

не наблюдалось, т. е. для этих центров $g_r \approx 10^{-5}$ (чувствительность установки ФЛ).

Таким образом, проведенные исследования p -GaAs(Zn) позволили впервые оценить коэффициенты захвата как электронов, так и дырок уровнями, связанными с медью, определить характер переходов носителей на глубокие уровни в p -GaAs(Zn). Сравнение коэффициентов захвата электронов и дырок исследуемыми центрами позволяет сделать вывод о том, что центрами фоточувствительности, по-видимому, являются $H3$ ($c_p \gg c_n$), а $H5$ ответственны за «быструю» рекомбинацию (s -центры, $c_p \approx c_n$), т. е. за время жизни неравновесных электронно-дырочных пар.

Л и т е р а т у р а

- [1] Lang D. V. // J. Appl. Phys. 1974. V. 45. N 7. P. 3029—3032.
- [2] Лебедев А. А., Кузнецов Н. И. // Препринт ФТИ им. А. Ф. Иоффе АН СССР. Л., 1986. № 1046.
- [3] Кечек А. Г., Кузнецов Н. И., Лебедев А. А. // Препринт ФТИ им. А. Ф. Иоффе АН СССР. Л., 1986. № 1144.
- [4] Милнс А. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках. М., 1977. 562 с.
- [5] Лапсарев В. Е., Любченко А. В., Шейнкман М. К. Неравновесные процессы в фотопроводниках. Киев, 1981. 261 с.
- [6] Вовняк В. И., Дмитрук Н. Л., Литовченко В. Г. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 1. С. 156—159.
- [7] Георгобиани Н. Н., Тигиняну И. М. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 1. С. 3—15.
- [8] Shirafuji J. // J. Phys. Soc. Japan. 1964. V. 19. N 12. P. 2342. 1965. V. 20. N 8. P. 1527.
- [9] Kressel H., Dunse J. U., Nelson H., Hawrilo F. Z. // J. Appl. Phys. 1968. V. 39. N 3. P. 2006.
- [10] Kendall D. L. // Semiconductors and Semimetals. N. Y., 1968. V. 4. P. 763.
- [11] Алфёров Ж. И., Гарбузов Д. З., Жилиев Ю. В., Морозов Е. Л., Портной Е. Л. // ФТП. 1968. Т. 2. В. 10. С. 1441—1447.

Институт полупроводников АН УССР
Киев

Получено 29.06.1988
Принято к печати 28.11.1988

ФТП, том 23, вып. 4, 1989

ВЛИЯНИЕ ГЕРМАНИЯ НА ОБРАЗОВАНИЕ ТЕРМОДОНОРОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ

Дашевский М. Я., Корляков Д. Н.

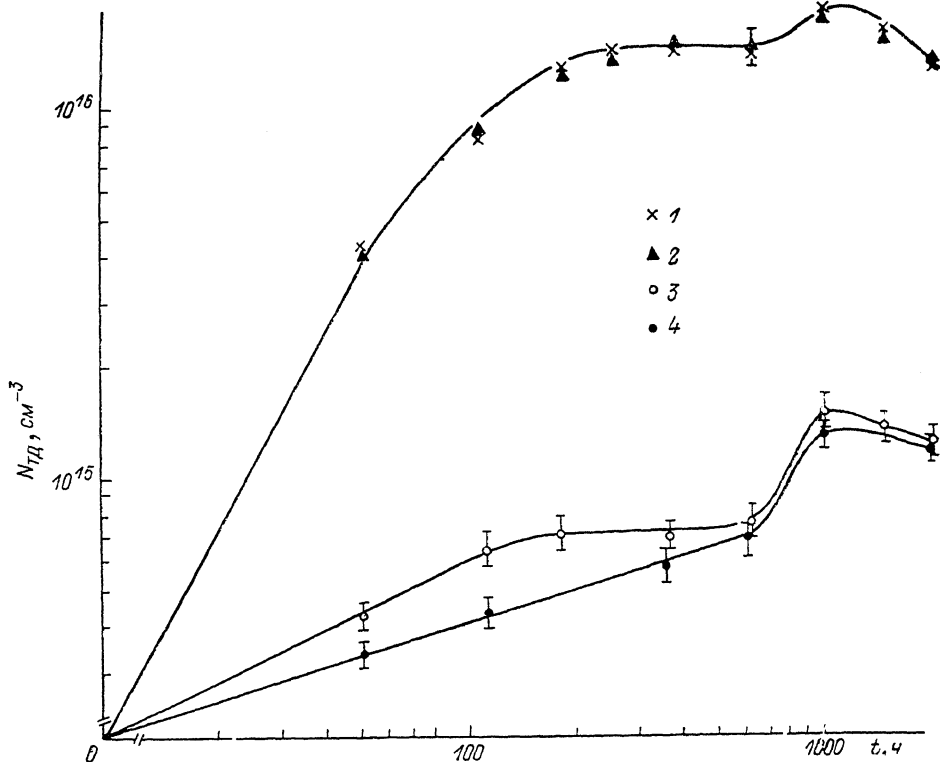
Изучению влияния изовалентного легирования кремния, в частности легирования его германием, на термодонорный эффект посвящен ряд работ [1-5]. Обнаружено, что введение германия в кремний замедляет кинетику образования термодоноров-1 (ТД-1) при $T=450$ °С [1-4] и уменьшает их максимальную концентрацию [2, 3]. Однако авторами [5] найдено, что легирование германием не влияет на концентрацию ростовых термодоноров в монокристаллах кремния. По-видимому, образцы, исследованные в работах [1-5], различались по содержанию кислорода.

В связи с этим целью настоящей работы явилось изучение влияния легирования германием на кинетику образования и максимальную концентрацию ТД-1 в монокристаллах кремния с различным содержанием кислорода.

Объекты и методики исследования

Объектами исследования служили бездислокационные монокристаллы кремния и кремния, легированного германием ($N_{Ge}=10^{20}$ см⁻³), выращенные в направлении $\langle 111 \rangle$ по методу Чохральского. Концентрации фосфора, кислорода и углерода в ростовых монокристаллах составили $(1-4) \cdot 10^{14}$, $(6-12) \cdot 10^{17}$, $4 \cdot 10^{16}$ см⁻³ соответственно. Исходные образцы были подвергнуты термообра-

ботке при $T=(450 \pm 5)^\circ\text{C}$ в течение до 2000 ч. После термообработки перед измерениями с образцов снимали слой ~ 50 мкм. Концентрацию ТД-1 рассчитывали по формуле $N_{\text{ТД-1}} = n_{\text{ТО}} - n_0$, где $N_{\text{ТД-1}}$ — концентрация ТД-1, $n_{\text{ТО}}$ — концентрация электронов в образце после термообработки, n_0 — концентрация электронов в образце до термообработки. Концентрация электронов рассчитывалась из величины коэффициента Холла, найденного при измерениях методом Ван-дер-Пау образцов размерами $(8 \div 10) \times (8 \div 10)$ мм и толщиной $2 \div 4$ мм. Ошибка определения концентрации электронов составила $\pm(8 \div 10)\%$. Концентрации



Кинетика образования термодоноров-1 ($T=450^\circ\text{C}$) в монокристаллах кремния (1, 3) и кремния, легированного германием (2, 4).

$N_0 \cdot 10^{-18}, \text{cm}^{-3}$: 1, 2 — 1; 3, 4 — 0.6.

кислорода и углерода определялись по величинам коэффициентов поглощения на длинах волн $\lambda=9.1$ и 16.5 мкм соответственно. Ошибка измерения этих величин равнялась $\pm(15 \div 25)\%$.

Результаты и их обсуждение

На рисунке представлена кинетика формирования ТД-1 при $T=450^\circ\text{C}$ в монокристаллах кремния и кремния, легированного германием, с различным содержанием кислорода. Введение германия в монокристаллы кремния с концентрацией кислорода, большей 10^{18}cm^{-3} , не влияет на кинетику образования и максимальную концентрацию ТД-1 (кривые 1, 2). При концентрациях кислорода $N_0=6 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-3}$ в монокристаллах кремния, легированного германием, замедляется скорость образования ТД-1 (кривые 3, 4).

Термодоноры, видимо, являются кислородными образованиями, возникающими на ранних стадиях распада пересыщенного твердого раствора кислорода в кремнии [2, 4, 6]. Введение германия в монокристаллы кремния с содержанием кислорода $N_0 \leq 6 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-3}$, вероятно, замедляет процессы распада пересыщенного твердого раствора кислорода в кремнии, что может быть связано с влиянием германия на растворимость кислорода в кремнии. Кроме того, можно

предположить, что германий, вводя упругие поля напряжений сжатия в матрицу кремния, замедляет диффузию междоузельного кислорода.

Введение германия в монокристаллы кремния с большим содержанием кислорода не влияет на концентрацию ТД-1. Это, видимо, связано с тем, что легирование германием не сильно влияет на величину пересыщения твердого раствора кислорода в кремнии, а также на величину коэффициента диффузии междоузельного кислорода. Таким образом, скорость протекания процессов распада в монокристаллах кремния, легированного германием ($N_O \geq 10^{18} \text{ см}^{-3}$), будет определяться, в первую очередь, большой величиной пересыщения.

Л и т е р а т у р а

- [1] Дашевский М. Я., Докучаева А. А., Корляков Д. Н., Салманов А. Р., Хашимов Ф. Р. // Изв. АН СССР. Неорг. матер. 1988. Т. 24. В. 9. С. 1413—1418.
- [2] Дашевский М. Я., Докучаева А. А., Анисимов К. И. // Изв. АН СССР. Неорг. матер. 1986. Т. 22. В. 10. С. 1599—1602.
- [3] Бабицкий Ю. М., Горбачева Н. И., Гринштейн П. М. // ФТП. 1984. Т. 18. В. 7. С. 1308—1314.
- [4] Дашевский М. Я., Корляков Д. Н., Миляев В. А., Никитин В. А. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 6. С. 1146—1149.
- [5] Левшин Е. С., Пузанов Н. И., Сухарева Н. С., Эйдензон А. М. // Изв. АН СССР. Неорг. матер. 1988. Т. 24. В. 5. С. 709—714.
- [6] Yoichi Kamiura, Fumio Hashimoto, Kazuyoshi Endo // Appl. Phys. 1987. V. 61. N 7. P. 2478—2485.

Московский институт стали и сплавов

Получено 6.10.1988
Принято к печати 28.11.1988

ФТП, том 23, вып. 4, 1989

МЕЖЗОННОЕ СМЕШИВАНИЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПОДВИЖНОСТЬ ДЫРОК В ИОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ С ВЫРОЖДЕННОЙ ВАЛЕНТНОЙ ЗОНОЙ

Перлин Ю. Е., Гифейсман Ш. Н., Корочану В. П.

В полупроводниковых соединениях $A^{IV}B^{VI}$ и $A^{III}B^{V}$ с вырожденным потолком валентной зоны Γ_8 вследствие частично ионного характера химической связи наряду с гомеоплярными механизмами рассеяния дырок необходимо учитывать также взаимодействие с поляризационными оптическими и пьезоакустическими колебаниями. Эта задача ранее рассматривалась в [1], однако там не было исследовано влияние межзонного рассеяния на подвижность каждого сорта дырок. Этот анализ представляет собой основную цель настоящей работы.

Для целого ряда полупроводников с вырожденной зоной в уравнении метода эффективной массы можно ограничиться сферически симметричным матричным (4×4 для зоны Γ_8) гамильтонианом

$$H_0(k) = \frac{\hbar^2}{2m} [ak^2 + 1 + b(I, k)^2], \quad (1)$$

где I_x, I_y и I_z — матрицы углового момента со спином $3/2$, a и b — параметры, выражаемые через эффективные массы тяжелых и легких дырок μ_h и μ_l . При этом в низшем по k приближении для плавных волновых функций метода эффективной массы получается [2]