

ГЛУБОКИЕ УРОВНИ В ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЕ НЕЛЕГИРОВАННОГО РЬТЕ

Ковалев А. Н., Остробородова В. В., Фоломин П. И.

Впервые по спектрам фотолюминесценции при 77 К обнаружены три глубоких уровня в запрещенной зоне нелегированного теллурида свинца: E_v+165 , E_v+115 , E_v+105 мэВ. Результаты подтверждены измерениями фотопроводимости и температурной зависимости коэффициента Холла.

Известно, что собственные дефекты определяют свойства нелегированных халькогенидов свинца. Тем не менее вопрос об энергетическом положении уровней, обусловленных собственными дефектами, оказывается сложным и недостаточно изученным. Особый интерес представляет исследование локальных состояний вакансий теллура, ответственных за электронную проводимость

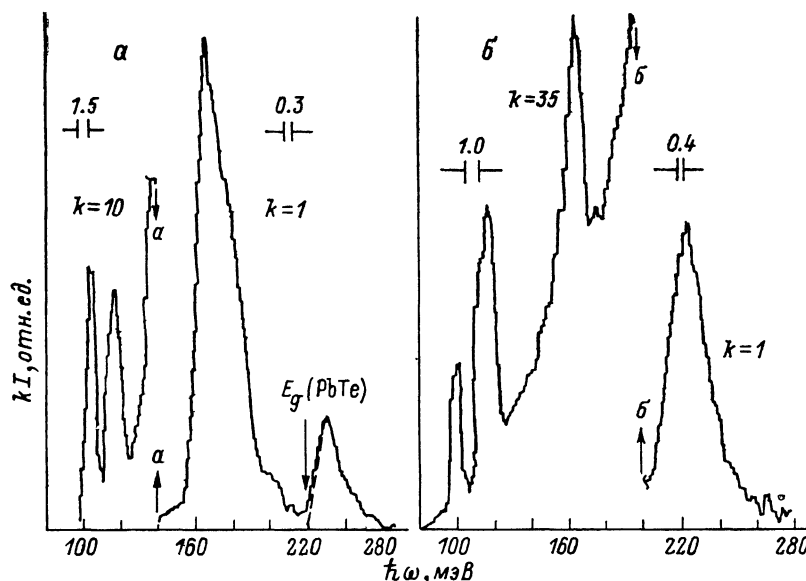


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции образцов РЬТЕ при 77 К.

Образцы: а — 527, б — 567.

в РЬТЕ и $Pb_{1-x}Sn_xTe$. Возможность существования таких состояний, имеющих энергетическое положение, близкое к запрещенной зоне, следует из работ [1, 2].

Ранние эксперименты свидетельствовали об отсутствии термического и магнитного вымораживания носителей заряда на локальных уровнях в запрещенной зоне халькогенидов свинца с концентрацией $n > 10^{17}$ см⁻³ [3]. Однако более поздние исследования оптических эффектов в магнитном поле, фотопроводимости, температурной зависимости коэффициента Холла и др. [4, 5] указывают на существование уровней дефектов, вырожденных как с континуумом зоны проводимости, так и в запрещенной зоне. Из анализа резонансных

магнитооптических переходов в PbTe при 4.2 К [6] сделан вывод о наличии уровня, расположенного на 80 мэВ под дном зоны проводимости (E_c), в [7] по спектрам фотолюминесценции (ФЛ) показано существование уровня $E_c - 10$ мэВ при 4.2 ÷ 30 К. В ряде работ для объяснения результатов привлекается представление о присутствии уровней в запрещенной зоне [8, 9]. Их число и энергетические положения достаточно разнообразны.

Исследования выполнены на монокристаллических слоях PbTe, выращенных методом горячей стенки (ГС) в квазизамкнутом объеме на свежих сколах BaF₂. Разработанным нами методом [10] многократной непрерывной возгонки-кристаллизации исходный материал предварительно подвергали глубокой очистке и в условиях удаления избыточного компонента приводили к составу, соответствующему минимальному давлению паров для выбранной температуры испарения. Содержание примесей в образцах было ниже 10⁻⁶ вес%. Варьируя температуру испарения в системе ГС, мы получали слои с различной степенью компенсации собственных дефектов — вакансий теллура и свинца. Условия выращивания обеспечивали преобладание дефектов по Шоттки [11]. Последующие отжига не применяли. Исследование ФЛ было проведено на трех компенсированных образцах PbTe с концентрациями $n_{77} = 1.7 \cdot 10^{16}$ см⁻³ (образец 527), $p_{77} = 6.44 \cdot 10^{16}$ см⁻³ (257), $p_{77} \leq 10^{15}$ см⁻³ (567) при возбуждении образцов неодимовым лазером с энергией кванта 1.17 эВ по методике, описанной в [12]. В интервале $T = 80 \div 220$ К в образцах наблюдались четыре пика в спектрах ФЛ. Температурные зависимости энергетических положений максимумов следующие:

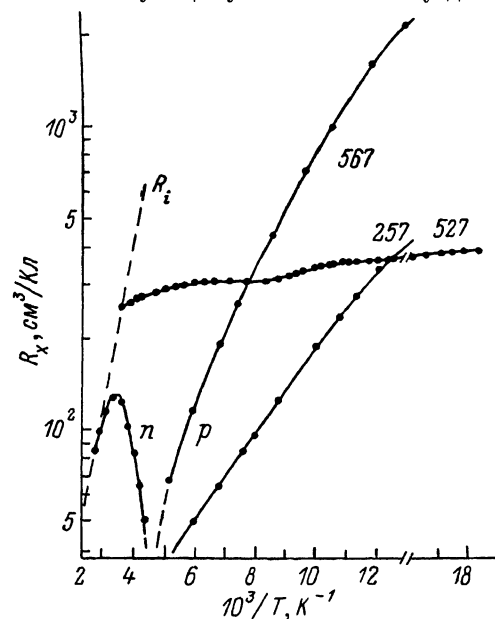


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента Холла.

Числа у кривых — номера образцов.

В образцах 527 и 257 интенсивность излучения с энергией E_1 при 80 К в 4.5 раза выше интенсивности излучения, обусловленного межзонной рекомбинацией. В образце 567 наиболее интенсивным было межзонное излучение.

Подтверждением результатов ФЛ являются температурные зависимости коэффициента Холла $R(T)$ (рис. 2). Увеличение $R(T)$ у образцов с уменьшением температуры в интервале 100 ÷ 300 К связано с изменением концентрации носителей, обусловленным вымораживанием носителей на уровнях в запрещенной зоне. Удовлетворительное согласие расчетных кривых с экспериментальными кривыми $R(T)$ достигается при предположении, что уровень с энергией E_1 — акцепторный с $N_A = (1.5 \div 4.5) \cdot 10^{17}$ см⁻³, а уровни E_2 и E_3 — донорные с $N_{D1} = (0.8 \div 2) \cdot 10^{17}$, $N_{D2} = (1 \div 6) \cdot 10^{16}$ см⁻³.

Результаты подтверждены измерениями фотопроводимости ФП. Наличие примесной проводимости в образце 257 свидетельствует о том, что уровень с E_1 лежит выше середины запрещенной зоны и является акцепторным.

Все обнаруженные в запрещенной зоне уровни связаны с существованием вакансий теллура и вакансий свинца с сильно локализованным возмущающим потенциалом.

Очищая исходный материал от остаточных примесей и выращивая из него монокристаллические слои с высоким структурным совершенством, мы способствовали подавлению безызлучательной рекомбинации и выявлению каналов излучательной рекомбинации через глубокие уровни в запрещенной зоне образцов с низкой концентрацией носителей заряда.

Л и т е р а т у р а

- [1] Parada N. J., Pratt G. W. — Phys. Rev. Lett., 1969, v. 22, p. 180—182.
- [2] Волков Б. А., Осипов В. В., Панкратов О. А. — ФТП, 1980, т. 14, в. 7, с. 1387—1389.
- [3] Bauer G., Burkhard H. — J. Appl. Phys., 1976, v. 47, N 4, p. 1721—1723.
- [4] Heinrich H. — In: Narrow Gap Semicond. Phys. Appl. Lect. Not. Phys., 1980, v. 133, p. 407—426.
- [5] Сизов Ф. Ф., Орлецкий В. Б., Радченко М. В. — ФТП, 1980, т. 14, в. 11, с. 2117—2127.
- [6] Niewodniczanska-Zawadzka L., Lischka K. — Acta Phys. Polon., 1985, v. A67, p. 33—37.
- [7] Kaufmann V. — Phys. St. Sol. (a), 1984, v. 81, p. K31—K35.
- [8] Тетеркин В. В., Сизов Ф. Ф., Чопик В. Ю. — В кн.: Примеси и дефекты в узкозонных полупроводниках. Павлодар, 1987, с. 24—27.
- [9] Курбатов А. Л., Полчкова Н. Д., Романов О. Г. — ФТП, 1982, т. 16, в. 2, с. 356—357.
- [10] Ковалев А. Н., Парамонов В. И. — Электрон. техн., Материалы, 1986, № 4, с. 26—31.
- [11] Ковалев А. Н., Фоломин П. И. — В кн.: Примеси и дефекты в узкозонных полупроводниках. Павлодар, 1987, с. 20—24.
- [12] Золотов С. И., Юнович А. Э. — ПТЭ, 1985, № 6, с. 185—187.

Московский
институт стали и сплавов

Получена 1.12.1987
Принята к печати 18.03.1988