

Фотопоглощение ультракоротких электромагнитных импульсов на полупроводниковой наночастице In_2O_3

В.А. Астапенко¹, С.В. Сахно¹, Л.И. Трахтенберг^{1,2,3}, Е.В. Сахно¹

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической физики им. Н.Н. Семёнова Российской академии наук (ИХФ РАН)

³АО «Научно-исследовательский физико-химический институт имени Л.Я. Карпова»

В докладе представлены результаты исследования процесса фотопоглощения УКИ на полупроводниковой наночастице оксида индия In_2O_3 : рассчитана зависимость вероятности фотопоглощения как функция длительности ультракороткого импульса (УКИ), получен ее спектр. В качестве УКИ рассматривается скорректированный гауссов импульс (СГИ).

Вероятность фотопоглощения за все время действия УКИ описывается следующим выражением [1]:

$$W = \frac{c}{4\pi^2} \int_0^\infty \sigma(\omega') \frac{|E(\omega')|^2}{\hbar\omega'} d\omega', \quad (1)$$

где c – скорость света, ω' – частота монохроматических составляющих импульса, $\sigma(\omega')$ – сечение фотопоглощения, $E(\omega')$ – фурье-образ напряженности электрического поля электромагнитного импульса. Очевидно, что выражение (1) имеет смысл в рамках применимости теории возмущений, т.е. при $w < 1$.

В качестве УКИ рассмотрим так называемый скорректированный гауссовский импульс (СГИ), фурье-образ которого имеет вид [2]:

$$E_{cor}(\omega', \omega, \tau, \varphi) = i E_0 \tau \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{\omega'^2 \tau^2}{1 + \omega'^2 \tau^2} \left\{ e^{-i\varphi - (\omega - \omega')^2 \tau^2 / 2} - e^{i\varphi - (\omega + \omega')^2 \tau^2 / 2} \right\}, \quad (2)$$

где E_0 – амплитуда напряженности электрического поля в импульсе, ω – несущая частота импульса, τ – длительность УКИ, φ – фаза несущей по отношению к огибающей.

В работе [3] было рассчитано выражение для сечения фотопоглощения $\sigma(\omega)$ на полупроводниковых наночастицах In_2O_3 , подставляя которое в (1), а также используя выражение (2) рассчитывается зависимость вероятности фотопроцесса от длительности УКИ, а также его спектр.

Устремляя τ в бесконечность, получаем выражение, описывающее вероятность фотопроцесса в случае длинных импульсов:

$$W(\tau \rightarrow \infty) = \frac{c}{8\sqrt{\pi}} \frac{\sigma_{ph}(\omega)}{\hbar\omega} E_0^2 \tau \quad (3)$$

Напряженность электрического поля во всех расчетах полагалась равной $E_0 = 5 \times 10^4$ В/см.

На рис. 1 приведена зависимость вероятности фотопоглощения СГИ на наночастице In_2O_3 радиусом $R = 5$ нм от длительности УКИ.

Из рис. 1 следует, что при несущей частоте излучения $\omega = 0.08$ эВ зависимость имеет характерный максимум в области $\tau = 14$ фс, после чего функция начинает убывать, пока не достигнет своего минимального значения $\tau = 32$ фс. При дальнейшем увеличении τ функция выходит на линейный режим ($\tau > 30$ фс), что соответствует предельному случаю длинных импульсов. Подобное поведение функции объясняется тем, что при изменении длительности импульса τ изменяется ширина и амплитуда фурье-образа СГИ, что приводит к изменению величины свертки данного фурье-образа и сечения фотопоглощений в выражении (1).

Для несущей частоты СГИ $\omega = 0.12$ эВ (штрихпунктирная кривая) также построена зависимость (3), описывающая линейный режим (пунктирная кривая): из рис. 1 видно, что с ростом длительности импульса τ данные графики практически совпадают, что соответствует выходу штрихпунктирной кривой на линейный режим.

Также был рассчитан спектр вероятности фотопоглощения СГИ на наночастице In_2O_3 радиусом $R = 5$ нм. Было установлено, что спектр вероятности фотопоглощения (ее зависимость от несущей частоты) для СГИ содержит выраженные максимумы, амплитуды которых зависят от длительности УКИ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ, ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы» (уникальный идентификатор RFMEFI57816X0199).

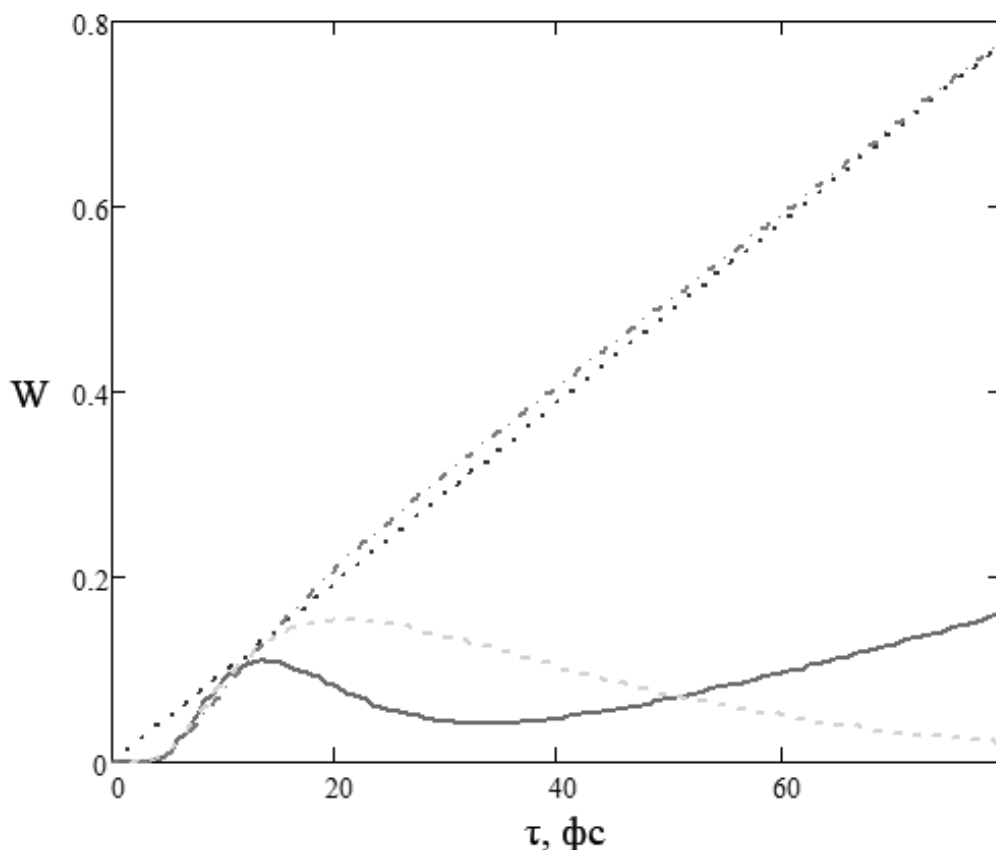


Рис. 1. Зависимость вероятности фотопоглощения СГИ на наночастице In_2O_3 радиусом $R = 5$ нм от длительности УКИ для различных несущих частот: сплошная кривая - $\omega = 0.08$ эВ, штриховая кривая - $\omega = 0.1$ эВ, штрихпунктирная кривая - $\omega = 0.12$ эВ, пунктирная кривая – асимптотическое значение (выражение (3)), к которому стремится зависимость при $\omega = 0.12$ эВ в случае больших длительностей ($\Delta\omega \tau \gg 1$).

Литература

- [1] *Astapenko V.A.* Simple formula for photoprocesses in ultrashort electromagnetic field // *Physics Letters A.* – 2010. – V. 374. P. 1585–1590.
- [2] *Rosmej F.B., Astapenko V.A., Lisitsa V.S.* Effects of ultrashort laser-pulse durations on Fano resonances in atomic spectra // *Phys. Rev. A*, Vol. 90, 2014. P. 043421.
- [3] *Sakhno S.V., Kozhusner M.A., Posvyanskii V.S., Trakhtenberg L.I.* Photoabsorption by the electronic subsystem of semiconductor quantum dots // *Journal of Nanophotonics*, Vol. 10, No. 2, 2016. P. 026018.