СЫКТЫВКАРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ПИТИРИМА СОРОКИНА

Исследование магнитоупругих колебаний в магнитной пленке при сверхбыстром лазерном возбуждении с использованием техники «transient grating»

Научный руководитель: *К.ф.-м.н., доцент*
Власов Владимир Сергеевич

Исполнитель: студент 122 группы
Перовский Игорь Андреевич

Актуальность

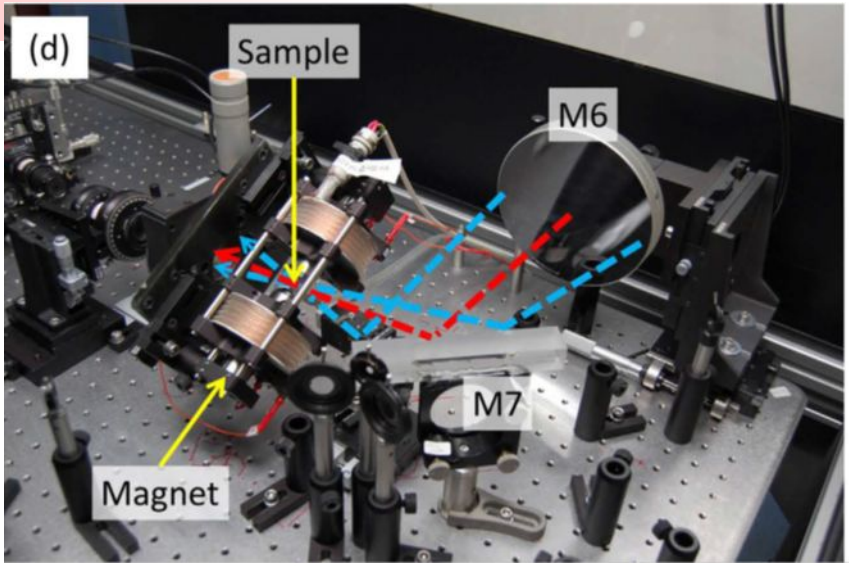
Рассматривается новое направление – сверхбыстрая акустомагнитная оптика. Если говорить о конкретном применении: то это контроль намагниченности в короткие сроки для реализации быстрой магнитной памяти и маломощной магнитной логики.

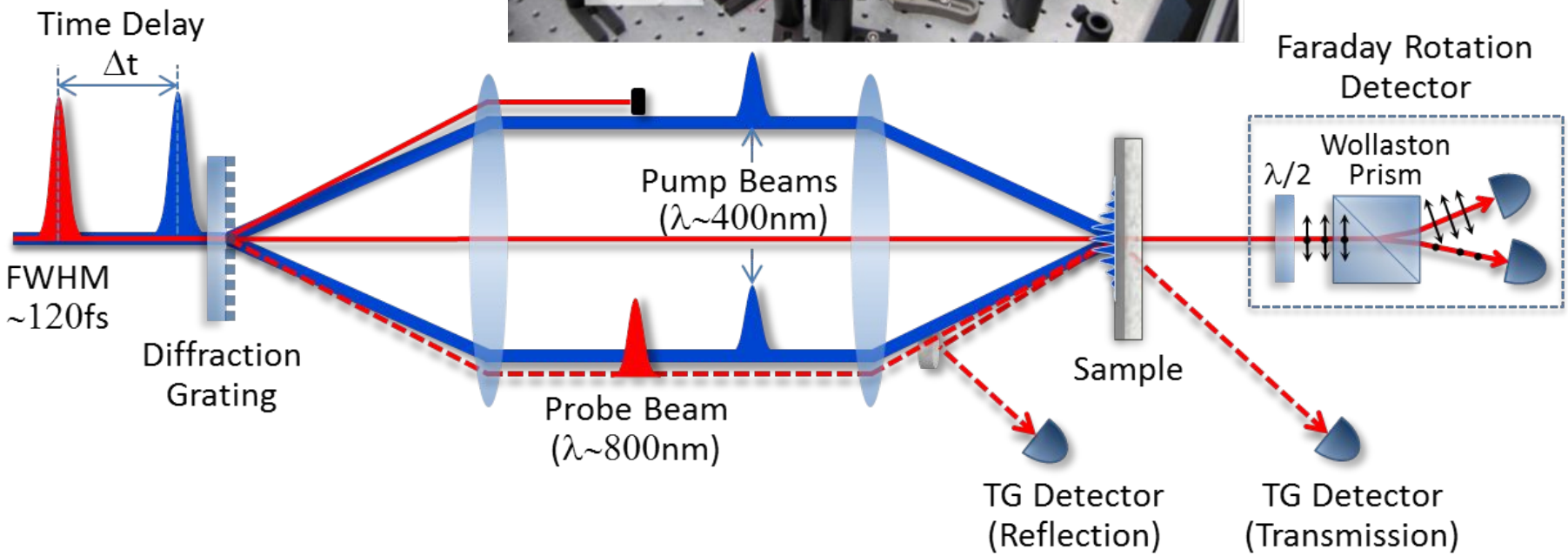
Целью работы является расчет магнитоупругих колебаний в магнитной пленке при сверхбыстром лазерном возбуждении с использованием техники «transient grating»

Задачи:

- **Определение параметров упругой волны с применением техники «transient grating»**
- **Решение задачи о нахождении собственных упругих волн системы пленка +подложка**
- **Расчет магнитных колебаний возбуждаемых упругими волнами**

Геометрия эксперимента

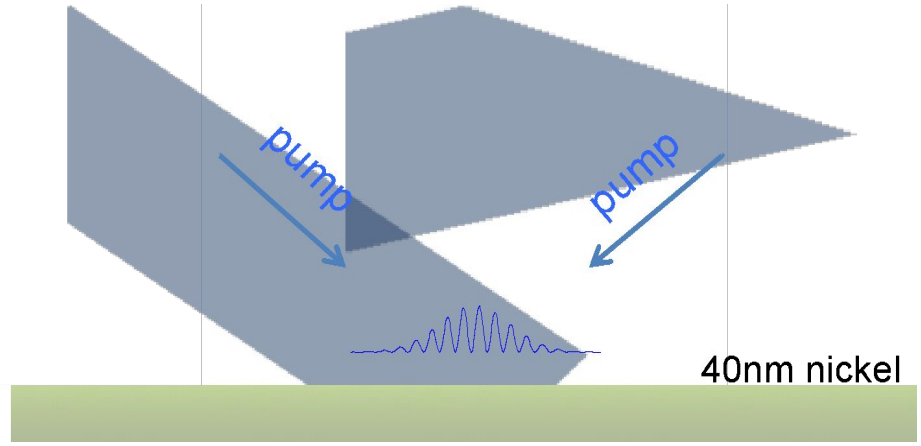


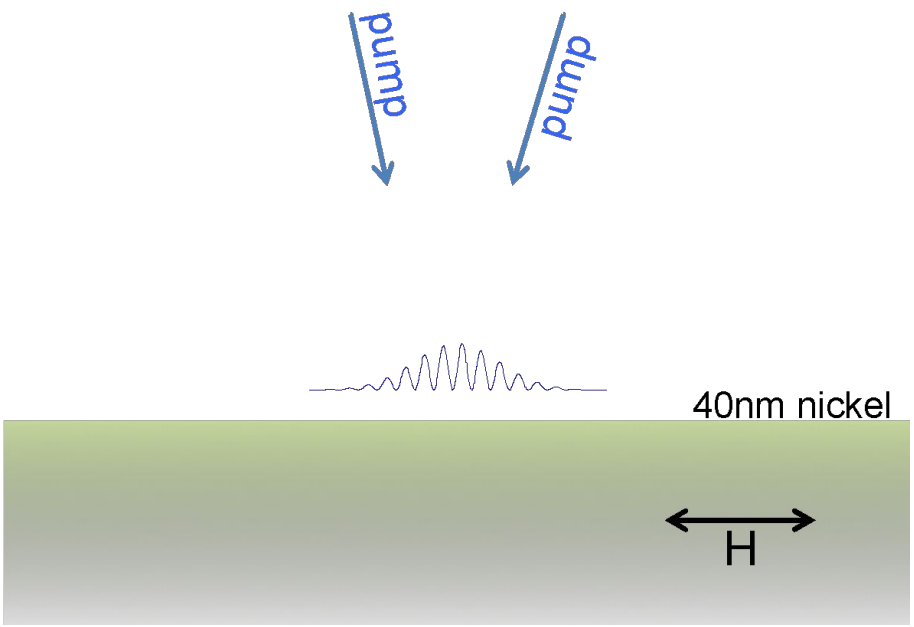


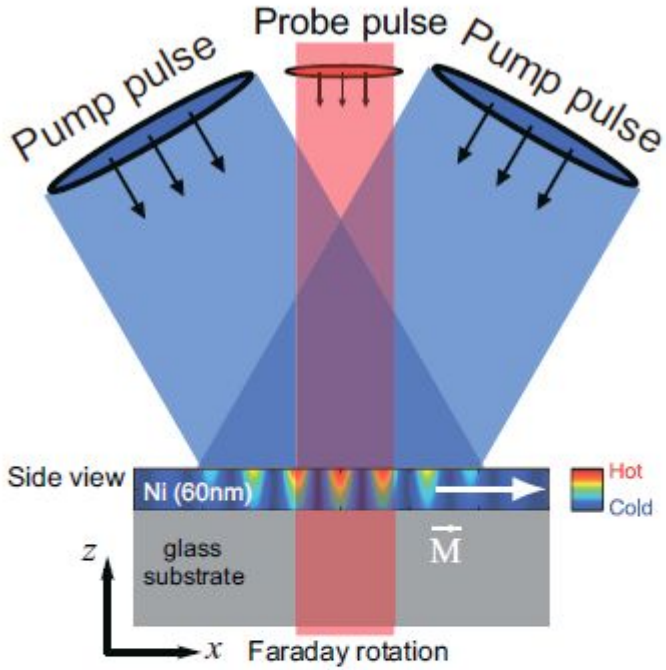
- Поликристаллические пленки никеля толщиной 40-80 нм на подложках
- Магнитное поле приложено в плоскости образца
- Средняя мощность лазера 1-5 mJ/cm^2

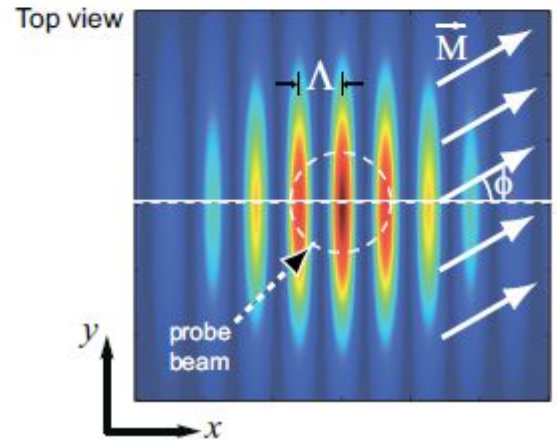
Техника Transient Grating

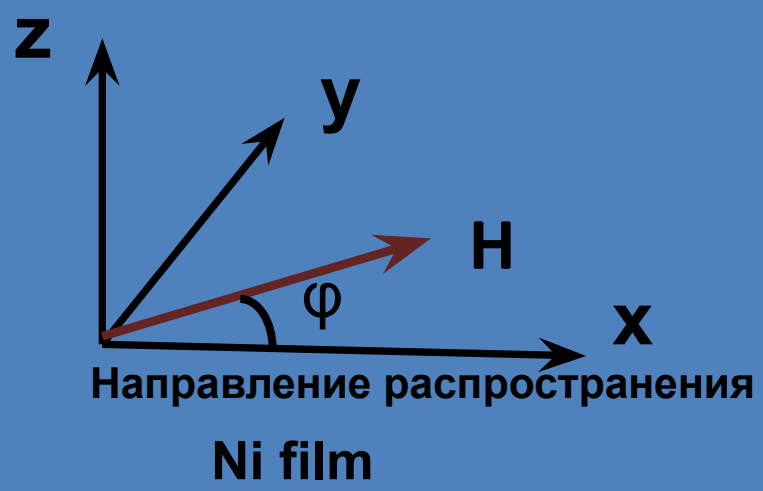
Преимущество техники: контроль длины волны за счет изменения угола падения лазера (от нормали).











немагнитная диэлектрическая подложка

Основные уравнения

$$\frac{\partial m_x}{\partial t} = -\frac{\gamma\mu_0}{1+\alpha^2}\cdot\left[\left(m_y + \alpha m_x m_z\right)\cdot H_{eff,z} - \left(m_z - \alpha m_y m_x\right)\cdot H_{eff,y} - \alpha\cdot\left(m_y^2 + m_z^2\right)\cdot H_{eff,x}\right]$$

$$\frac{\partial m_y}{\partial t} = -\frac{\gamma\mu_0}{1+\alpha^2}\cdot\left[\left(m_z + \alpha m_y m_x\right)\cdot H_{eff,x} - \left(m_x - \alpha m_z m_y\right)\cdot H_{eff,z} - \alpha\cdot\left(m_z^2 + m_x^2\right)\cdot H_{eff,y}\right]$$

$$\frac{\partial m_z}{\partial t} = -\frac{\gamma\mu_0}{1+\alpha^2}\cdot\left[\left(m_x + \alpha m_z m_y\right)\cdot H_{eff,y} - \left(m_y - \alpha m_x m_z\right)\cdot H_{eff,x} - \alpha\cdot\left(m_x^2 + m_y^2\right)\cdot H_{eff,z}\right]$$

$$H_{eff,i} = -\frac{1}{\mu_0 M_0}\cdot\frac{\partial F}{\partial m_i}$$

Акустическая часть задачи

$$\rho \cdot \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = c_{ijkl} \frac{\partial^2}{\partial x_j \partial x_l} u_k$$

$$\rho \cdot c^2 \cdot a_i = c_{ijkl} \cdot l_j \cdot l_l \cdot a_k$$

$$u_i = a_i \exp(ik(l_1 x + l_2 y + l_3 z - ct))$$

$$\det(c_{ijkl} \cdot l_j \cdot l_l - \rho \cdot c^2 \cdot \delta_{ik}) = 0$$

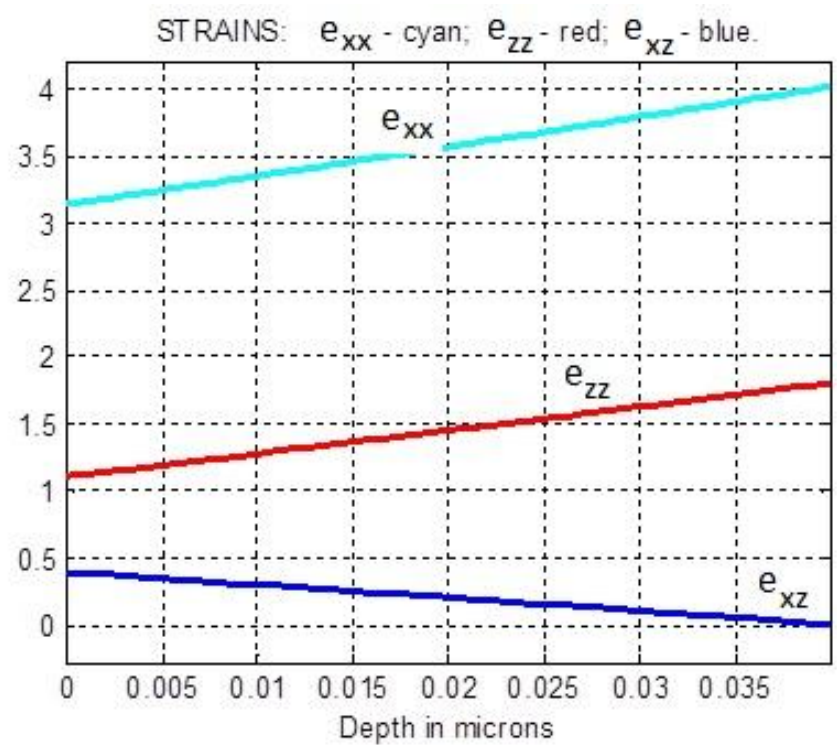
$$u_i = \sum_{n=1}^{3} C_n a_i^{(n)} \exp(ik(l_3^{(n)} z + l_1 x + l_2 y - ct))$$

Граничные условия

$$\sigma_{zj}\Big|_{z=0} = c_{zjkl} u_{kl}\Big|_{z=0} = 0$$

$$c_{zjkl} \sum_{n=1}^{3} C_n a_k^{(n)} l_l^{(n)} = 0 \qquad \sigma_{zj}\Big|_{z=-d} = \sigma_{zj}^{*}\Big|_{z=-d}$$

Зависимость деформаций релеевской волны от глубины



Деформации действующие на намагниченность релеевской волны и вытекающей продольной волны

$$e_{xx}^{SAW}(t) = e_{xx} \cos(kx) \cos(\omega_{SAW} t)$$

$$e_{zz}^{SAW}(t) = -e_{zz} \cos(kx) \cos(\omega_{SAW} t)$$

$$e_{xz}^{SAW}(t) = e_{xz} \cos(kx) \sin(\omega_{SAW} t)$$

$$e_{xx}^{SSLW}(t) = e_{xx} \cos(kx) \cos(\omega_{SSLW} t)/t$$

Магнито-акустические динамики при малых углах φ

$$m_x = 1 \qquad m_y = \varphi + m_{yd} \qquad m_z = m_{zd} \qquad \alpha = 0$$

$$\ddot{m}_{yd} + \Omega^2 m_{yd} + \varphi \cdot D\dot{m}_{yd} e_{xz}(t) = A\dot{e}_{xz}(t) + \varphi \cdot B e_{xx}(t)$$

$$\Omega^2 = \gamma^2 \mu_0^2 H \cdot (H + M_0) + \frac{2\gamma^2 b_1 \mu_0}{M_0}(H \cdot e_{zz}(t) - (2H + M_0) e_{xx}(t)) - \varphi \frac{4\gamma b_2}{M_0} \dot{e}_{xz}(t)$$

$$D = -\frac{4\gamma \cdot b_2}{M_0} \qquad A = -\frac{2\gamma \cdot b_2}{M_0} \qquad B = \frac{2\gamma^2 \cdot b_1 \cdot \mu_0}{M_0}(H + M_0)$$

$$A\dot{e}_{xz}(t) + \varphi \cdot B e_{xx}(t) = 0$$

This condition we can realize for SAW

$$\varphi_0 = \frac{\omega_{SAW}}{\gamma \mu_0 (H + M_0)} \frac{b_2}{b_1} \frac{e_{xz}}{e_{xx}} \qquad \frac{e_{xz}}{e_{xx}} \approx 0.07 \qquad b_1 = b_2 \qquad \lambda = 1.1\,\mu m$$

$$H = 1.6 \cdot 10^4\ A/m \qquad M_0 = 4.8 \cdot 10^5\ A/m \qquad \varphi_0 \approx 1^\circ$$

Магнитоакустическая динамика при произвольных углах φ

$$H_{eff,x}=H\cos\varphi-\frac{2b_1}{\mu_0 M_0}m_x e_{xx}(t) \qquad H_{eff,y}=H\sin\varphi \qquad H_{eff,z}=-M_0 m_z$$

$$m_x=\cos\varphi+m_{xd} \qquad m_y=\sin\varphi+m_{yd} \qquad m_z=m_{zd}$$

$$\dot{m}_{xd}=\frac{\gamma\mu_0}{1+\alpha^2}(m_{zd}\sin\varphi(H+M_0)+\alpha H\sin\varphi(m_{yd}\cos\varphi-m_{xd}\sin\varphi)-$$
$$-\frac{2b_1}{\mu_0 M_0}e_{xx}\alpha\cos\varphi\sin^2\varphi+M_0 m_{yd}m_{zd})$$

$$\dot{m}_{yd}=-\frac{\gamma\mu_0}{1+\alpha^2}(m_{zd}\cos\varphi(H+M_0)+\alpha H\cos\varphi(m_{yd}\cos\varphi-m_{xd}\sin\varphi)-$$
$$-\frac{2b_1}{\mu_0 M_0}e_{xx}(\alpha\cos^2\varphi\sin\varphi+m_{zd}\cos\varphi)+M_0 m_{xd}m_{zd})$$

$$\dot{m}_{zd}=-\frac{\gamma\mu_0}{1+\alpha^2}(H(m_{xd}\sin\varphi-m_{yd}\cos\varphi)+\alpha m_{zd}(H+M_0)+$$
$$+\frac{2b_1}{\mu_0 M_0}e_{xx}(\cos\varphi\sin\varphi+m_{yd}\cos\varphi+m_{xd}\sin\varphi))$$

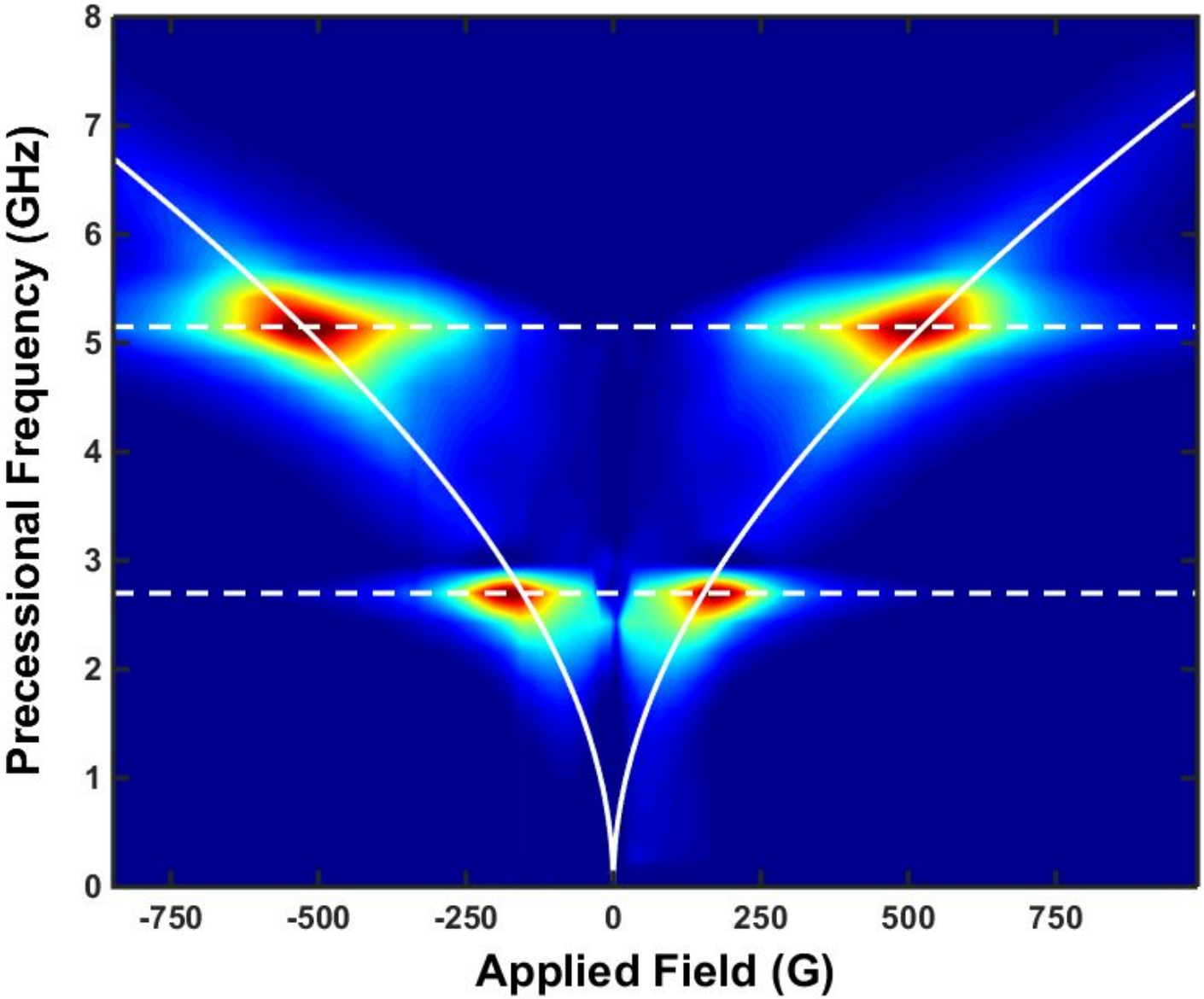
Линейный случай $\alpha=0$

$$\ddot{m}_{zd}+\omega_r^2 m_{zd}=-\frac{b_1\gamma}{M_0}\dot{e}_{xx}\sin 2\varphi$$

maximum interaction angle $\varphi_{\max}=45^\circ$

Теоретический график зависимости Фурье спектра от магнитного поля.

Λ=1.1μm

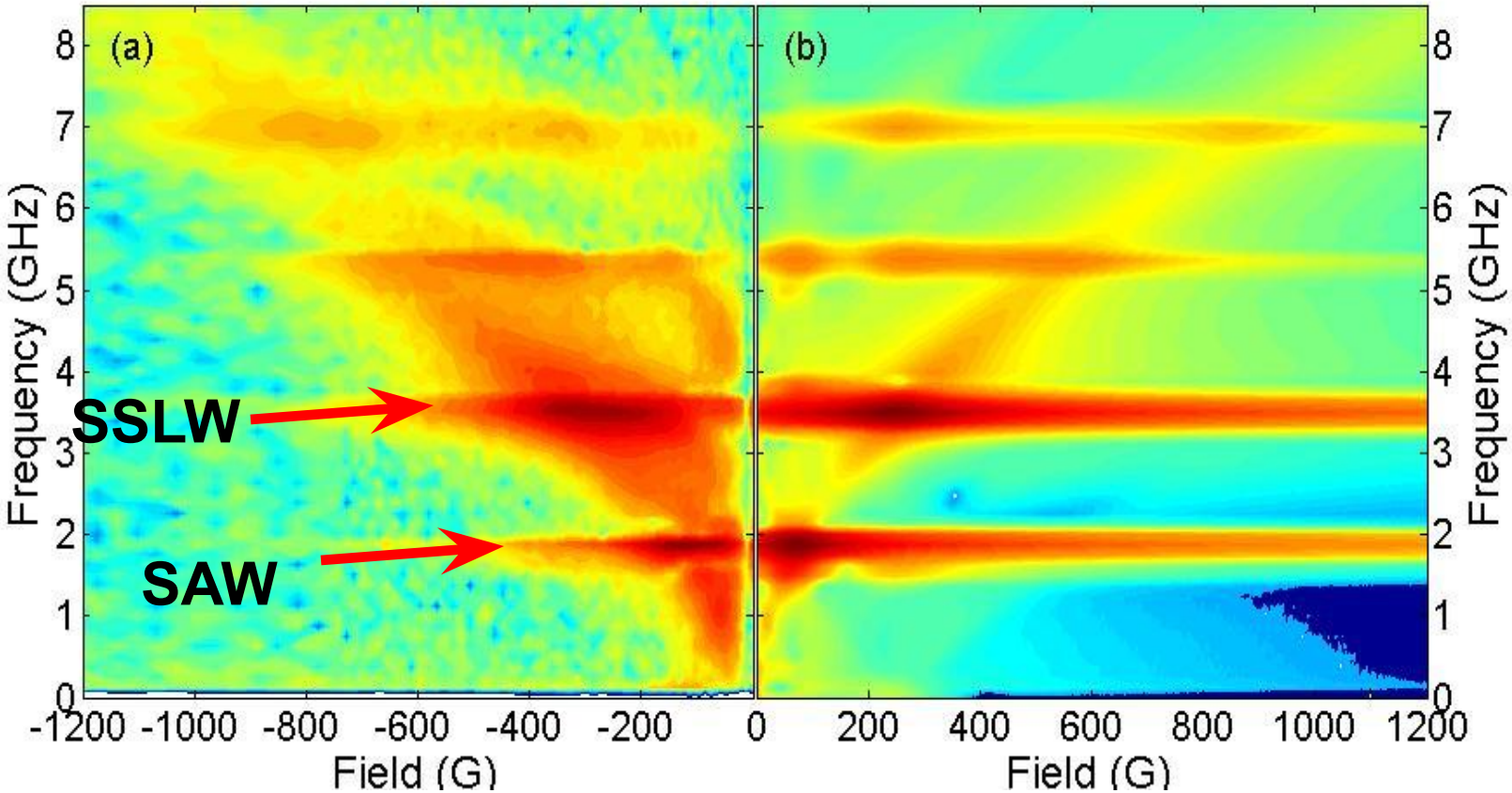


Нелинейное взаимодействие упругих волн с магнитным генератором

$\Lambda = 1.4\mu m$

Эксперимент

Теория



Выводы

- **Определены параметры упругой волны с применением техники «transient grating»**
- **Решена задача о нахождении собственных упругих волн системы пленка +подложка**
- **Определены амплитуды и частоты магнитных колебаний в зависимости от напряженности магнитного поля**