

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ МАРГАНЕЦ—РТУТЬ—ТЕЛЛУР p -ТИПА

Трифонова М. М., Барышев Н. С., Мезенцева М. П.,
Ахмедова Ф. И., Аверьянов И. С.

Электрические свойства эпитаксиальных слоев марганец—ртуть—теллур (МРТ) n -типа изучались нами в [1]. В данном сообщении приводятся результаты исследования электрических свойств слоев p -типа, полученных также методом жидкофазной эпитаксии из теллурических растворов-расплавов на подложках из полированного кварца. Выращенные слои толщиной до 4 мкм были монокристаллическими, без малоугловых границ, с плотностью дислокаций $\sim 10^4$ см $^{-2}$; концентрация дырок в них была порядка 10^{17} см $^{-3}$, подвижность дырок — $(2+5) \cdot 10^2$ см 2 /(В·с) при температуре жидкого азота. С целью снижения концентрации носителей заряда выращенные слои подвергались длительному отжигу в парах ртути. В исследованиях использовались слои с низкими концентрациями дырок в низкотемпературной области, на которых не наблюдалось холловских аномалий. Измерения коэффициента Холла R_H и электропроводности σ проводились шестизондовым методом на образцах толщиной 0.8 ± 1 мкм в интервале температур от комнатной до температуры жидкого гелия.

Температурные зависимости коэффициента Холла и электропроводности для двух образцов $Mn_xHg_{1-x}Te$ с составами $x=0.08$ и 0.127 приведены на рис. 1 (кривые 1, 1' и 2, 2' соответственно). Анализ показал, что температурная зависимость концентрации дырок в области примесной проводимости не может быть объяснена моделью с одним акцепторным уровнем в запрещенной зоне и полностью ионизированными компенсирующими донорами. Для интерпретации полученных экспериментальных данных нами принята модель двух независимых акцепторных уровней в запрещенной зоне МРТ. Штриховыми кривыми (ep) $^{-1}$ (e — заряд электрона) на рисунке представлены результаты решения уравнений электрической нейтральности для этих образцов при следующих параметрах модели: $E_{a1} \approx 1.6$ мэВ, $N_{a1} = 6 \cdot 10^{15}$ см $^{-3}$, $E_{a2} = 2.1$ мэВ, $N_{a2} = 3 \cdot 10^{15}$ см $^{-3}$, $N_d = 5.8 \cdot 10^{15}$ см $^{-3}$ для первого образца, $E_{a1} \approx 2$ мэВ, $N_{a1} = 1.4 \cdot 10^{15}$ см $^{-3}$, $E_{a2} = 1.9$ мэВ, $N_{a2} = 1.2 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$, $N_d = 1.38 \cdot 10^{15}$ см $^{-3}$ для второго образца; здесь N_a и N_d — концентрации акцепторных и донорных центров. Эффективная масса тяжелых дырок полагалась равной $0.447 m_0$ (m_0 — масса свободного электрона), как в твердых растворах кадмий—ртуть—теллур (КРТ) [2], а факторы спинового вырождения для обоих акцепторных уровней — равными 4 из-за структуры валентной зоны материала [3]. Заметим, что мелкие акцепторные уровни неоднократно наблюдались при изучении электрических и гальваномагнитных свойств объемных кристаллов и эпитаксиальных слоев КРТ p -типа (см., например, [3–6]).

Температурные зависимости подвижности дырок для данных двух слоев представлены на рис. 2. С понижением температуры подвижность μ_p возрастает, достигает максимальных значений при температурах 25 ± 30 К и при дальнейшем снижении температуры уменьшается. По аналогии с твердыми растворами КРТ полагаем, что при высоких температурах дырки рассеиваются в основном на полярных оптических фононах, а при низких температурах — на ионизированных акцепторных и донорных центрах, суммарная концентрация которых равна $f_{a1}N_{a1} + f_{a2}N_{a2} + N_d$, где f_{a1} и f_{a2} — вероятности заполнения акцепторных уровней 1 и 2. Оценки для твердого раствора МРТ с $x=0.12$ при использовании значений соответствующих параметров [7, 8] показали, что подвижность дырок, обусловленную рассеянием их на полярных оптических фононах в области высоких температур, можно представить приближенно в виде $\mu_L \approx 10^6 \cdot T^{-1.7}$ см 2 /В·с.

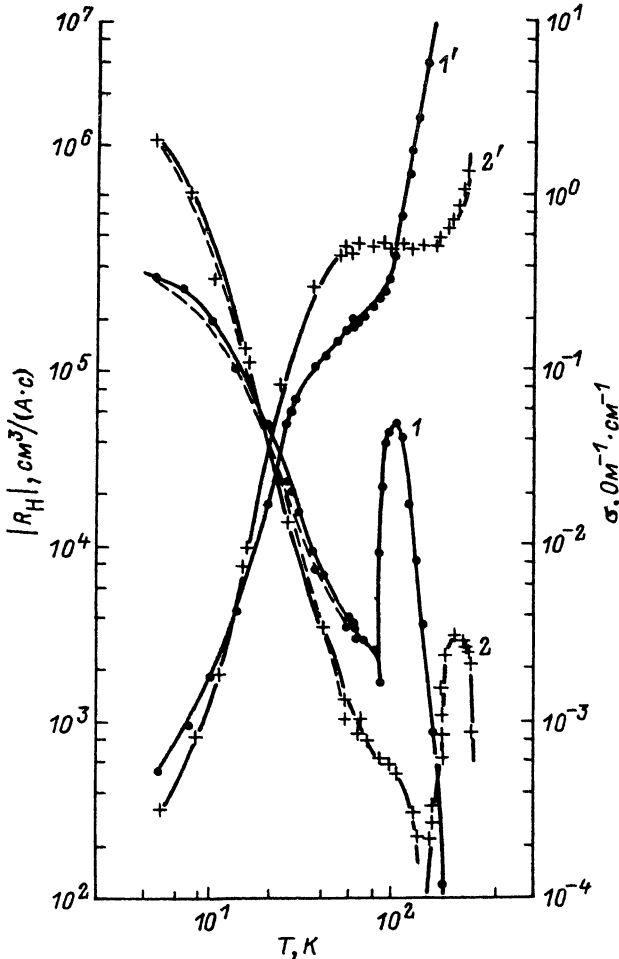


Рис. 1. Температурные зависимости коэффициента Холла (1, 2) и электропроводности (1', 2') для эпитаксиальных слоев $p\text{-Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$.

x : 1, 1' — 0.08, 2, 2' — 0.127; сплошные кривые — эксперимент, штриховые — расчет.

Вклад в рассеяние дырок от нейтральных акцепторных центров невелик и составляет лишь 1 и 4.5% при 30 К в образцах 1 и 2 соответственно. Результирующие расчетные подвижности дырок, представленные на рис. 2 штриховыми кривыми, несколько превышают экспериментальные значения. Тем не менее соответствие расчетных и экспериментальных результатов можно считать приемлемым, если учесть, что значения ряда параметров твердых растворов МРТ точно еще не установлены.

Таким образом, показано, что электрические свойства сильно компенсированных эпитаксиальных слоев МРТ p -типа можно удовлетворительно объяснить на основе модели двух акцепторных уровней, расположенных примерно на 2 и 20 мэВ выше потолка валентной зоны. В области высоких температур дырки рассеиваются в основном на полярных оптических фононах, а при низких температурах — на ионизированных донорных и акцепторных центрах. Суммарные концентрации акцепторов и доноров в исследованных слоях составляют $\sim 1.5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, т. е. того же порядка, как и в эпитаксиальных слоях МРТ n -типа [1].

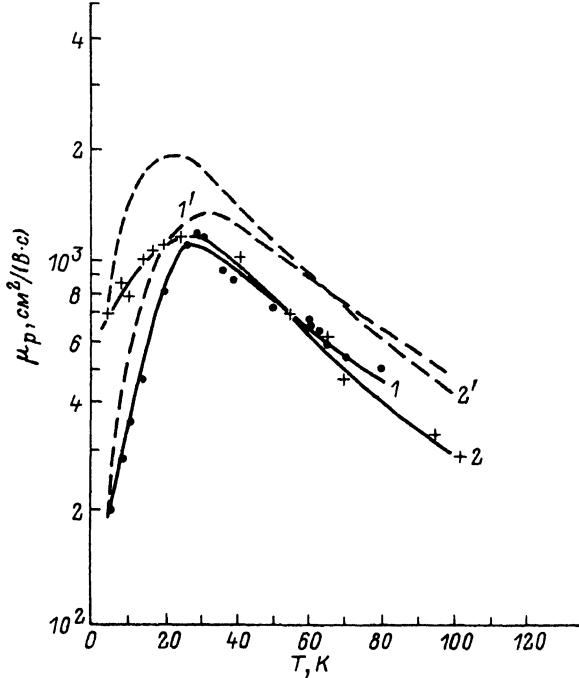


Рис. 2. Температурные зависимости подвижности дырок для эпитаксиальных слоев $p\text{-Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$.
 x : 1 — 0.08, 2 — 0.127; штриховые кривые 1' и 2' — результаты расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Трифонова М. М., Барышев Н. С., Мезенцева М. П. // ФТП. 1991. Т. 25. В. 6. С. 1014—1017.
- [2] Несмелова И. М., Тулвинская З. К., Барышев Н. С. // ЖПС. 1989. Т. 50. В. 3. С. 480—483.
- [3] Finkman E., Nemirovsky Y. // J. Appl. Phys. 1986. V. 59. N 4. P. 1205—1211.
- [4] Elliott C. T., Melngailis I., Harman T. C., Foyt A. G. // J. Phys. Chem. Sol. 1972. V. 33. N 8. P. 1527—1531.
- [5] Елизаров А. И., Богобоящий В. В., Берченко Н. Н. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 3. С. 446—450.
- [6] Boukerche M., Sivananthan S., Wijewarnasuriya P. S., Sou I. K., Faurie J. P. // J. Vac. Sci. Techn. A. 1989. V. 7. N 2. P. 311—313.
- [7] Baranskii P. I., Gorodnichii O. P., Shevchenko N. V. // Infr. Phys. 1990. V. 30. N 3. P. 259—263.
- [8] Rogalski A. // Infr. Phys. 1991. V. 31. N 2. P. 117—166.

Государственный институт прикладной оптики
 Казань

Получено 10.12.1991
 Принято к печати 30.01.1992