

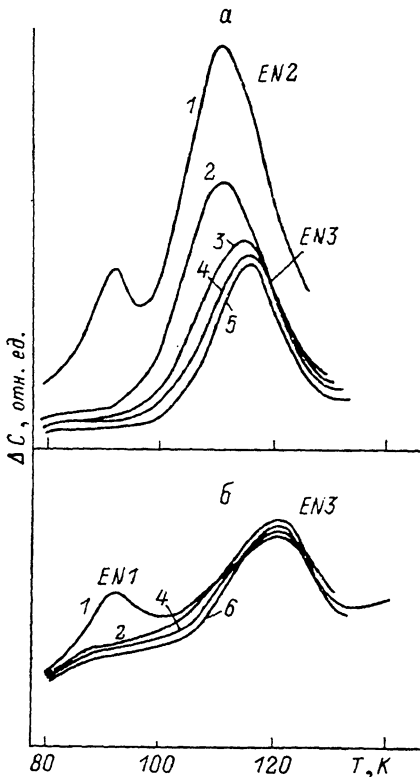
О ДЕФЕКТАХ, ВОЗНИКАЮЩИХ В n -InP ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ОБЛУЧЕНИИ

Кольченко Т. И., Ломако В. М., Мороз С. Е.

При изучении дефектов, возникающих в полупроводниках в результате низкотемпературного облучения γ -квантами ^{60}Co и электронами с энергией $0.5\div 1$ МэВ, как показано в [1-4], необходимо учитывать возможность образования связанных пар Френкеля. Применительно к n -InP влияние γ -облучения при 78 К рассмотрено лишь в [5], где установлено, что 70%-е восстановление электропроводности облученного материала происходит в несколько стадий в интервале температур $80\div 240$ К. Однако параметры дефектов, обуславливающих это восстановление, и их природа не были определены. В настоящей работе методом нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней

(НЕСГУ) изучались дефекты, возникающие в n -InP в результате низкотемпературного ($T=78$ К) облучения γ -квантами ^{60}Co , в сравнении со случаем облучения α -частицами с энергией 4.5 МэВ.

Исследовались структуры с барьером Шоттки на основе эпитаксиальных пленок InP с $n_0 \approx 10^{15}$ см $^{-3}$. В результате γ -облучения наблюдались образующие трех электронных ловушек $EN1$ — $EN3$. Две из них ($EN1$ и $EN2$) проявлялись в виде пиков в спектрах НЕСГУ, третья ($EN3$) сразу после облучения была заметна только в виде слабого плеча на фоне пика $EN2$. Изохронный отжиг показал, что центр $EN1$ ($E_a = 0.20$ эВ, $\sigma_\infty = 10^{-12}$ см 2) отжигается около 120 К в случае, если он заполнен электронами. В области объемного пространственного заряда (ОПЗ), где $EN1$ не был заполнен электронами, отжиг про-



Спектры НЕСГУ образцов n -InP, облученных при 78 К γ -квантами (а) и α -частицами (б).

1 — непосредственно после облучения, 2—6 — изохронный (5 мин) отжиг. T , К: 2 — 126, 3 — 130, 4 — 134, 5 — 138, 6 — 142.

исходил при более низкой температуре — около 100 К. Отжиг центра $EN3$ ($E_a = 0.24$ эВ, $\sigma_\infty = 10^{-13}$ см 2) носил сложный характер и происходил при $T = 150\div 230$ К, что примерно соответствовало третьей стадии восстановления электропроводности в [5]. Ловушки, близкие по параметрам к $EN1$ и $EN3$, ранее наблюдались методом НЕСГУ после облучения n -InP электронами с $E = 1$ МэВ при 25 К [6] и протонами с $E = 100$ кэВ при 4 и 77 К [7].

В отличие от $EN1$ и $EN3$ ловушка $EN2$ ($E_a = 0.17$ эВ, $\sigma_\infty = 10^{-15}$ см 2) ранее в литературе не упоминалась, не наблюдалась она и в случае облучения α -частицами (см. рисунок). Таким образом, характерной особенностью центра $EN2$ является то, что, образуясь со сравнительно высокой скоростью ($\sim 1.3 \cdot 10^{-3}$ см $^{-1}$) при γ -облучении, он практически не вводится при облучении однопикных образцов α -частицами, а также в случае облучения электронами (1 МэВ) [6] и протонами [7]. Отжиг центра $EN2$ в состоянии, заполненном электронами (в нейтральной области), происходил при $T \approx 130$ К, характеризовался кинетикой 1 порядка, а скорость отжига описывалась выражением

$$\tau^{-1} = 3 \cdot 10^{13} \exp(-0.41 \text{ эВ}/kT), \text{ с}^{-1}.$$

Простая кинетика 1 порядка, а также близость предэкспоненциального множителя характерной частоте колебаний кристаллической решетки ($\sim 10^{13} \text{ с}^{-1}$) могут, по-видимому, свидетельствовать в пользу того, что отжиг $EN2$ в данном зарядовом состоянии происходит в результате одного или нескольких атомных прыжков. В зарядовом состоянии без электрона (в ОПЗ) отжиг $EN2$ происходил при более высокой температуре (135–150 К) и характеризовался сложной кинетикой.

Совокупность приведенных данных позволяет предположить, что $EN2$ является одной из конфигураций связанной пары Френкеля с малым расстоянием между ее компонентами. Действительно, поскольку вероятность образования таких дефектов возрастает по мере приближения энергии налетающих электронов к пороговой энергии (100–200 кэВ в случае InP [8]), доля близких пар должна быть значительной в случае γ -облучения, когда существенный вклад в дефектообразование вносят низкоэнергетические комптон- и фотоэлектроны. При повышении средних энергий атомов отдачи, соответствующих облучению электронами с $E \geq 1 \text{ МэВ}$ или ионами, вероятность образования близких пар существенно уменьшается [3, 4]. В пользу идентификации $EN2$ как близкой пары Френкеля свидетельствуют также приведенная выше кинетика отжига, хорошо описывающая аннигиляцию коррелированных пар, а также постоянство скорости введения $EN2$ в образцах различного исходного совершенства.

Заметим, что возможно и другое объяснение влияния вида облучения на эффективность образования дефекта $EN2$. Если $EN2$ является комплексом первичный дефект—примесь, то его низкая скорость введения при α -облучении по сравнению с γ -облучением может быть обусловлена преимущественным образованием комплексов из собственных дефектов вследствие высокой скорости генерации первичных дефектов в каскадах смещений. Отсутствие $EN2$ после облучения протонами и электронами [6, 7] может быть связано с различным примесным составом образцов, использованных в [6, 7] и в настоящей работе. Однако в этом случае трудно объяснить высокую скорость введения $EN2$ при γ -облучении, не зависящую от совершенства исходных структур, и низкую термическую стабильность дефекта.

Таким образом, связанные пары Френкеля, по-видимому, являются одним из основных дефектов в n -InP, облученном γ -квантами ^{60}Co при низкой температуре.

Л и т е р а т у р а

- [1] Емцев В. В., Машовец Т. В. Примеси и точечные дефекты в полупроводниках. М., 1981. 248 с.
- [2] Уоткинс Дж. — В кн.: Точечные дефекты в твердых телах. М., 1979, с. 221–242.
- [3] Винецкий В. Л., Ентинзон И. Р., Холодарь Г. А. — ФТП, 1987, т. 21, в. 4, с. 643–648.
- [4] Витовский Н. А., Емцев В. В., Машовец Т. В. — ФТП, 1983, т. 17, в. 11, с. 1985–1990.
- [5] Брайловский Е. Ю., Карапетян Ф. К., Тартачник В. П. — ФТП, 1979, т. 13, в. 10, с. 2044–2046.
- [6] Suski J., Sibille A., Bourgoin J. — Sol. St. Commun., 1984, v. 49, N 9, p. 875–878.
- [7] Loualiche S., Rojo P., Guillot G., Nouailhat A. — Rev. Phys. Appl., 1984, v. 19, N 3, p. 241–244.
- [8] Massarani B., Bourgoin J. C. — Phys. Rev. B, 1986, v. 34, N 4, p. 2470–2474.

Научно-исследовательский институт
прикладных физических проблем
им. А. Н. Севченко при БГУ
им. В. И. Ленина
Минск

Получено 28.07.1987
Принято к печати 9.10.1987