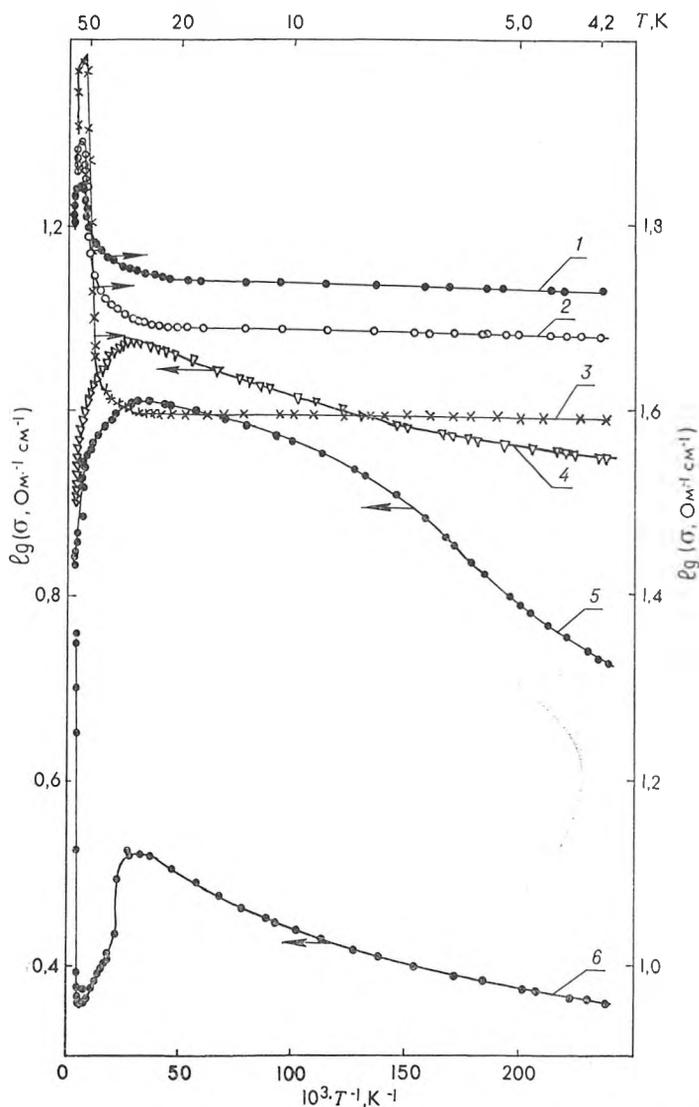


ПРОВОДИМОСТЬ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{HgTe} - \text{Ca}_2\text{Te}_3$ ВБЛИЗИ ПЕРЕХОДА ПОЛУМЕТАЛЛ — ПОЛУПРОВОДНИК

Сплавы на основе полуметаллического теллурида ртути относятся к бесщелевым (БП) или узкощелевым (УП) полупроводникам. Согласно [1], переход из бесщелевого в узкощелевое состояние в твердых растворах $(\text{Ga}_2\text{Te}_3)_x(\text{ZnHgTe})_{1-x}$ с ростом содержания широкозонного соединения Ga_2Te_3 лежит вблизи $x \approx 0,1$.

Данная работа посвящена выяснению особенностей температурных зависимостей проводимости $\sigma(T)$ образцов p - и n -типа с $0,05 \leq x \leq 0,20$ в области температур 4,2—300 К. Кроме того, в диапазоне 77—300 К измерялся эффект Холла $R_H(T)$ в слабых магнитных полях (до 0,1 Тл).

Рассмотрим особенности электропереноса изученных твердых растворов на примере образцов p -типа в широкой области температур. Как видно из рисунка, существует качественное различие хода кривых $\sigma(T)$



Температурные зависимости проводимости сплавов $\text{HgTe} - \text{Ca}_2\text{Te}_3$ p -типа:

1 — $x = 0,05$; 2 — $0,07$; 3 — $0,10$; 4 — $0,15$; 5 — $0,18$; 6 — $0,20$

в бесщелевой ($x < 0,10$; кривые 1—3) и узкощелевой ($x > 0,10$; кривые 4—6) областях существования твердых растворов. Температурный ход проводимости в БП-области практически во всем исследованном интервале температур можно представить двухчленным эмпирическим соотношением:

$$\sigma(T) \simeq \sigma_0 T^z + \sigma_{01} e^{-\frac{\Delta \epsilon_1}{kT}} \quad (1)$$

Здесь σ_0 , σ_{01} , z и $\Delta \epsilon_1$ — параметры, зависящие от состава x (k — постоянная Больцмана). Заметим также, что в БП-области в образцах p - и n -типа показатель степени z всегда положителен (см. таблицу). Кроме того,

Параметры, характеризующие проводимость твердых растворов $\text{HgTe} - \text{Ga}_2\text{Te}_3$

Область составов	p -тип		n -тип	
	z	$\Delta \epsilon_1$, мэВ	z	$\Delta \epsilon_1$, мэВ
БП ($x < 0,10$)	0,01	2—9	0,04	11—40
УП ($x > 0,15$)	0,17—0,21	0,20—0,52	-0,09— -0,02	4—5

в этих образцах энергия активации $\Delta \epsilon_1$ увеличивается по мере приближения к точке перехода БП—УП (с ростом x) и в образцах n -типа всегда выше, чем в образцах p -типа (см. таблицу). Показатель же степени z практически не зависит от состава сплава, но в сплавах n -типа всегда больше, чем в образцах p -типа проводимости. Поэтому соотношение степенного и экспоненциального вкладов в $\sigma(T)$ сплавов на бесщелевой стороне перехода БП—УП в первую очередь определяется энергией активации: чем выше $\Delta \epsilon_1$, тем в более широкой области (низких) температур преобладает степенной вклад.

В образцах, попадающих в УП-область, т. е. справа от перехода полуметалл — полупроводник ($x > 0,10$), ход $\sigma(T)$ в сплавах p -типа описывается более сложным эмпирическим соотношением

$$\sigma(T) \simeq \sigma(O) + \sigma_0 T^z + \sigma_{01} e^{-\frac{\Delta \epsilon_1}{kT}} + \sigma_{02} e^{-\frac{\Delta \epsilon_2}{kT}} \quad (2)$$

Здесь $\sigma(O)$, σ_0 , σ_{01} , σ_{02} , z , $\Delta \epsilon_1$ и $\Delta \epsilon_2$ — параметры, зависящие от состава сплавов. При этом величины $\Delta \epsilon_2$ всегда больше $\Delta \epsilon_1$, а показатель степени z положителен (см. таблицу). Второй экспоненциальный вклад в $\sigma(T)$ с $\Delta \epsilon_2 > \Delta \epsilon_1$ в чистом виде проявляется лишь в сплавах с $x \simeq 0,18 - 0,20$ (кривая 6 при $T > 200$ К) и поэтому оценить величины $\Delta \epsilon_2 \simeq$ для всех образцов с $x > 0,10$ не удастся. Однако для $x \simeq 0,18 - 0,20$ значения $\Delta \epsilon_2$ составляли ~ 30 мэВ для образцов p -типа. В других образцах из УП-области этот вклад в чистом виде, по-видимому, должен проявиться лишь при температурах выше 300 К.

Анализ экспериментальных данных показал, что в БП-области ход кривых $\sigma(T)$ качественно не зависит от типа проводимости твердых растворов $\text{HgTe} - \text{Ga}_2\text{Te}_3$, хотя образцы n -типа обладали более высокой проводимостью при одинаковых x (из-за более высокой (примерно в 100 раз) подвижности электронов μ_e по сравнению с подвижностью дырок μ_p [2]). То же самое можно сказать и об эффекте Холла: в обоих случаях кривые $R_H(T)$ проходят через максимум, который свидетельствует о том, что проводимость БП осуществляется дырками и электронами одновременно [2].

В узкощелевой области характер $\sigma(T)$ в образцах n - и p -типа имеет некоторые различия. Эти различия проявляются, во-первых, в том, что второй экспоненциальный вклад в соотношение (2) у образцов n -типа в изученной области температур вообще не проявляется. Во-вторых, по-

казатель степени z в сплавах n -типа отрицателен (тогда как в образцах p -типа $z > 0$). Кроме того, выход кривых $\sigma(T)$ при понижении температуры на константу $\sigma(0)$ у образцов n -типа начинается с более высоких температур. В целом же твердые растворы n -типа в УП-области, как и в БП-области, обладали более высокой проводимостью по сравнению с образцами p -типа.

Наличие степенного вклада в соотношениях (1) и (2) свидетельствует о том, что исследованные образцы (или, по крайней мере, значительная часть их объема) имеют концентрации доноров и (или) акцепторов (N_d и N_a), близкие к критической концентрации перехода Мотта [3]. Нами проведена оценка их концентрации в бесщелевых образцах p -типа, у которых постоянная Холла проходит через максимум вблизи температур 100—120 К, по методике, изложенной в [2]. Расчеты показали, что в образцах с $0,05 \leq x \leq 0,10$ величина $(N_a - N_d)$ была $(0,7 \div 1,3) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Концентрация дырок n_p при 77 К такого же порядка, а электронов $n_n \sim 10^{14} \div 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Поскольку для HgTe и $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ критическая концентрация для перехода Мотта $N_M \sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$ [3], то можно считать, что значительная часть объема образцов находится на металлической стороне перехода. По-видимому, сказанное относится и к образцам из УП-области ($x > 0,10$), так как у них в соотношении (2), кроме степенного вклада входит и константа $\sigma(0)$, которую можно интерпретировать как мотовскую минимальную металлическую проводимость σ_{\min} [3]. Наличие же экспоненциальных членов в формулах (1) и (2), на наш взгляд, свидетельствует о сильной электрической неоднородности исследованных образцов, обусловленной неоднородностью состава и (или) неоднородностью распределения донорных и акцепторных центров в образцах. Аддитивность степенного и экспоненциального членов в (1) и (2) позволяет предположить, что в исследованных образцах вследствие их неоднородности электроперенос осуществляется по двум параллельным системам токовых путей с металлическим (степенным) и активационным механизмом проводимости. При этом в области высоких температур преобладает электроперенос по активационному каналу с механизмами, свойственными УП или БП (в зависимости от состава образцов). При низких же температурах, когда проводимость в активационном канале вымораживается, начинает преобладать транспорт носителей в металлическом канале со степенными законами изменения $\sigma(T)$.

Список литературы

1. Гавалешко Н. П., Радевич Е. И., Солончук Л. С., Хомяк В. В., Фрасуняк В. М. // Укр. физ. журн. 1974. Т. 19. № 10. С. 1739.
2. Цидильковский И. М., Харус Г. И., Шелушина Н. Г. // Примесные состояния и явления переноса в бесщелевых полупроводниках. Свердловск, 1987.
3. Мотт Н., Дэвис Э. // Электронные процессы в некристаллических полупроводниках. М., 1979. Т. 1.

Поступила в редакцию 28.03.88.

УДК 621.382.2:535.376

Е. Д. КАРИХ

НЕЛИНЕЙНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ГЕТЕРОСВЕТОДИОДОВ

Для волоконно-оптических линий связи со скоростями передачи информации ≤ 50 Мбит/с наиболее приемлемыми источниками излучения являются гетеросветодиоды на основе твердых растворов AlGaAs ($\lambda \sim 0,8\text{—}0,9$ мкм), InGaAsP ($\lambda \sim 1,1\text{—}1,7$ мкм) и некоторых других полупроводниковых материалов [1]. Линейность зависимости между током через светодиод и интенсивностью излучения исключительно важна для систем с аналоговой модуляцией (например, телевизионных), однако статистические характеристики не полностью определяют степень нелинейных искажений при передаче аналоговых сигналов. Как показано в работе