

©1995 г.

ФОТОПРОВОДИМОСТЬ, СВЯЗАННАЯ С ПРИМЕСЬЮ ТЕЛЛУРА В ГЕРМАНИИ

А.Ю.Ушаков, Н.Б.Радчук, Р.М.Штеренгас

Государственный технический университет,

195251, Санкт-Петербург, Россия

(Получена 23 августа 1994 г. Принята к печати 16 августа 1994 г.)

Исследовался энергетический спектр атомов теллура в германии. Показано, что пик большой амплитуды при 375 мэВ в спектрах фотопроводимости вызван переходами в возбужденное состояние ионов теллура. Зарядовое состояние контролировалось легированием галлия.

Материал для исследования приготавливался двумя методами — диффузией и кристаллизацией в графитовой лодочке в градиентной печи. В обоих случаях германий находился в вакуумированной и отпаянной кварцевой ампуле, в которую после отжига и охлаждения без разгерметизации вводилась навеска теллура. Поскольку германий образует с халькогенами летучие соединения, для уменьшения эрозии поверхности образцов при диффузии в ампулу помещалось небольшое количество порошка германия. Диффузия проводилась при температуре 870 °С в течение 10 ч. В качестве исходного материала использовался германий *p*-типа проводимости с концентрацией галлия $7 \cdot 10^{13} \div 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Изменением степени компенсации донора теллура были получены образцы с различными преимущественными зарядовыми состояниями халькогена — от нейтрального до +2.

Образцы контролировались по гальваномагнитным измерениям. Удельное сопротивление материала со средней степенью компенсации при 77 К достигало $2 \cdot 10^5 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Предельная растворимость электрически активного теллура в рекристаллизованных образцах составляла $9 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, коэффициент сегрегации — порядка 10^{-4} . При диффузии концентрация теллура равнялась $8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, коэффициент диффузии превышал $10^{-7} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Эти данные находятся в хорошем соответствии с данными авторов работ [1,2]. Контакты к образцам создавались нанесением никеля из электролита на шлифованную поверхность. Как показала проверка, такие контакты являются омическими и неинжектирующими на материалах *n*- и *p*-типа проводимости во всем диапазоне рабочих температур.

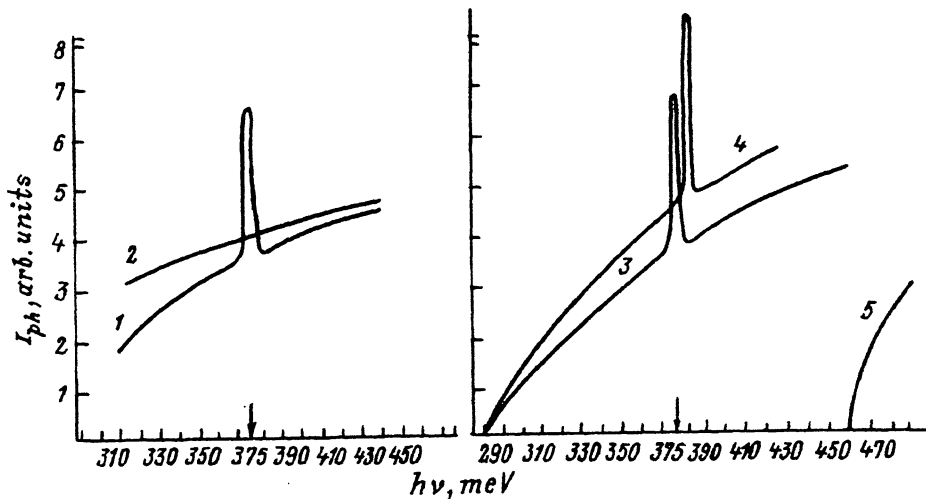


Рис. 1. Спектральные зависимости фототока (I_{ph}) в германии, легированном теллуром в концентрации $N_{Te} = 8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. N_{Ga} , см^{-3} : 1, 2 — $7 \cdot 10^{13}$; 3, 4 — $9 \cdot 10^{14}$; 5 — $1.8 \cdot 10^{15}$. T , К: 1, 3, 5 — 77; 2, 4 — 52.

Спектры фотопроводимости регистрировались на установке, состоящей из монохроматора с дифракционными решетками 200 и 50 штрихов/мм, криостата, поддерживающего температуры образцов 77 и 52 К при откачке паров азота. Блок электроники содержал избирательный усилитель, синхронный детектор и двухкоординатный самописец.

Основная цель данной работы — выявление природы и условий появления в спектре фотопроводимости германия, легированного теллуром, узкого пика при энергии фотонов 375 мэВ, обнаруженного нами ранее [3] и по сей день не наблюдавшегося другими исследователями. На том этапе работы можно было заключить, что малая ширина пика, 5 мэВ на уровне 0.5 от амплитудного значения, и большой уровень сигнала фотопроводимости свидетельствуют о переходах в возбужденное состояние.

Результаты измерений спектров фотопроводимости отображены на рис. 1. В образцах n -типа проводимости (с минимальной компенсацией) при $T = 52 \text{ К}$ наблюдается фотопроводимость с участием нейтральных атомов теллура, с граничной энергией фотонов 0.095 эВ. Аналогичные результаты были получены и в наших ранних экспериментах [3], а также другими авторами [4]. Повышение температуры того же образца до 77 К приводит к смещению красной границы фотоэффекта до 280 мэВ (рис. 1, кривая 1) за счет термической ионизации атомов теллура. При этом на фоне примесной фотопроводимости возникает в области энергий порядка 375 мэВ упоминавшийся пик переходов в возбужденные состояния.

При равных концентрациях теллура и галлия спектры фотопроводимости аналогичны предыдущему случаю (рис. 1, кривые 3 и 4), но снижение температуры сопровождается ростом амплитуды пика и смещением его в область больших энергий, что соответствует отрицатель-

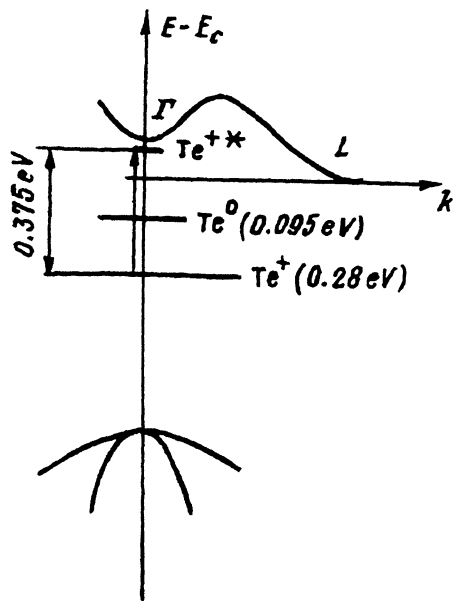


Рис. 2. Энергетические состояния теллура в германии: Te^{++*} — возбужденное состояние иона теллура, Te^+ — однократно ионизованный атом теллура, Te^0 — нейтральный атом теллура.

ному температурному коэффициенту ширины запрещенной зоны как в L -, так и в Γ -точке зоны Бриллюэна. Кривая 5 на рис. 1 соответствует образцу p -типа проводимости с $N_{\text{Ga}} \geq 2N_{\text{Te}}$, здесь примесная фотопроводимость вызвана переходами электронов из валентной зоны на пустой нижний уровень иона теллура с граничной энергией 0.46 эВ (N_{Ga} , N_{Te} — концентрации Ga и Te соответственно).

Полученные результаты объясняются с помощью рис. 2. В условиях, когда атомы теллура преимущественно однократно ионизованы, переходы ионов Te^+ в возбужденное состояние сопровождаются затем передачей электронов в зону проводимости. Вероятность переходов в возбужденное состояние значительно превышает вероятность прямых переходов с уровня Te^+ в L -состояние зоны, и амплитуда пика значительно превышает величину фоновой примесной фотопроводимости, причем в некоторых образцах на порядок. Возбужденное состояние оказывается расположенным приблизительно на 40 мэВ ниже минимума зоны проводимости в Γ -точке и, по-видимому, преимущественно взаимодействует с этим изотропным экстремумом зоны. В пользу такой связи свидетельствует и синглетный характер линии возбужденного состояния, в то время как обычно в многодолинных полупроводниках расщепляются и основные, и возбужденные состояния примесей, как это предсказывается теорией и наблюдается экспериментально [4,5].

Список литературы

- [1] W.W. Tyler. J. Phys. Chem. Sol., 8, 59 (1959).
- [2] В.Д. Игнатков, В.Е. Косенко. ФТТ, 4, 1627 (1962).
- [3] Н.Б. Радчук, А.Ю. Ушаков. ФТП, 16, 1855 (1982).
- [4] H.G. Grimmeiss, L. Montelius, K. Larsson. Phys. Rev. B, 37, 6916 (1988).
- [5] J.H. Reuszer, P. Fisher. Phys. Rev. A, 135, 1125 (1964).

Редактор Л.В. Шаронова

Photoconductivity caused by the tellurium impurity in germanium

A. Yu. Ushakov, B. R. Radchuk, R. M. Shterengas

State Technical University, 195251 St.-Petersburg, Russia

Energy spectrum of tellurium atoms in germanium has been investigated. A large peak at 375 meV in the photoconductivity spectra is shown to be due to transitions of tellurium ions into the excited state. Tellurium charge state was controlled by gallium doping.
