

НЕВЗАИМНЫЕ СВОЙСТВА ВОЛНОВОДНОЙ СТРУКТУРЫ С ПЛЕНКАМИ СВЕРХПРОВОДНИКА ВТОРОГО РОДА И НЕЛИНЕЙНОГО ДИЭЛЕКТРИКА

*Глущенко А.Г., Головкина М.В.

Поволжская государственная академия телекоммуникаций и информатики

*gag@pgati.da.ru

Волноводные структуры широко используются в системах обработки информации различных частотных диапазонов. Особое место занимают структуры с невязанными свойствами, на основе которых разработаны элементы развязок устройств (вентили, циркуляторы и др.). Для создания этих устройств необходимы гиротропные среды. Наиболее распространенными являются ферриты, диапазон использования которых ограничен СВЧ и КВЧ диапазонами. В данной работе показаны невязанные свойства волноводной структуры с тонкими пленками сверхпроводника второго рода и диэлектрика с нелинейными параметрами. Показана возможность существования в рассмотренной структуре солитоноподобных импульсов, параметры которых зависят от дисперсионных характеристик волноводной структуры, а также от амплитуды импульсов.

Тонкая пленка сверхпроводника в резистивном состоянии и тонкая пленка диэлектрика с нелинейными параметрами $\epsilon_{xx} = \epsilon_{yy} = \epsilon + \alpha_3 |E|^2 + \alpha_5 |E|^4 + \dots$ расположены параллельно узким стенкам прямоугоньно волновода. Внешнее магнитное поле \mathbf{B} направлено параллельной широким стенкам волновода, транспортный ток в сверхпроводнике параллелен узкой стенке волновода. Рассмотрена Н-волна (с компонентами H_x, H_z, E_y), которая эффективно взаимодействует с вихревой структурой в сверхпроводнике.

Наличие тонкого сверхпроводящего слоя в смешанном состоянии учитывается введением граничных условий:

$$H_z(x=0) - H_z(x=t) = \frac{m_0 m h t}{B_{x0} \Phi_0 b} \left(w \pm \frac{j_{y0} \Phi_0}{h} b \right) H_x(x=0),$$

$$B_x(x=0) = B_x(x=t),$$

где j_{y0} - плотность транспортного тока в сверхпроводнике, β - продольное волновое число, σ - проводимость сверхпроводящей пленки, Φ_0 - квант магнитного потока, η - коэффициент вязкости магнитного вихря. Знаки «+» и «-» соответствуют прямой и обратной волне.

Задача сводится к решению нелинейного интегро - дифференциального уравнения относительно функции $E_y(z,t)$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} R(z-z', t-\tau) E_y(z', \tau) dz' d\tau = \frac{\partial}{\partial t} [P_N(E_y(z,t))],$$

где ядро интегрального оператора $R(z,t)$ представляет собой обратное преобразование Фурье определяемой аналитическим путем функции $R(\omega, \beta)$:

$$R(\omega, \beta) = \frac{i b^2}{w m_0} - i w e_0 e_{22} + \frac{2}{d} \frac{(Y_1 - Y_2) + i w m_0 d Y_1 Y_2 \frac{m_i F_{np} d b Y_2 m}{\sigma \bar{\sigma}} \frac{F_{np} b}{w m_0}}{2 + \frac{i}{2} w m_0 (Y_2 - Y_1) \pm \frac{i}{2} F_{np} d b \frac{\sigma}{\bar{\sigma}}}$$

При учете нелинейности третьего порядка уравнение принимает вид

$$\begin{aligned}
& R(w_0, b_0)e(z, t) + i \left(\frac{\eta^2}{\eta t \eta w} - \frac{\eta^2}{\eta z \eta b} \right) R(w = w_0, b = b_0)e(z, t) + \\
& + \frac{(-i)^2}{2!} \left(\frac{\eta^2}{\eta t \eta w} - \frac{\eta^2}{\eta z \eta b} \right)^2 R(w = w_0, b = b_0)e(z, t) + \\
& + \frac{(-i)^3}{3!} \left(\frac{\eta^2}{\eta t \eta w} - \frac{\eta^2}{\eta z \eta b} \right)^3 R(w = w_0, b = b_0)e(z, t) + \dots = \\
& = -4p \frac{\eta}{\eta t} \left\{ e^3(z, t) \exp[i(w_0 t - b_0 z)] \right\}
\end{aligned}$$

и представляет собой обобщение нелинейного уравнения Шредингера. Решением уравнения является функция $e(z, t) = E_s \text{cn}(Z, k)$, описывающая решетку нелинейных импульсов при $\alpha_3 \gamma_2(R) < 0$, или $e(z, t) = E_s \text{sn}(z, k)$ (импульсы затемнения) при $a_3 g_2(R) > 0$,

$$\text{Длительность импульсов } t_s^{-2} = m_4 p i d w_0 a_3 k^{-2} E_s^2 g_2^{-1}(R),$$

скорость импульсов

$$v = \left[\frac{\eta R(w = w_0, b = b_0)}{\eta b} \left(- \frac{\eta R(w = w_0, b = b_0)}{\eta w} \right) + i 2 p d k^{-2} a_3 E_s^2 \left\{ \frac{2k^2 - 1}{k^2 + 1} \right\}^{-1} \right],$$

Проведен численный анализ. С ростом амплитуды импульсов их скорость растет, а длительность уменьшается, что характерно для солитонов в безграничных средах. В качестве сверхпроводящей пленки рассмотрены пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. Продолжительность импульса τ уменьшается с ростом толщины сверхпроводящей пленки, а скорость v имеет максимум при определенной толщине пленки t . При увеличении несущей частоты импульса уменьшается продолжительность импульса и его скорость. При увеличении толщины t также наблюдается существенное уменьшение затухания. Параметрами импульсов в волноводных структурах можно управлять, меняя плотность тока транспорта в пленке и поле подмагничивания. Кроме того, структура обладает невзаимными свойствами для волн, распространяющихся в прямом и обратном направлениях, которые можно реализовать в различных областях частот.

В зависимости от толщины сверхпроводящей пленки импульс может менять свое направление распространения на противоположное, что соответствует изменению знака скорости v . С ростом постоянного внешнего магнитного поля продолжительность импульса τ уменьшается, а скорость v достигает максимума при определенном значении B_{x0} , причем импульс может менять направление распространения.

В волноводной системе с тонкой пленкой сверхпроводника в резистивном состоянии энергия может передаваться импульсу за счет энергии движения решетки вихрей Абрикосова. Возможность усиления электромагнитной волны за счет энергии решетки вихрей Абрикосова была показана в работах [1,2]. Использование в волноводных структурах двухслойных тонких пленок сверхпроводник - диэлектрик типа Керра позволяет формировать нелинейные стационарные импульсы малой продолжительности с высокой скоростью распространения, параметры которых зависят от дисперсионных характеристик волноводной структуры, величины коэффициента нелинейности, а также от амплитуды импульсов E_s . В зависимости от величины параметров нелинейной пленки, величины магнитного поля продолжительность нелинейного импульса может достигать порядка 10^{-12} с, а скорость его распространения порядка 10^8 м/с.

Литература

1. Глущенко А.Г., Головкина М.В. Отражение электромагнитной волны слоистой структурой сверхпроводник - диэлектрик. // Письма в ЖТФ. — 1998. — Т. 24. — Вып. 1. — С. 9-12.

2. *Glushchenko A.G., Golovkina M.V.* Electromagnetic wave propagation in superconductor - dielectric multilayers. // Symposium Proceedings "EMC'98 ROMA". — Rome. — Italy. —1998. International Symposium on Electromagnetic Compatibility "EMC'98 ROMA" Rome. — Italy. — 1998. — V 2. — P. 483-486.