях наблюдается примесное упрочнение при измерении деформирующего напряжения — разупрочнение (кривые 2, 3 на рис. 2 и 3).

Подводя итог изложенным результатам, можно заключить следующее. На примере кристаллов NaCl:Pb показано, что корреляция между изменениями микротвердости и предела текучести наблюдается только при определенных условиях. Это связано с отличием напряженных состояний при действии сосредоточенной нагрузки и при одноос-

ной деформации. Однако, несмотря на это различие, при некоторых условиях (например, когда примесь находится в довольно диспергированном состоянии) изменения σ_y и H при легировании могут определяться одними и теми же основными факторами, тогда между этими изменениями существует хорошая корреляция. Таким фактором может служить, например, подвижность дислокаций. Действительно, в NaCl:Ca имеется хорошее согласие между изменениями предела текучести, микротвердости и подвижности дислокаций [3,4]. Довольно неожиданным является тот факт, что в некоторых случаях (деформирование при 400 °C) поведение микротвердости лучше коррелирует с поведением предела текучести, чем деформирующего напряжения при $\epsilon \sim 10\%$.

Список литературы

- [1] Chin G.I., van Uitert L.G., Green M.L., Zydsik G. *Scr. Metal.* **6**, 6, 475 (1972).
- [2] Боярская Ю.С., Житару Р.П., Кац М.С., Линте М.А., Шутова С.С. *ФХОМ*, **6**, 75 (1981).
- [3] Boyarskaya Yu.S., Zhitaru R.P., Linte M.A. *Cryst. Res. Techn.* **19**, 1, 101 (1984).
- [4] Боярская Ю.С., Грабко Л.З., Кац М.С. *Физика процессов микроиндентирования*. Кишинев (1986). С. 294.
- [5] Васаускас С.С. В кн.: *Исследования в области измерения твердости*. М.-Л. (1967). С. 33.
- [6] Боярская Ю.С., Житару Р.П., Палистрант Н.А. *Письма в ЖТФ* **19**, 14, 60 (1993).
- [7] Андреев Г.А., Климов В.А. *ФТТ* **22**, 11, 3481 (1980).
- [8] Боярская Ю.С., Житару Р.П., Палистрант Н.А. *ФТТ* **37**, 2, 382 (1995).

Физика твердого тела, том 38, № 3, 1996
Solid State Physics, vol. 38, N 3, 1996

ЭФФЕКТ РАЗУПРОЧНЕНИЯ В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ НА ОСНОВЕ НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ ФАЗ

© *Е.И.Рогачева*

Харьковский государственный политехнический университет,
310000 Харьков, Украина
(Поступило в Редакцию 20 июня 1995 г.
В окончательной редакции 25 октября 1995 г.)

Хорошо известен эффект упрочнения в твердых растворах, наблюдаемый при введении примесей в металлические и полупроводниковые кристаллы и сопровождаемый увеличением таких механических характеристик, как предел текучести, микротвердость и т.д. С точки зрения дислокационных теорий основной причиной упрочнения является другое взаимодействие дислокаций с примесными атомами (ПА), приводящее к торможению либо уменьшению скорости движения дислокаций [1,2]. Наблюдаемые случаи разупрочнения некоторых полупроводниковых кристаллов (Ge, Si, соединений типа A^3B^5) при введении в них малых количеств (до ~ 0.1 at.%) электрически активных ПА