Письма в ЖЭТФ, том 44, вып. 11, стр. 518 – 520 *10 декабря 1986 г.*

ПЕРЕХОД ПРОВОДИМОСТИ МЕТАЛЛ – ДИЭЛЕКТРИК – МЕТАЛЛ, ИНДУЦИРОВАННЫЙ ОДНООСНОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ В БЕСЩЕЛЕВОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕ $Hg_{1-x}Cd_xTe$

С.Г.Гасан-заде, В.А.Ромака, Г.А.Шепельский

Показано, что одноосная деформация бесщелевого полупроводника (БП) $Hg_{1-x}Cd_xTe$ вызывает переход проводимости металл – диэлектрик – металл. В отсутствии деформации металлическая проводимость определяется свободными электронами, а при максимальных P – дырками валентной зоны. Инверсия типа проводимости связана с перестройкой дырочного спектра.

Ранее сообщалось об инверсии типа проводимости БП $Hg_{1-x}Cd_xTe$ при одноосной деформации [1]. Инверсия связывалась с образованием у БП энергетической щели [2] и вымораживанием свободных электронов из зоны проводимости на примесные акцепторные состояния. Было также высказано предположение, что при максимально достижимых деформациях ($P \geqslant 3$ кбар) из-за перестройки валентной зоны проводимость БП определяется свободными дырками с аномально высокими подвижностями.

В настоящей работе приводятся результаты исследования деформационных, температурных и полевых зависимостей проводимости и коэффициента Холла R_X, которые являются экспериментальным доказательством перестройки зонного спектра БП, инверсии знака электропроводности и доминирующей роли легких дырок в проводимости одноосно деформированного бесщелевого HgCdTe.

Методика измерений и параметры образцов описаны в предыдущей работе [1]. Для всех исследованных образцов выполнялось условие $N_A \gg N_D$, $N_A - N_D \sim 10^{16} \div 10^{17}$ см$^{-3}$, где N_A и N_D – концентрации акцепторов и доноров соответственно.

В отсутствии деформации из-за малости эффективной массы свободных электронов БП $Hg_{1-x}Cd_xTe$ выполняется условие сильного легирования полупроводника $na_Б^3 > 0{,}02$, причем с большим запасом [3]. В этом случае проводимость БП определяется свободными электронами, что следует из знака R_X (рис. 1) и носит металлический характер (рис. 2).

Одноосная деформация приводит вначале к росту ρ и R_X с увеличением P (рис. 1). Зависимость $\rho(P)$ близка к экспоненциальной. Это, наряду с ростом R_X, свидетельствует о концентрационной природе эффекта, указывает на образование энергетической щели и вымораживание свободных электронов на примесные акцепторные состояния. При этом на температурной зависимости $\ln\rho(1/T)$ появляются активационные участки, связанные с активацией свободных электронов, а при самых низких температурах – с прыжковой проводимостью по акцепторной зоне. Таким образом, реализуется переход проводимости металл –диэлектрик [3]. В этой области деформаций R_X имеет отчетливый максимум, связанный с вкладом

в проводимость БП, по крайней мере, двух типов носителей тока, а затем с ростом P изменяет знак.

Интересно отметить, что характер прыжковой проводимости с ростом деформации изменяется от прыжковой проводимости с постоянной энергией активации E_3 к прыжковой проводимости с переменной длиной прыжка.

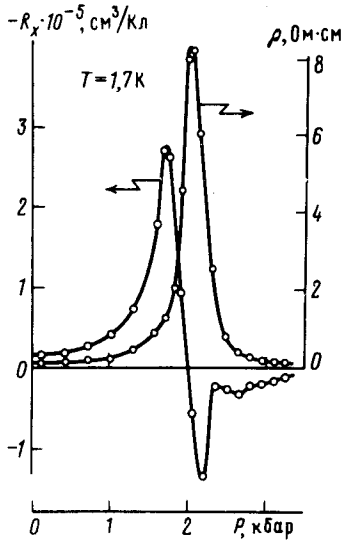

Рис. 1. Зависимости $\rho(P)$ и $R_X(P)$ для БП $Hg_{1-x}Cd_xTe$, $x = 0{,}157$

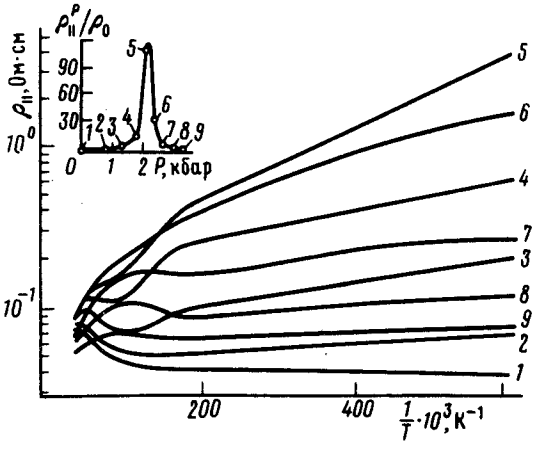

Рис. 2. Температурные зависимости $\ln\rho$ $(1/T)$ при разных величинах одноосной деформации БП (величины деформаций указаны на вставках)

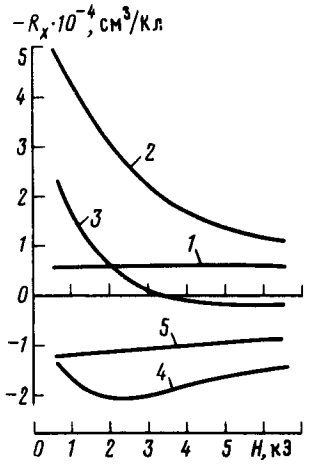

Рис. 3. Полевые зависимости R_X при разных P, кбар: *1* – 0; *2* – 2,04; *3* – 2,17; *4* – 2,42; *5* – 2,80; $T = 4{,}2$ К

Дальнейший рост деформации приводит к уменьшению, а затем – к исчезновению энергии активации и при максимальных P проводимость БП вновь приобретает металлический характер (рис. 2, кривая *9*). При этом $R_X(P)$ (положительный знак) выходит на полку. Величина подвижности дырок, оцененная из произведения $|\sigma_X R_X| = \mu_h > 10^5$ см²/В·с, свидетельствует об их принадлежности к спектру валентной зоны. В соответствии с расчетом [1, 4] большие значения μ_h связаны с образованием у валентной зоны Γ_8 боковых экстремумов с малой эффективной массой.

Другой важный аргумент, свидетельствующий об инверсии типа проводимости и основной роли легких дырок – полевые зависимости R_X одноосно деформированного кристалла (рис. 3). При $P = 0$ коэффициент Холла не зависит от напряженности магнитного поля ($H \leqslant 7$ кЭ), что подтверждает доминирующий вклад свободных электронов в проводимость. С увеличением деформации зависимость R_X от H проявляется все резче, что свидетельствует об участии в проводимости БП нескольких типов носителей тока. Наконец, при максимальных P R_X становится положительным и вновь практически не зависит от H, поскольку в проводи-

мости доминируют свободные дырки – реализуется переход проводимости диэлектрик – металл.

Таким образом, деформационные, температурные и полевые зависимости ρ и R_X свидетельствуют о существенной перестройке зонного спектра БП и инверсии типа проводимости, связанных с доминирующей ролью легких дырок в проводимости одноосно деформированного БП $Hg_{1-x}Cd_xTe$.

Литература

1. *Васько Ф.Т., Гасан-заде С.Г., Ромака В.А., Шепельский Г.А.* Письма в ЖЭТФ, 1985, **41**, 100.
2. *Бир Г.Л., Пикус Г.Е.* Симметрия и деформационные эффекты в полупроводниках. М.: Наука, 1972, с. 584.
3. *Шкловский Б.И., Эфрос А.Л.* Электронные свойства легированных полупроводников. М.: Наука, 1979, с. 416.
4. *Cardona M.* Solid State Comm., 1967, **5**, 233.

Институт полупроводников
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
20 октября 1986 г.