

постоянной Хоуге для объемной компоненты шума $1/f$ в обычном дислокационном кремнии меньше $\alpha \sim 2 \cdot 10^{-5}$, если в процессе приготовления образцов в материал не вносятся структурные дефекты [6].

Авторы признательны С. Н. Вайнштейну и С. Л. Румянцеву за помощь в работе.

Л и т е р а т у р а

- [1] Hooge F. N., Kleinpenning T. G. M., Vandamme L. K. G. — Rep. Prog. Phys., 1981, v. 44, N 5, p. 480—532.
- [2] Clevers R. H. — In: Proc. 8 Int. Conf. Noise in Phys. Syst. Rome, 1985, p. 411—414.
- [3] Luo J., Love W. F., Miller S. C. — J. Appl. Phys., 1986, v. 60, N 9, p. 3196—3198.
- [4] Bosman G., Zijlstra R., Van Rheezen A. — Physica, 1982, v. 112B, N 3, p. 188—196.
- [5] Black R. D., Weissman M. B., Restle P. J. — J. Appl. Phys., 1982, v. 53, N 9, p. 6280—6284.
- [6] Vandamme L. K. G., Oosterhoff S. — J. Appl. Phys., 1986, v. 59, N 9, p. 3169—3174.
- [7] Алекперов С. А., Гусейнов Н. Я., Каджар Ч. О., Салаев Э. Ю. — ФТП, 1986, т. 20, в. 8, с. 1549—1551.
- [8] Bisschop J., Cuijpers J. L. — Physica, 1983, v. 123B, N 1, p. 6—10.
- [9] Stroeken J. T. M., Kleinpenning T. G. M. — J. Appl. Phys., 1976, v. 47, N 10, p. 4691—4692.
- [10] Вайнштейн С. Н., Левинштейн М. Е., Румянцев С. Л. — Письма ЖТФ. 1987, т. 13, в. 11, с. 645—648.
- [11] Palenskis V., Shoblitskas Z. — Sol. St. Commun., 1982, v. 43, N 10, p. 761.
- [12] Шоблицкас З., Паленскис В. — Лит. физ. сб., 1985, т. 25, № 3, с. 88—97.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Получено 8.12.1987
Принято к печати 18.12.1987

ФТП, том 22, вып. 6, 1988

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ НА СЕЧЕНИЕ ЕЕ ФОТОИОНИЗАЦИИ (ИОН Zn^- В ГЕРМАНИИ)

Галкин М. Г., Курбатов В. А., Соловьев Н. Н.

Концентрационная зависимость сечения фотоионизации примесных центров в полупроводниках до настоящего времени не обсуждалась. Имеющиеся в литературе экспериментальные данные немногочисленны и не носят систематического характера, что не позволяет надежно установить наличие либо отсутствие такой зависимости. Вычисленные на основании приводимых в некоторых публикациях данных (см., например, [1, 2]) величины сечений фотоионизации для образцов с различной концентрацией исследуемых примесных центров имеют, однако, существенный разброс, который, по-видимому, нельзя объяснить только погрешностями оптических измерений.

В настоящей работе представлены результаты измерений сечения фотоионизации иона Zn^- в германии в непрерывной области спектра поглощения ($\hbar\omega \geq E_I$, где $E_{IZn^-} = 86.5$ мэВ [3]) для образцов с концентрацией цинка от $2 \cdot 10^{15}$ до 10^{17} см $^{-3}$.

Для повышения надежности оптических измерений были дополнительно проведены измерения поглощения на фиксированной длине волны CO_2 -лазера, а для точного определения величин концентраций примесей обработка результатов холловских измерений проводилась с учетом влияния случайного поля [4].

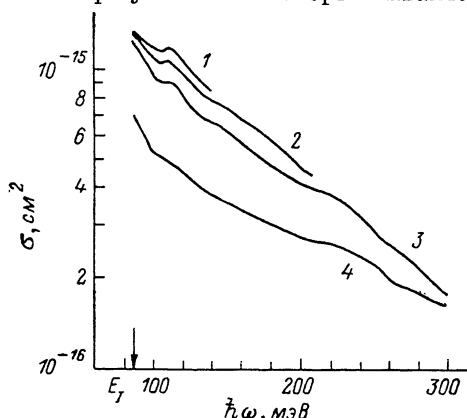
Измерения спектральной зависимости поглощения образцов проводились при азотных температурах с помощью решеточного спектрофотометра. Образцы имели площадку 16×6 мм и толщину от 0.3 до 1 мм в зависимости от концентрации примеси. Для компенсации отражения, а также поглощения кристаллической решеткой в канал опорного луча помещался образец из чистого германия.

Для измерений поглощения с использованием CO_2 -лазера использовались образцы клиновидной формы, чтобы устранить интерференцию излучения при

множественных отражениях от граней, при этом как исследуемые, так и эталонные образцы имели строго одинаковую форму.

Во всех исследованных образцах первый энергетический уровень цинка был полностью компенсирован мелкими донорами и не давал вклада в поглощение.

Полученные спектральные зависимости сечения фотоионизации иона Zn^- для ряда образцов показаны на рисунке. Видно, что сечение фотоионизации во всем спектральном диапазоне уменьшается при увеличении концентрации цинка, причем эта зависимость ослабляется по мере увеличения энергии кванта. Измеренные величины сечений фотоионизации на длине волны 10.6 мкм, т. е. в области наиболее сильной концентрационной зависимости, а также данные о концентрациях примесей, найденные из холловских измерений, приведенные в таблице. Звездочкой помечены результаты, полученные из спектров пропускания. Результаты двух спосо-



Спектральные зависимости сечения фотоионизации иона Zn^- в германии для ряда образцов с различной концентрацией цинка.

$T=69$ К. Образцы: 1 — 13-29, 2 — 13-19, 3 — 13-6, 4 — 4-8.

бов измерений хорошо согласуются. При малых концентрациях сечение фотоионизации составляет $\approx 1.2 \cdot 10^{-15}$ см², а при повышении концентрации цинка до 10^{17} см⁻³ оно уменьшается в 3—4 раза.

Для понимания природы этой зависимости принципиальным, на наш взгляд, является то обстоятельство, что доля заряженных примесей во всех исследованных образцах была значительной, поскольку степень компенсации в них превышала единицу. Случайное поле, создаваемое заряженными примесями, может двояким образом влиять на сечение фотоионизации. С одной стороны, погло-

№ образца	$N_{Zn}, 10^{15} \text{ см}^{-3}$	$N_{\text{полр}} = 2N_{Zn} - N_D, 10^{15} \text{ см}^{-3}$	$\sigma_{Zn^-} (10.6 \text{ мкм}), 10^{-16} \text{ см}^2$
014-24	2.5	2.3	13
13-29	3.9	1.4	11*
014-41	4.4	3.9	10
13-16	5.6	2.6	10.6*
13-19	7.2	2.8	10*
13-12	9.0	5.2	9.6
13-6	13	5.0	8.6*
014-30	14	7.1	7.7
13-3	20	6.5	8.1*
101-11	33	27	6.6
4-8	64	57	4.5*
7-9	91	70	3.0

Примечание. Точность определения сечения фотоионизации составляет для образца 7-9 ± 30 , для образца 4-8 ± 20 , для остальных образцов $\pm (10-15) \%$.

щающий центр непосредственно находится в поле, и, следовательно, имеет место локальный эффект электропоглощения. Оценки показывают, однако, что характерное значение поля (кулоновское поле на среднем межпримесном расстоянии) может привести лишь к малым поправкам к сечению. Воспользуемся, например, результатами работы [5], где рассчитано влияние электрического поля F на сечение фотоионизации глубокого центра. Параметр $\gamma = Fa_I/E_I$, где a_I и E_I — соответственно радиус и глубина залегания основного состояния, не превышает значения 10^{-2} во всем диапазоне концентраций в исследованных образцах. При этом изменение сечения фотоионизации не превосходит величины

10^{-3} . С другой стороны, случайное поле может быть рассмотрено неколлективно как возмущение, приводящее к некоторой деформации закона дисперсии дырок в кристалле, т. е. к концентрационной зависимости зонных параметров, определяющих величину сечения фотоионизации. Действительно, существуют экспериментальные данные [6], подтверждающие наличие зависимости эффективной массы тяжелых дырок в германии от концентрации электрически активных примесей.

Следует отметить, что перенормировка зонных состояний должна сказаться на неколлективизованном конечном состоянии. Напротив, состояния, которые достаточно хорошо локализованы в области, меньшей радиуса корреляции случайного поля, не подвержены его влиянию и формируются из невозмущенных зонных состояний. В самом деле, как показано в [7], положение линий в спектре фотовозбуждения иона Zn^{-} , соответствующих переходам на низколежащие возбужденные состояния, не изменяется при увеличении концентрации по крайней мере до $(2 \div 3) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

Таким образом, есть, на наш взгляд, все основания предполагать, что обнаруженная зависимость сечения фотоионизации иона Zn^{-} от концентрации связана с деформацией закона дисперсии дырок под действием поля, создаваемого заряженными примесями.

Авторы выражают благодарность Н. А. Пенину за обсуждение работы, а также Г. А. Асланову и Т. М. Бурбаеву за помощь при проведении холловских измерений.

Л и т е р а т у р а

- [1] Сидоров В. И., Сушко Т. Е., Шульман А. Я. — ФТТ, 1966, т. 8, в. 7, с. 2022—2024.
- [2] Thomas G. A. et al. — Phys. Rev. B, 1981, v. 23, N 10, p. 5472—5494.
- [3] Butler N. R., Fisher P. — Phys. Rev. B, 1976, v. 13, N 12, p. 5465—5475.
- [4] Бурбаев Т. М., Курбатов В. А., Пенин Н. А. — ФТП, 1981, т. 15, в. 8, с. 1486—1491.
- [5] Виноградов В. С. — ФТТ, 1971, т. 13, в. 11, с. 3266—3274.
- [6] Bagguley D. M. S., Stradling R. A., Whiting J. S. S. — Proc. Roy. Soc., 1961, v. A262, N 1310, p. 340—364.
- [7] Галкин М. Г., Пенин Н. А., Соловьев Н. Н. — ФТП, 1983, т. 17, в. 4, с. 740—742.

Физический институт
им. П. Н. Лебедева АН СССР
Москва

Получено 5.06.1987
Принято к печати 21.12.1987

ФТП, том 22, вып. 6, 1988

НАКОПЛЕНИЕ $E3$ -ЦЕНТРОВ В n -GaAs ПРИ γ -ОБЛУЧЕНИИ В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР $77 \div 580$ К

Брудный В. Н., Пешев В. В., Притулов А. М.

Авторами [1] было показано, что эффективности накопления $E3$ -центров ($E_c - 0.33$ эВ) при γ -облучении n -GaAs в интервале температур $300 \div 580$ К для нейтральной области (НО) и области пространственного заряда (ОПЗ) существенно различаются. В настоящей работе аналогичные исследования выполнены в интервале температур $77 \div 580$ К. Предложена аналитическая модель, описывающая эффективность накопления $E3$ -центров в НО и ОПЗ при различных температурах облучения.

Для исследований использованы диоды с барьером Шоттки, полученные напылением Ti на эпитаксиальный n -GaAs с $n = (1 \div 3) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Облучение γ -квантами ^{60}Co проводилось при различных температурах одинаковыми интегральными потоками $D = 1.4 \cdot 10^{17} \text{ кв/см}^2$ в течение 46 ч при напряжениях смещения на диоде $U = 0$ и -40 В. При прекращении облучения напряжение на диоде снималось и диод нагревался до 300 К. Концентрация $E3$ -центров оценивалась из измерений нестационарной емкостной спектроскопии (НЕСГУ).