

Динамика частотно-модулированных волновых пакетов в условиях синхронизированного взаимодействия с бегущей волной показателя преломления

И.О. Золотовский*, Д.А. Коробко, В.А. Лапин, П.П. Миронов,
Д.И. Семенцов, А.А. Фотиади, М.С. Явтушенко

Ульяновский государственный университет

*E-mail: rafzol.14@mail.ru

DOI:10.31868/RFL2018.116-117

В работе рассматривается формирование ультракоротких лазерных импульсов в цилиндрическом световоде из квазинепрерывной фоновой туннелирующей волны типа моды шепчущей галереи (МШГ). Эффект достигается в результате синхронизированного взаимодействия фоновой волны МШГ с бегущей вдоль оси световода волной изменения показателя преломления (БВП) и развития модуляционной неустойчивости (МН).

Если свет вводится в волновод под некоторым углом к образующей цилиндра, то поверхностная волна распространяется по спиральной траектории [1]. Продольная составляющая волнового вектора такой волны $k_z = (k^2 - k_r^2)^{1/2}$, где $k = k_0 n(\omega)$, $k_0 = \omega / c$ – волновое число в вакууме, $n(\omega)$ – показатель преломления материала световода, k_r – поперечная (радиальная) компонента волнового вектора. Если угол ввода волны в световод достаточно близок к нормали к образующей цилиндра, то распространение волны вдоль его оси замедляется сколь угодно, вплоть до нулевых значений [2]. Схематически призмный ввод и вывод излучения представлен на рис. 1.

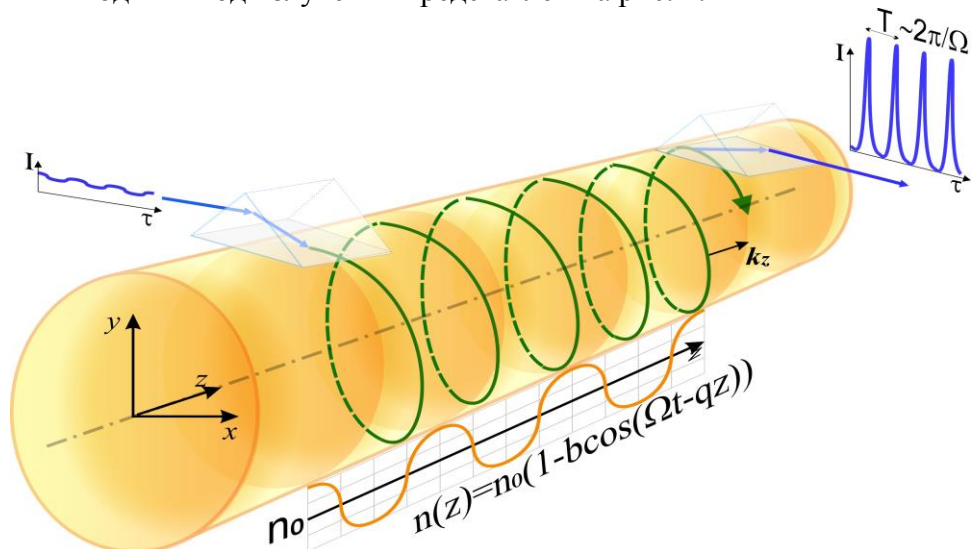


Рис.1. Траектория луча в цилиндрическом световоде, вводимого через призму и представляющего волну типа МШГ [3]; БВП (снизу) и желаемый результат взаимодействия МШГ и БВП – мощное импульсное излучение на выходе.

Пусть в световоде распространяется еще БВП (например, за счет возбуждения в нем акустической волны), тогда показатель преломления среды изменяется по закону (см. рис.1):

$$n(t, z) = n_0 [1 - b \cos(\Omega t - qz)], \quad (1)$$

где Ω – частота модуляции, $q = 2\pi/\Lambda$ – волновое число БВПП, Λ – период пространственной неоднородности, $V_a = \Omega/q$ – скорость перемещения БВПП вдоль оси световода, $b = \Delta n/n_0$ – глубина модуляции ПП. Δn – максимальное изменение ПП.

Уравнение, описывающее динамику временной огибающей туннелирующего волнового пакета, в координатах бегущего времени $\tau = t - \int_0^z dz/V_z(z)$ можно представить в виде:

$$\frac{\partial A}{\partial z} - iD_z \frac{\partial^2 A}{\partial \tau^2} + iR_z |A|^2 A = ikb\gamma^{-1} \cos[\Omega(\tau - \delta\tau)] A, \quad (2)$$

где параметр $\delta\tau = (V_a^{-1} - V_z^{-1})z$ характеризует временную отстройку, связанную с разницей групповых скоростей МШГ и БВПП; $\gamma(z) = (1 - k_r^2/k^2)^{1/2}$ – параметр продольного замедления туннелирующей волны. Продольная скорость волны, дисперсия групповых скоростей (ДГС) и нелинейность световода равны соответственно:

$$V_z(z) \sim \gamma \frac{\partial \omega}{\partial k}, \quad D_z(z) \sim \frac{1}{\gamma} \frac{\partial^2 k}{\partial \omega^2}, \quad R_z \sim n^{(2)}k / \gamma S_{ef}, \quad (3)$$

где $n^{(2)}$ – коэффициент материальной кубической нелинейности и S_{ef} – эффективная площадь поверхностной моды. Если фазовая скорость туннелирующей волны примерно равна скорости перемещения БВПП ($V_z \approx V_a$), то между туннелирующей поверхностной волной типа МШГ и БВПП происходит сильное резонансное взаимодействие, анализ которого выполняется в работе аналитическими и численными методами решения уравнений, описывающих динамику туннелирующего волнового пакета. Преобразование фоновой квазинепрерывной волны в импульсы показано на рис. 2.

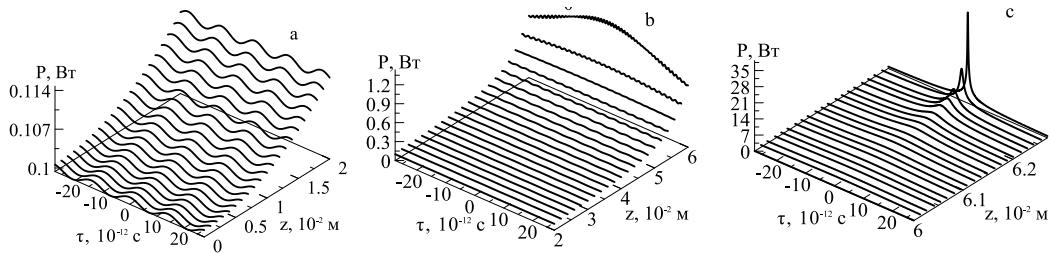


Рис. 2. Процесс формирования мощных импульсов в результате взаимодействия МШГ и БВПП на длине световода 6.3 см: начало процесса (а), формирование импульса (б) и финальное усиление импульса (в). Параметры для расчета: $d_2 = 10^{-26}$ $\text{с}^2/\text{м}$, $R = 10^{-2}$ $(\text{Вт}\cdot\text{м})^{-1}$, $P_0 = 0.1$ Вт, $\Omega = 10^9$ с^{-1} , $\beta = 10^6$ м^{-1} , $\gamma = 4 \cdot 10^{-5}$, $\Delta n = 10^{-4}$.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (проект 14.Z50.31.0015).

Литература

- [1] Сычугов В.А., Магдич Л.Н., Торчигин В.П., / *Квант. электроника*. Т. **31**. № 12. С. 1089 (2001)
- [2] Sumetsky M., *Opt. Express*. V. **20**. P. 22537 (2012)
- [3] Торчигин В.П., Торчигин С.В., *Квант. электроника*. Т. **33**. № 10. С. 913 (2003)