

Распространение волны с сильной фазовой модуляцией в световоде с зависимостью дисперсии групповых скоростей от длины

А. С. Абрамов, В.А. Лапин, П.П. Миронов

Ульяновский государственный университет Научно-технологический институт
им. С.П. Капицы, Ульяновск

*E-mail: lva2013@yandex.ru

DOI:10.31868/RFL.2024.166-168

В работе рассматривается динамика слабо модулированной по амплитуде волны с сильной модуляцией по фазе в световоде с зависимостью дисперсии групповых скоростей от длины. При этом в качестве способа получения такой волны используется схема, ранее рассмотренная в работе коллег, при которой модулированная волна вводится в полупроводниковый цилиндрический волновод под малым углом ввода, как показано на рис:1.

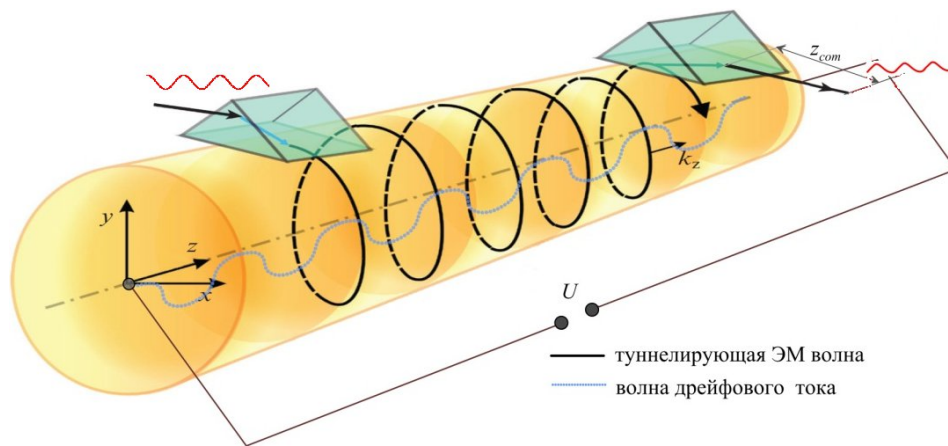


Рис. 1. Геометрия задачи с изображением траектории туннелирующей ЭМ волны в полупроводниковом цилиндрическом волноводе при малых углах ввода. Обозначения: вводимое и выводимое излучение – красные линии, туннелирующая медленная ЭМ волна – черная винтовая линия, переменная волна дрейфового тока - синие точки, U – разность электрических потенциалов, приложенная к торцам волновода, z_{com} – длина компрессии ЭМ волны.

При этом, считая частоту столкновений свободных носителей заряда в полупроводнике стремящейся к нулю, можно показать, что волна показателя преломления GaAs определяется его эффективным значением [1]:

$$n_{eff} \approx n_0 [1 + m \cos(\Omega t - qz)]$$

В условиях самосинхронизированного взаимодействия ЭМ волны, распространяющейся вдоль поверхности цилиндра-модулятора с ВПЗ, реализуется глубокая фазовая модуляция введенного ЭМ излучения. В этом случае, можно получить, соотношением выражение для амплитуды модулируемого излучения на выходе из световода-модулятора:

$$A_s(z = l, t) \approx \sqrt{P_n} [1 + \delta_a \cos(\Omega_a t)] \exp[-i\delta \cos(\Omega t)]$$

где δ_a и Ω_a – глубина и частота амплитудной модуляции соответственно. При этом исходная амплитудная модуляция полагается слабой $|\delta_a| \ll 1$, P_n – мощность

насыщения. Глубину фазовой модуляции на выходе из цилиндрического волновода можно оценить из соотношения [2].

Динамика временной огибающей ВП описывается уравнением для амплитуды огибающей вида НУШ [3, 4]:

$$\frac{\partial A}{\partial z} - i \frac{d_2(z)}{2} \frac{\partial^2 A}{\partial \tau^2} + iR|A|^2 A = 0$$

где $\tau = t - z/v_g$ – время в бегущей системе координат, $d_2 = (d^2\beta/d\omega^2)$ – параметр дисперсии групповых скоростей, R – параметр нелинейности.

В работе выбиралась зависимость дисперсии групповых скоростей от длины вида:

$$d_2(z) = d_{20} \exp(-bz)$$

На рис.2 приводятся результаты численного моделирования распространения модулированной волны путем численного решения уравнения симметричным методом Фурье расщепления по компонентам (s-SSFM)[5]. При этом для моделирования в работе были выбраны параметры: мощность модулированной волны $P_n = 1$ Вт, начальное значение дисперсии световода $d_{20} = 10^{-26}$ с²/м,

параметра неоднородности ДГС $b = \frac{1}{2L} \ln(10) = \frac{1}{1000} \ln(10) \approx 2.31 \cdot 10^{-3}$ м⁻¹,

параметр керровской нелинейности $R = 10^{-2}$ (Вт×м)⁻¹, $\delta_a = 0.01$ и

$\Omega_a = \sqrt{2RP_n/|d_{20}|}$ – глубина и частота амплитудной модуляции, соответственно, частота фазовой модуляции входной волны $\Omega = 6 \cdot 10^{11}$ с⁻¹, глубина фазовой модуляции $\delta = 0; 0.1; 1$ – рис. (a;b;c).

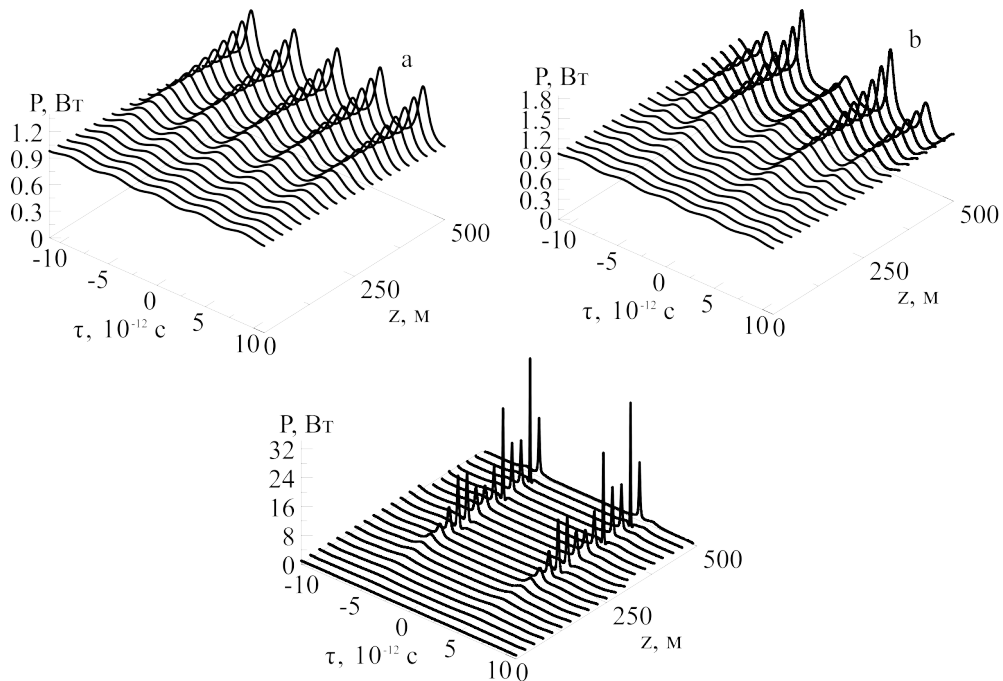


Рис. 2. Временные профили сильно модулированной волны в неоднородном световоде при различных значениях параметра глубины фазовой модуляции вводимой волны $\delta = 0; 0.1; 1$ – рис. (a;b;c).

Из приведенных на рис.2 профилей видно, что добавление фазовой модуляции волне, вводимый в световод с неоднородной по длине ДГС, оказывает значительное влияние на процесс генерации ультракоротких импульсов из непрерывной волны, распространяющейся в таком световоде. Так видно, что даже при небольшом значении глубины модуляции фазы $\delta = 0.1$, начинаются формироваться импульсы большей мощностью, но меньшей частотой следования, чем при полном отсутствии фазовой модуляции. Тогда как с увеличением параметра глубины модуляции наблюдается формирование импульсов со значительно большей амплитудой, но меньшей частотой следования, причем импульсы уже сформировались на длине, на которой для случая отсутствия модуляции процесс формирования последовательности УКИ только начался, что позволяет в результате дальнейшего изучения эффекта, использовать его для формирования последовательностей УКИ более коротких неоднородных световодов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 23-79-30017.

Литература

- [1] Zolotovskii I.O., Korobko D.A., et al J. Opt. Soc. Am. B 36 (10), 2877 (2019).
- [2] Yariv A., Yeh P. Photonics: optical electronics in modern communications / edt. by A. Sedra. (New York and Oxford: Oxford University Press, 2007).
- [3] Zolotovskii I.O., Korobko D.A., et al. J. Opt. Soc. Am. B 36 (10), 2877 (2019).
- [4] Abramov A.S., Zolotovskii I.O., et al. Quantum Electron. 52 (5), 459 (2022).
- [5] Agrawal G.P. Applications of Nonlinear Fiber Optics (Elsevier Science, 2010).
- [6] Zolotovskii I.O., Korobko D.A., Lapin V.A., Mironov P.P., Sementsov D.I., Fotiadi A.A., Yavtushenko M.S. Quantum Electron. 48 (9), 818 (2018).
- [7] Mahboub M. Appl. Math. Sci. 6 (117), 5841 (2012).