

05.1;12

АНОМАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МИКРОТВЕРДОСТИ ЧИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ InP

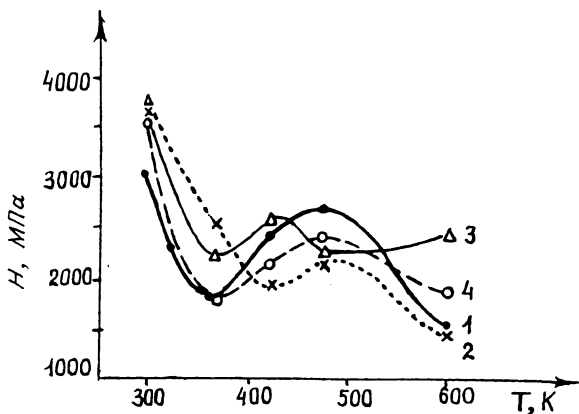
© Ю.С.Боярская, Д.Э.Грабко, М.И.Мединская,
Н.А.Палистрант

Температурная зависимость микротвердости ковалентных полупроводниковых материалов $H(T)$ характеризуется наличием двух участков — низкотемпературного, где H слабо уменьшается с ростом T , и высокотемпературного, где наблюдается резкое падение H при повышении T [1-3]. Температура, при которой происходит переход от одного участка к другому, равна примерно $0.4T_m$ (T_m — температура плавления).

Однако нами при исследовании чистых (концентрация носителей $1.9 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$) и легированных (Fe, Zn, ZnO, концентрация носителей $1.8 \cdot 10^9$, $6 \cdot 10^{17}$, $7 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ соответственно) монокристаллов InP была обнаружена необычная зависимость микротвердости от температуры. Исследования проводились на грани $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})\text{В}$. Деформирование осуществлялось с помощью микротвердомера ПМТ-3, индентор — алмазная пирамида Виккерса, нагрузка на индентор (P) — 40 г. Помимо измерений микротвердости проводилась регистрация акустической эмиссии (АЭ), возникающей при индентировании. Для этих исследований была использована специальная установка, позволяющая измерять количество сигналов АЭ (N), сопровождающих образование двойников и трещин [4].

На рисунке приведены температурные зависимости микротвердости для всех исследованных кристаллов. Отсутствие на них атермического участка при температурах выше комнатной не является неожиданным, так как InP , по сравнению с другими полупроводниковыми соединениями $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$, обладает большей степенью ионности [5]. Для соединений же $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$, имеющих более значительную долю ионной составляющей в силах связи, $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$, атермический участок кривой $H(T)$ смещен в область $T < 293 \text{ К}$ [3].

Однако необычным является наличие четко выраженных максимумов на кривых $Y(T)$, величина которых значительно превышает ошибку измерения H ($\sim 5\%$). Немонотонный ход температурной зависимости микротвердости и предела текучести, обнаруженный ранее на некоторых материалах



Температурная зависимость микротвердости для грани (111)В: InP (1), InP:Fe (2), InP:Zn (3), InP:ZnO (4).

[6–8], был связан с наличием в них примесных дефектов. В случае же InP максимумы на зависимостях $H(T)$ наблюдаются как на легированных, так и на чистых образцах.

Объяснить такое необычное поведение монокристаллов фосфида индия представляется возможным следующим образом. Известно, что энергия, связанная с дефектом упаковки, для InP ниже, чем для других соединений $A^{III}B^V$ [9]. Поэтому двойникование в фосфиде индия более облегчено, чем в остальных $A^{III}B^V$, и может играть более существенную роль в процессе образования отпечатков при микроиндентировании. Наличие двух механизмов пластического деформирования в InP — скольжения и двойникования, обнаружено как при одноосном сжатии [9], так и при действии локальных напряжений [10].

Для многих кристаллов при повышении температуры процесс скольжения начинает преобладать над процессом двойникования [3,11]. К таким кристаллам относится и InP [9]. Поэтому при определенной температуре начинается эффективное торможение двойникования и образование отпечатка начинает определяться в основном скольжением, т. е. не два механизма пластической деформации вносят вклад в процесс микроиндентирования, а один. Следовательно, в этой области температур может наблюдаться повышение микротвердости. При дальнейшем увеличении температуры происходит уменьшение H вследствие облегчения процесса скольжения, т. е. на кривой $H(T)$ появляется максимум.

Если предлагаемая интерпретация является справедливой, то высота максимума для какого-либо образца должна быть тем больше, чем больше развита в нем склонность к

Сравнение величины максимумов на кривых $H(T)$ и числа импульсов АЭ, возникающих при микроиндентировании ($T + 293 \text{ K}$)

Кристалл	$\frac{H_{\max} - H_{\min}}{H_{\min}}, \%$	N		
		$P = 40 \text{ г}$	$P = 70 \text{ г}$	$P = 100 \text{ г}$
UnP	42.2	9	18	46
InP:ZnO	30.2	6	28	43
InP:Fe	16.7	7	9	28
InP:Zn	15.7	39	46	108

двойникованию. Результаты, приведенные в таблице, показывают, что это справедливо для трех типов исследуемых образцов: InP, InP:ZnO, InP:Fe; InP:Zn является исключением.

Действительно, относительная величина максимумов на кривых $H(T)$ для первых двух кристаллов больше, чем InP:Fe, и соответственно число импульсов АЭ для них больше. Поведение InP:Zn можно объяснить следующим образом. Из таблицы следует, что АЭ, регистрируемая при вдавливании индентора, для них значительно выше, чем для остальных кристаллов, т. е. процесс двойникования в InP:Zn гораздо интенсивнее, чем в других образцах. Поэтому в области температур максимума на кривой $H(T)$ двойникование может быть подавлено лишь частично и величина максимума будет меньше, чем на тех кристаллах, где двойникование подавляется более полно.

Подтверждением сказанному может служить сравнение хода кривых $H(T)$ для исследуемых образцов после максимума. Из рисунка следует, что для всех кристаллов, кроме InP:Zn (кривые 1, 2, 4), после максимума происходит уменьшение H , а для InP:Zn наблюдается подъем H (кривая 3). Последнее можно объяснить уменьшением вклада двойникования в процесс образования отпечатка.

Для более глубокого понимания механизма деформирования чистых и легированных кристаллов InP в случае индентирования при разных температурах необходимы детальные исследования разными методами структуры деформированных областей, возникающих около отпечатков индентора.

Список литературы

- [1] Трефилов В.И., Мильман Ю.В. ДАН СССР. 1963. Т. 153. № 4. С. 824.
- [2] Мильман Ю.В., Трефилов В.И. // Механизм разрушения металлов. Киев, 1966. С. 89.
- [3] Концевой Ю.А., Литвинов Ю.М., Фаттагов Э.А. Пластичность и прочность полупроводниковых материалов и структур. Москва, 1982. С. 239.

- [4] *Боярская Ю.С., Грабко Д.Э., Кац М.С.* Физика процессов микроиндентирования. Кишинев, 1986. С. 294.
- [5] *Баженов В.Н., Горбачев В.Э., Крамаренко Н.И.* // УФЖ. 1987. Т. 32. № 7. С. 1097.
- [6] *Тагиева М.М., Гайдучена В.Ф., Шааскольская М.П.* // Дефекты оптических монокристаллов. 1976. С. 10.
- [7] *Кнаб Г.Г., Улужанов И.Т., Константинова А.Ф.* и др. // Кристаллография. 1991. Т. 36. В. 3. С. 704.
- [8] *Житару Р.П., Линте М.А., Шутова С.С.* // Изв. АН МССР. 1983. № 3. С. 63.
- [9] *Brown G.T., Coscaune D., Masevan N.R.* // J. Mater. Scien. 1980. V. 15. N 6. P. 1469.
- [10] *Микрюкова К.В., Морозов А.Н., Баркова А.В.* и др. // Кристаллография. 1988. Т. 33. В. 5. С. 1219.
- [11] *Классен-Неклюдова М.В.* Механическое двойникование кристаллов. М. 1960. С. 261.

Поступило в Редакцию
5 декабря 1996 г.