Эффективная масса и спектр уровней Ландау валентной зоны для квантовой ямы HgTe в модели «петли экстремумов»: эффекты кубической симметрии

Гудина С.В.¹, Боголюбский А.С.¹, Неверов В.Н.¹, Шелушина Н.Г.¹, Якунин М.В.^{1,2}

¹ ИФМ УрО РАН, 620108, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 18

² ИЕН УрФУ, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

DOI 10.34077/Semicond2019-234

В широких QW HgTe/Cd(Hg)Te с инвертированной зонной структурой ($dQW \geq 18$ нм) возникает новая двумерная электронная система: фаза двумерного полуметалла (2D SM) [1, 2]. Существование 2D SM в этой системе связано с перекрытием на несколько мэВ минимума зоны проводимости в центре зоны Бриллюэна с боковыми максимумами валентной зоны. Расчет структуры энергетических зон [2] показывает, что основной причиной перекрытия в широких QW является деформация, обусловленная несоответствием постоянных решетки HgTe и CdTe.

В области SM, когда уровень Ферми пересекает как валентную зону, так и зону проводимости, в HgTe QW наблюдается ряд интересных транспортных свойств, обусловленных сосуществованием 2D электронов и дырок [3-7]. Численные расчеты эффективной массы дырок валентной зоны (подзоны H2) для сильной анизотропии спектра (учет гофрировки; асимметрии границ квантовой ямы и различия их размытия) в квазиклассическом приближении выполнены в [8].

В данной работе мы представляем результаты квазиклассических расчетов эффективной массы, а также спектра уровней Ландау валентной зоны QW HgTe с инвертированной зонной структурой в модели «петли экстремумов» с учетом эффектов гофрировки.

Учет анизотропии $\varepsilon_v(k_{||})$ приводит к более сложному виду изоэнергетических контуров вблизи потолка валентной зоны H2. Картина линий постоянной энергии валентной зоны с учетом гофрировки такова: при малых энергиях основными состояниями дырок становятся четыре максимума, смещенные из центра зоны Бриллюэна в направлениях $(\pm 1; \pm 1)$, а в направлениях $(0; \pm 1)$ и $(\pm 1; 0)$ находятся четыре седловые точки.

При энергиях ниже седловых точек изоэнергетические контуры приобретают вид деформированных («гофрированных») колец, и мы имеем «петлю экстремумов», когда максимумы энергии дырок достигаются на гладкой замкнутой кривой в пространстве импульсов. В целом эффект гофрировки приводит к аномальной зависимости $m_c(\varepsilon)$ с логарифмической расходимостью в седловых точках и, как следствие, к сложному виду картины уровней Ландау. В полуметаллической фазе веер уровней Ландау валентной зоны стартует при $B = 0$ с энергии, соответствующей энергии боковых максимумов этой зоны, и перекрывается с веером уровней Ландау зоны проводимости.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Электрон» № АААА-А18-118020190098-5, при частичной поддержке РФФИ (проект № 18-02-00172).

[1] Z. Kvon, E. Olshanetsky, D. Kozlov, et al., *JETP Lett.* **87**, 502 (2008).

[2] Z. D. Kvon, E. B. Olshanetsky, E. G. Novik, et al., *Phys. Rev. B* **83**, 193304 (2011).

[3] G.M.Gusev, E.B.Olshanetsky, Z.D.Kvon, et al., *Phys. Rev. Lett.* **104**, 166401 (2010).

[4] M. Zholudev, F. Teppe, M. Orlita, et al., *Phys. Rev. B* **86**, 205420 (2012).

[5] M. Zholudev, A. V. Ikonnikov, F. Teppe, et al., *Nanoscale Research Letters*, **7**, 534 (2012).

[6] G. M. Minkov, A. V. Germanenko, O. E. Rut, et al., *Phys. Rev. B* **88**, 155306 (2013).

[7] M. V. Yakunin, A. V. Suslov, M. R. Popov, et al., *Phys. Rev. B* **93**, 085308 (2016).

[8] G. M. Minkov, V. Ya. Aleshkin, O. E. Rut et al., *Phys. Rev. B* **96**, 035310 (2017).