

05;12

Исследование кинетики разрушения кластеров лития в германии

© В.В. Светухин, П.А. Ильин

Ульяновский государственный университет

E-mail: slava@sv.uven.ru

ГНЦ РФ НИИАР, Димитровград

В окончательной редакции 10 декабря 2001 г.

Исследуется кинетика разрушения кластеров лития в германии. Показано, что кинетика описывается экспоненциальной зависимостью с энергией активации отрыва частицы от кластера 0.31 ± 0.05 eV.

Малый радиус атомов лития обуславливает их большую диффузионную подвижность в решетке германия, поэтому распад пересыщенного твердого раствора лития наблюдается при относительно низких температурах. Если исследованию кинетики кластеризации лития в германии посвящено достаточно много работ [1,2], то данные по кинетике разрушения кластеров отсутствуют. Заметим, что исследования по разрушению кластеров не проводились и для других систем.

Исследовался монокристаллический германий, применяемый для изготовления Ge(Li) детекторов, легированный галлием $(1-1.6) \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ($20-30 \Omega \cdot \text{cm}$), с плотностью дислокаций $(1-4) \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$ и содержанием междоузельного кислорода $(1-3) \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ [3].

Образцы германия в виде пластин толщиной 1–2 mm шлифовались и подвергались химической полировке в смеси $3\text{HNO}_3 + \text{HF}$. Напыление и последующую диффузию лития при 450°C в течение 2 h проводили на модернизированной вакуумной установке УВР-2.

Исследуемый образец помещался в автоматизированную установку для измерения проводимости четырехзондовым методом. Концентрация лития N_{Li} в образцах рассчитывалась с учетом зависимости подвижности электронов $\mu(\rho)$ от удельного сопротивления германия ρ , легированного литием [4], и исходной концентрации акцепторов N_{Ga}

по формуле:

$$N_{\text{Li}} = \frac{1}{q\mu(\rho)\rho} + N_{\text{Ga}}, \quad (1)$$

где q — заряд электрона. Концентрация лития в приготовленных образцах составляла $(7-8) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Из-за достаточно высокой подвижности лития при комнатной температуре наблюдается кластеризация, которую можно регистрировать по изменению проводимости, связанной с переходом донорных атомов лития в электрически неактивные кластеры.

В результате удалось проследить кинетику распада пересыщенного твердого раствора лития. Экспериментальные данные показали, что наблюдаются две стадии распада: быстрая, приводящая к существенному уменьшению концентрации лития в течение 2–3 суток, и „медленная“, продолжающаяся в течение недели. По окончании распада концентрация лития была равна $1.5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

При нагреве исследуемых образцов происходит разрушение кластеров. Кинетика разрушения литиевых кластеров контролировалась по увеличению концентрации лития, не связанного в кластеры и дающего вклад в проводимость. Исследовалась кинетика разрушения кластеров при $T = 70, 80, 90, 100^\circ\text{C}$.

Для исключения вклада собственных носителей каждое измерение концентрации лития проводилось после охлаждения образца до комнатной температуры. За время охлаждения и измерения (около 15 s) относительное изменение концентрации лития из-за его ухода в кластеры составляло менее одного процента.

Анализ экспериментальных данных показал, что полученные зависимости хорошо описываются дифференциальным уравнением

$$\frac{dN_{\text{Li}}}{dt} = -K(T)(N_{\text{Li}}^0 - N_{\text{Li}}^E(T)) \exp\{-K(T)t\}, \quad (2)$$

где $N_{\text{Li}}^E(T)$ — равновесная концентрация лития, N_{Li}^0 — концентрация лития до разрушения кластеров, $K(T)$ — кинетический коэффициент.

На рис. 1 экспериментальные данные сопоставлены с зависимостью, полученной из решения дифференциального уравнения (2):

$$N_{\text{Li}}(t) = N_{\text{Li}}^E(T) + (N_{\text{Li}}^0 - N_{\text{Li}}^E(T)) \exp\{-K(T)t\}. \quad (3)$$

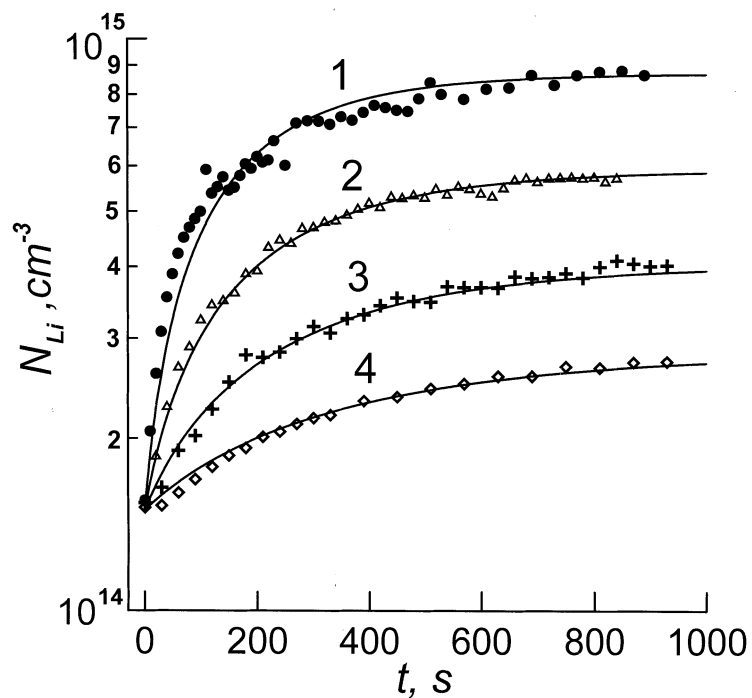


Рис. 1. Кинетика увеличения концентрации лития при разрушении литиевых кластеров. $T, ^\circ\text{C}$: 1 — 100, 2 — 90, 3 — 80, 4 — 70. Точки — экспериментальные данные, сплошная линия — расчет по формуле (3).

Сопоставление экспериментальных данных с решением (3) позволило найти следующие зависимости:

$$N_{\text{Li}}^E(T) = 10^{19} \exp(-0.35/kT), \text{ cm}^{-3}, \quad (4)$$

$$K(T) = 2 \cdot 10^2 \exp(-0.31/kT), \text{ s}^{-1}. \quad (5)$$

Энергия активации разрушения кластера $0.31 \pm 0.05 \text{ eV}$ несколько ниже активации диффузии лития, которая по различным данным равна $0.45\text{--}0.5 \text{ eV}$ [2].

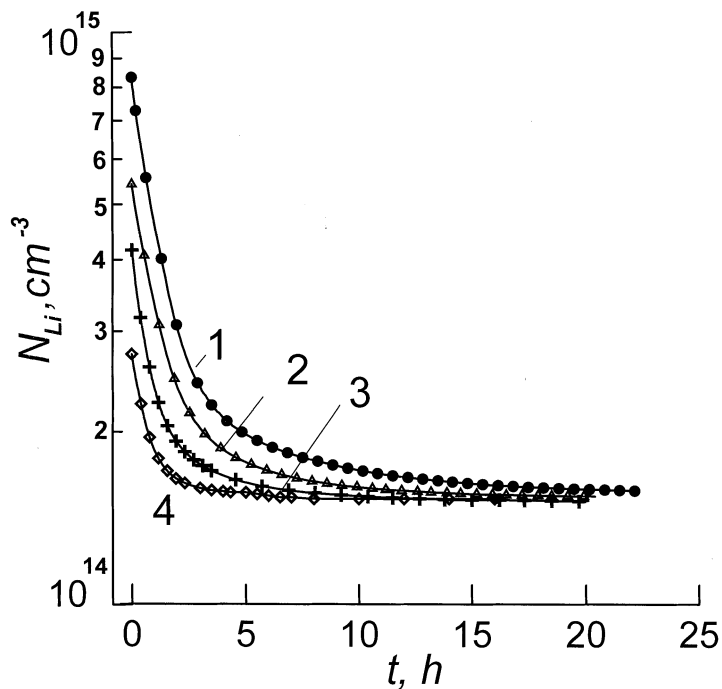


Рис. 2. Кинетика уменьшения концентрации лития при $T = 20^\circ\text{C}$ после отжига, приводящего к частичному разрушению кластеров. $T, ^\circ\text{C}$: 1 — 100, 2 — 90, 3 — 80, 4 — 70.

После прекращения нагрева, приводящего к разрушению кластеров, и при установлении комнатной температуры наблюдается процесс образования кластеров. В течение суток концентрация лития уменьшается до равновесной, соответствующей комнатной температуре (рис. 2). Следует заметить, что распад происходит гораздо быстрее, чем сразу после приготовления образцов. Возможно, это связано с тем, что кластеры разрушаются не полностью, а атомы лития, оторвавшиеся от кластера, уходят от него недалеко.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 01-00209, 01-00283, гранта Министерства образования (Е00-3.2-110) и гранта Министерства РФ по атомной энергии.

Список литературы

- [1] *Фистуль В.И.* Распад пересыщенных полупроводниковых растворов. М.: Металлургия, 1977. 240 с.
- [2] *Болтакс Б.И.* Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках. Л.: Наука, 1972. 384 с.
- [3] *Wichner R., Armantrout G.A., Brown T.G.* // IEEE Trans. Nucl. Sci. 1970. NS-17. P. 160.
- [4] *Гончаров Л.А., Чавлейшвили Н.Г.* // ФТП. 1973. Т. 7. В. 8. P. 308.