Пороговые эффекты в спектре квазидвумерного электронного газа обогащённого слоя

Шульман А.Я., Посвянский Д.В.

ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, 125009, Москва, ул. Моховая 11, корп. 7

DOI 10.34077/Semicond2019-253

В [1] отмечено, что энергия связи первого дискретного уровня в потенциальной яме квадратично зависит от глубины ямы вблизи порога рождения связанного состояния. Утверждение сделано на частном примере решаемой задачи о прямоугольной потенциальной яме. Более общего характера аналогичная формула получена в [2] в приближении, когда потенциал ямы рассматривается как возмущение. В докладе, с использованием аппарата обобщённого гильбертова пространства [3], формула пороговой зависимости энергии связи от величины расстройки получена в общем виде без ограничения на глубину ямы, в которой уже могут существовать связанные состояния. Этот результат позволяет качественно объяснить замедление скорости заполнения электронами вновь образованной размерно-квантованной подзоны в потенциальной яме обогащённого слоя при увеличении напряжения на затворе [4-6]. Количественное сопоставление с полученной формулой может быть тестом предложенного объяснения.

Рассмотрено также проявление порогового эффекта в случае уравнения эффективной массы для квазидвумерных электронов с непараболическим законом дисперсии при конечной ширине запрещённой зоны. Показано, что обнаружение при расчётах двумерного спектра подзоны, начинающейся при не равном нулю значении квазиимпульса, параллельного поверхности [7], может быть артефактом, который обусловлен сложностью определения очень малых энергий локализации электронов около поверхности при конечной длине расчётного интервала и пороговой зависимостью этой энергии от квазиимпульса. Последний входит как параметр в выражение для квазипотенциала, который появляется в правильном уравнении эффективной массы вследствие непараболичности зонного спектра [8] вместо зависящей от энергии эффективной массы при модельном учёте непараболичности [9].

Полученные результаты ставят под сомнение гипотезу о возможности существования размерно-квантованных подзон, спектр которых начинается при ненулевом значении квазиимпульса, в квантовых ямах, в которых из-за непараболичности электронного спектра эффективная масса зависит от энергии [10].

[1] А.И. Базь, Я.Б. Зельдович, А.М. Переломов, *Рассеяние, реакции и распады в нерелятивистской квантовой механике*, 2-е изд., Наука-ФМ, М. (1971), Гл. I, § 2.

[2] Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, *Квантовая механика*, 4-е изд., Наука-ФМ, М. (1989), § 45, зад. 1.

[3] A. Ya. Shul'man, XXV IUPAP Conference on Computational Physics – CCP2013, Moscow, (2013), *Book of Abstracts*, p. 136, <http://ccp2013.ac.ru/files/book5x.pdf>.

[4] H. Reisinger, H. Schaber, and R. E. Doezema, *Phys. Rev. B*, **24**, 5960 (1981), Fig. 9 and 10.

[5] В.Ф. Раданцев, Т.И. Дерябина, Л.П. Зверев и др., *ЖЭТФ*, **91**, 1016 (1986), Рис. 3 и 9.

[6] Г.М. Миньков, О.Э. Рут, А.В. Германенко, *ЖЭТФ*, **112**, 537 (1997), Рис. 12.

[7] A. Zhang, J. Slinkman, and R. E. Doezema, *Phys. Rev. B*, **44**, 10752 (1991).

[8] А.Я. Шульман, *Тезисы XI РКФП*, с. 269, Санкт-Петербург (2013)

[9] M. Kubisa and W. Zawadzki, *Semiconductor Science and Technology*, **8**, S246 (1993).

[10] R. E. Doezema and H. D. Drew, *Phys. Rev. Lett.*, **57**, 762 (1986).