

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ФОКУСИРОВКА ПАКЕТА МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В НЕСТАЦИОНАРНОЙ СРЕДЕ

В.Л.Преображенский, В.П.Рыбаков, Ю.К.Фетисов

Экспериментально обнаружено сжатие пакета магнитостатических волн, распространяющихся в нестационарной диспергирующей среде (ферромагнитной пленке), обусловленное зависимостью групповой скорости волн от напряженности подмагничивающего поля.

В работе сообщается об экспериментальном обнаружении явления пространственно-временной фокусировки пакета магнитостатических волн (МСВ), распространяющихся в пленке феррита ($Y_3Fe_5O_{12}$), помещенной в нестационарное магнитное поле $H(t) = H_0 + h(t)$. Для возбуждения и приема МСВ использовались два микрополосковых преобразователя, нанесенные на поверхность пленки. Постоянное подмагничивающее поле H_0 ориентировалось в плоскости пленки параллельно преобразователям. Нестационарность поля создавалась импульсами тока, который пропусклся по металлическому полюску, расположенному на сво-

бодной поверхности подложки и ориентированному параллельно направлению распространения волн. МСВ возбуждались квазимонохроматическими СВЧ-импульсами с частотой $\omega_0/2\pi = 8,7$ ГГц, длительностью 0,1 – 0,3 мкс и мощностью $P \lesssim 1$ мВт, обеспечивающей линейный режим распространения волн. В эксперименте регистрировались время задержки и форма задержанных СВЧ-импульсов на приемном преобразователе.

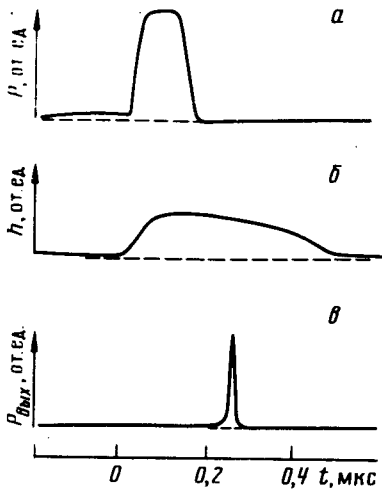


Рис. 1. Осциллограммы возбуждающего СВЧ-импульса (а), импульса магнитного поля (б) и сжатого СВЧ-импульса (в) в условиях фокусировки: $H_0 = 2270$ Э, $h(t) < 50$ Э

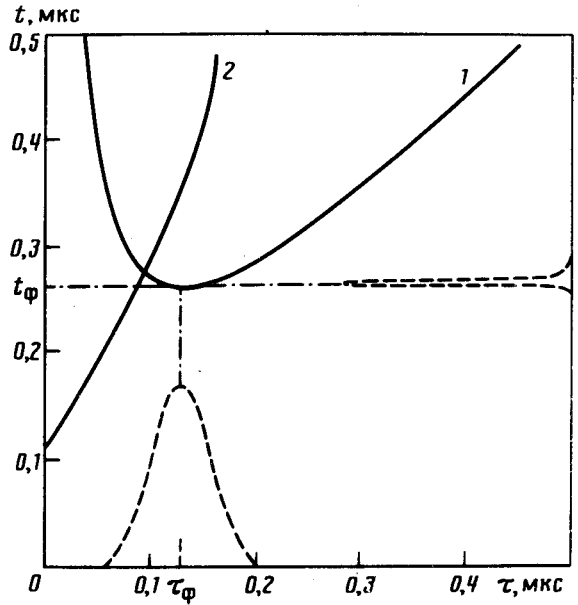


Рис. 2. Зависимость времени распространения МСВ t на расстояние y от момента времени возбуждения τ при увеличении (1) и уменьшении (2) магнитного поля

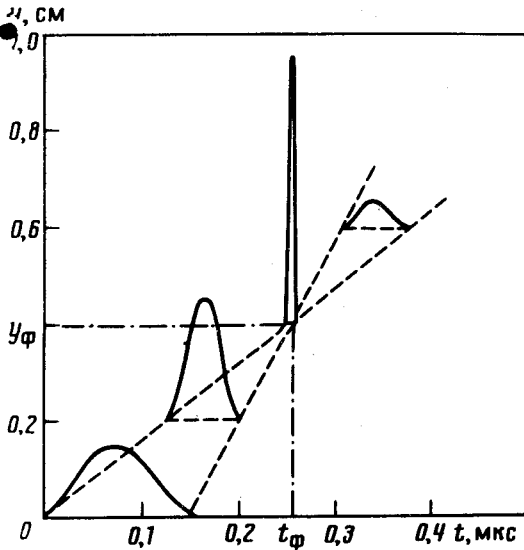


Рис. 3. Эволюция огибающей пакета МСВ при распространении в условиях фокусировки

При изменении напряженности подмагничивающего поля в пределах области возбуждения МСВ с частотой ω_0 ($\omega_0/\gamma - 2\pi M \leq H_0 \leq [(\omega_0/\gamma)^2 + (2\pi M)^2]^{1/2} - 2\pi M$, γ – магнитомеханическое отношение, M – намагниченность насыщения) задержка изменялась от 0,4 до 0,01 мкс. В стационарных условиях $h(t) = 0$ наблюдалось дисперсионное расплывание пакета МСВ. Если напряженность поля импульсно увеличивалась во время возбуждения волн, то при определенном значении H_0 наблюдалось сжатие задержанных импульсов (см. рис. 1). Минимальная зарегистрированная длительность импульсов при этом составляла ~ 12 нс, а коэффициент сжатия имел величину ~ 20 . В случае импульсного уменьшения напряженности поля наблюдалось уширение задержанных импульсов, превышающее их дисперсионное расплывание.

Обнаруженный эффект объясняется зависимостью величины групповой скорости МСВ от напряженности магнитного поля. При возбуждении МСВ монохроматическим сигналом с частотой ω_0 в условиях нестационарного магнитного поля групповая скорость $v = \partial\omega / \partial k$ и волновое число k волны меняются со временем. Начальные значения v_0 и k_0 определяются, в соответствии с дисперсионным уравнением, величиной $H(\tau)$ в момент времени возбуждения τ . При последующем распространении волны волновое число, вследствие однородности среды, сохраняется и остается равным своему начальному значению $k = k_0(\tau)$, а величина групповой скорости продолжает изменяться из-за изменения частоты волны $\omega(t)$ в нестационарном поле¹. К моменту времени t возбужденная волна проходит заданное расстояние y при выполнении условий¹

$$y = \int_{\tau}^t v_{k_0}(t') dt', \quad \omega_{k_0}(\tau) = \omega_0 \quad (1)$$

Для поверхностной МСВ² и линейного закона изменения напряженности поля $H(\tau) = H_0 + \alpha\tau$ зависимость времени t от момента возбуждения волны τ имеет вид

$$\omega(t) = \omega(\tau) \operatorname{ch} \left\{ \frac{y}{b} \frac{\alpha\gamma}{\omega^2(\tau) - \omega_0^2} \right\} + \omega_0 \operatorname{sh} \left\{ \frac{y}{b} \frac{\alpha\gamma}{\omega^2(\tau) - \omega_0^2} \right\}, \quad (2)$$

где $\omega(t) = \gamma H(t) + \omega_M / 2$, $\omega(\tau) = \gamma H(\tau) + \omega_M / 2$, $\omega_M = \gamma 4\pi M$, b — толщина пленки.

На рис. 2 изображены рассчитанные с использованием соотношения (2) зависимости $t(\tau)$ для случаев возрастания (кривая 1) и уменьшения (кривая 2) $H(\tau)$ в пределах области полей существования МСВ. При расчете приняты значения параметров, соответствующие условиям эксперимента: $b = 10$ мкм, $y = 0,4$ см, $4\pi M = 1750$ Гс, $\alpha \cong 5 \cdot 10^8$ Э/с. Видно, что в случае возрастания поля, в зависимости от момента времени возбуждения τ , на расстоянии y может происходить частичное сжатие ($\tau > \tau_\Phi$), временная фокусировка ($\tau \cong \tau_\Phi$) или инверсия огибающей ($\tau < \tau_\Phi$) пакета МСВ. Уменьшение поля приводит только к увеличению длительности пакета волн.

Рис. 3 качественно демонстрирует пространственно-временную эволюцию огибающей пакета МСВ, возбужденного в момент времени τ_Φ . Минимальная длительность и пространственный размер пакета в области фокусировки $\{t_\Phi, y_\Phi\}$ зависят от параметров пленки феррита, длительности возбуждающего импульса и скорости перестройки поля. Как показал эксперимент, амплитуда пакета МСВ в фокусе, зависящая от затухания волн, может более, чем на порядок превышать амплитуду пакета с тем же временем задержки в стационарных условиях.

Пространственно-временная фокусировка наблюдалась нами также для пакета объемных МСВ, распространяющихся в пленке феррита параллельно направлению H_0 при импульсном уменьшении напряженности магнитного поля, что согласуется с теорией.

Приведенные экспериментальные результаты демонстрируют перспективность МСВ в качестве объекта исследований разнообразных волновых процессов, которые, согласно теоретическим представлениям^{3,4}, могут реализовываться в нестационарных средах.

Литература

1. Бетихиев Н.Н., Медведев В.В., Преображенский В.Л., Фетисов Ю.К., Экономов Н.А. ФТТ, 1985, 27, 90.
2. Damon R.W., Eshbach J.H. Phys. Chem. Solids, 1961, 19, 308.
3. Кравцов Ю.А., Островский Л.А., Степанов Н.С. ТИИЭР, 1974, 62, 91.
4. Manheimer W.M., Pipin B.H. Phys. Fluids, 1986, 29, 2283.