

Взаимодействие предельно коротких электромагнитных импульсов в силицинеМ. Б. Белоненко^{1*} Н. Н. Конобеева^{2†}¹Волгоградский институт бизнеса. Россия, 400048, Волгоград, ул. Южно-украинская, д. 2²Волгоградский государственный университет. Россия, 400062, Волгоград, пр-т Университетский, д. 100

В ходе настоящей работы рассмотрена задача о распространении и взаимодействии двух предельно коротких оптических импульсов в силицине. Электроны описывались на основании длинноволнового эффективного гамильтониана в случае низких температур. Выявлена зависимость от скорости и амплитуды предельно короткого импульса.

PACS: 73.63.-b, 78.20.Jq.

УДК: 535.2.

Ключевые слова: силицен, электромагнитное поле, предельно короткие импульсы

Рассматриваются распространение и взаимодействие двух предельно коротких оптических импульсов в силицине. В длинноволновом приближении гамильтониан для силицина можно записать в виде [2, 3]:

$$H = \nu(\xi k_x \sigma_x + k_y \sigma_y) - 0,5\xi\Delta_{SO}\tau_z\sigma_z + 0,5\Delta_z\sigma_z \quad (1)$$

где ξ — \pm знак долины для двух дираковских точек, ν — скорость дираковских электронов, $\mathbf{p} = (k_x, k_y)$ — квазиимпульс электронов, Δ_{SO} — величина спин-орбитальной щели для силицина, Δ_z — потенциал на одном узле решетки, причем $\Delta_z = E_z d$, E_z — электрическое поле, d — расстояние между двумя подрешеточными плоскостями, σ_i , τ_i — матрицы Паули.

В матричной форме гамильтониан имеет вид:

$$\hat{H}_{\nu\xi} = \begin{pmatrix} -0,5\sigma\xi\Delta_{SO} + 0,5\Lambda_z & \nu(\xi k_x - ik_y) \\ \nu(\xi k_x + ik_y) & 0,5\sigma\xi\Delta_{SO} - 0,5\Lambda_z \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где σ — спин электрона (спин «вверх» и «вниз»).

Из формулы (2) легко получить собственные числа:

$$\varepsilon_{\sigma\xi} = \pm \sqrt{\nu^2 k^2 + \frac{1}{4}(\Delta_z - \sigma\xi\Delta_{SO})^2}. \quad (3)$$

Плотность тока в случае низких температур, когда вклад дает лишь небольшая область в импульсном пространстве вблизи уровня Ферми может быть записана в виде:

$$j = e \int_{-\Delta}^{\Delta} \int_{-\Delta}^{\Delta} dp_x dp_y \left(p - \frac{e}{c} A(x, t) \right). \quad (4)$$

Область интегрирования по импульсам в (4) определим из условия равенства числа частиц:

$$\int_{-\Delta}^{\Delta} \int_{-\Delta}^{\Delta} dp_x dp_y = \int_{ZB} dp_x dp_y \langle a_{px,py}^+ a_{px,py} \rangle, \quad (5)$$

интегрирование справа ведется по первой зоне Бриллюэна [4].

При этом волновое уравнение на распространение предельно короткого импульса можно записать как:

$$\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + \frac{4\pi}{c} \Phi(A) = 0, \quad (6)$$

а $\Phi(A)$ определяется интегрированием в (5).

Начальный профиль каждого импульса выбирался в гауссовой форме, а именно, в виде предельно короткого импульса состоящего из одного колебания, что соответственно задает следующее условие на A :

$$A_i(x, t) = B_i \exp\left(-\frac{(x - \nu_i t)^2}{\gamma_i}\right) \quad (7)$$

$$\gamma_i = (1 - \nu_i^2)^{1/2}, \quad i = 1, 2,$$

где B_i — амплитуда, а ν_i — начальная скорость i -го предельно короткого импульса на входе в образец.

Амплитуда импульсов и их скорости выбирались одинаковыми. Значения энергетических параметров выражались в единицах Δ .

Получено волновое уравнение для электромагнитного поля, распространяющегося в силицине. Возникающая эволюция электромагнитного поля при его распространении по образцу представлена на рисунке.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 12-02-31654).

*E-mail: mbelonenko@yandex.ru

†E-mail: yana_nn@inbox.ru

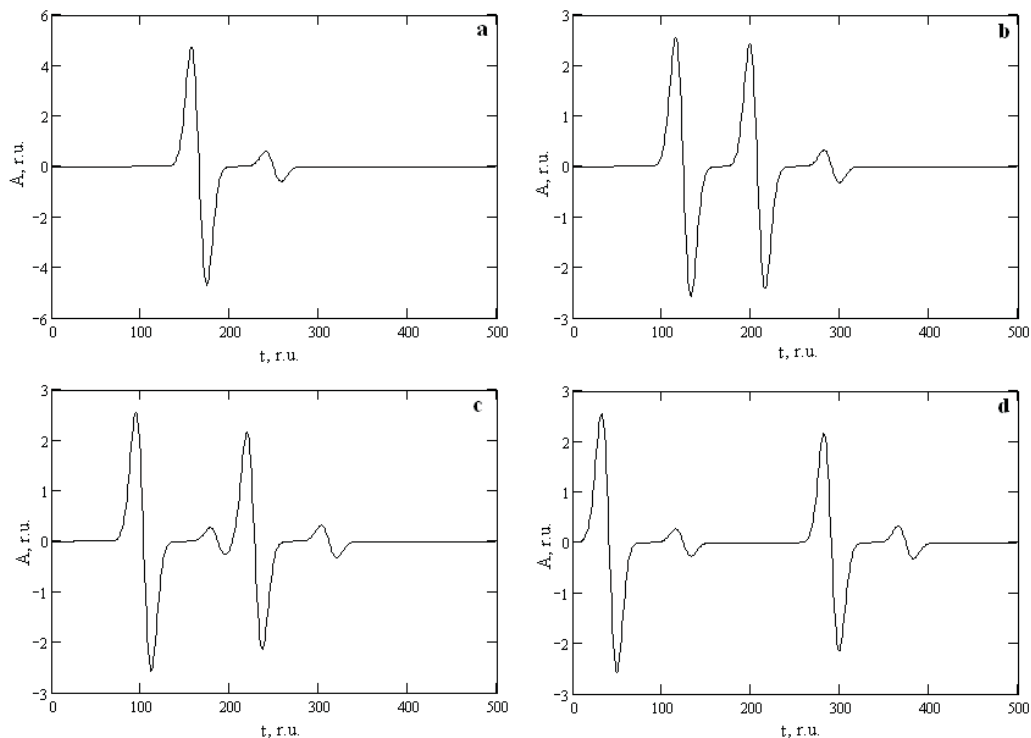


Рис. 1: Зависимость вектор-потенциала от времени (в единицах 10^{-13} s) для разных точек пространства ($\nu_1 = \nu_2 = 0,85$ с, $B_1 = 0,5$ г.у., $B_2 = 4,0$ г.у.): а) $x = 3,0 \times 10^{-8}$ м; б) $x = 5 \times 10^{-6}$ м; в) $x = 7,5 \times 10^{-6}$ м, д) $x = 1,5 \times 10^{-5}$ м

[1] Padova P. et al. Appl. Phys. Lett. **96**. P.261905. (2010).

[2] Ezawa M. New J. Phys. **14**. P.033003. (2012).

[3] Ezawa M. Phys. Rev. Lett. **109**. P.055502. (2012).

[4] Конобеева Н.Н., Белоненко М.Б. ПЖТФ. **39**, Вып. 12. С. 87. (2013).

Interaction of ultra-short electromagnetic pulses in silicene

M. B. Belonenko^{1,a}, N. N. Konobeeva^{2,b}

¹Volgograd Institute of Business. Volgograd, 400048, Russia

²Volgograd State University. Volgograd, 400062, Russia

E-mail: ^ambelonenko@yandex.ru, ^byana_nn@inbox.ru

In this work we consider the problem of the propagation and interaction of two ultra-short optical pulses in silicene. Electrons are described in the long-wave approximation of effective Hamiltonian at the low temperature. The dependence on the velocity and amplitude of pulse was obtained.

PACS: 73.63.-b, 78.20.Jq.

Keywords: silicene, electromagnetic field, ultra-short pulses.

Сведения об авторах

1. Белоненко Михаил Борисович — докт. физ.-мат. наук, профессор, профессор; тел.: 8-906-451-57-40, e-mail: mbelonenko@yandex.ru.

2. Конобеева Наталия Николаевна — канд. физ.-мат. наук, доцент; тел.: 8-917-334-31-60, e-mail: yana_nn@inbox.ru.