

Магнитооптика и ее применения для диагностики магниторезистивных структур

О.С. Трушин

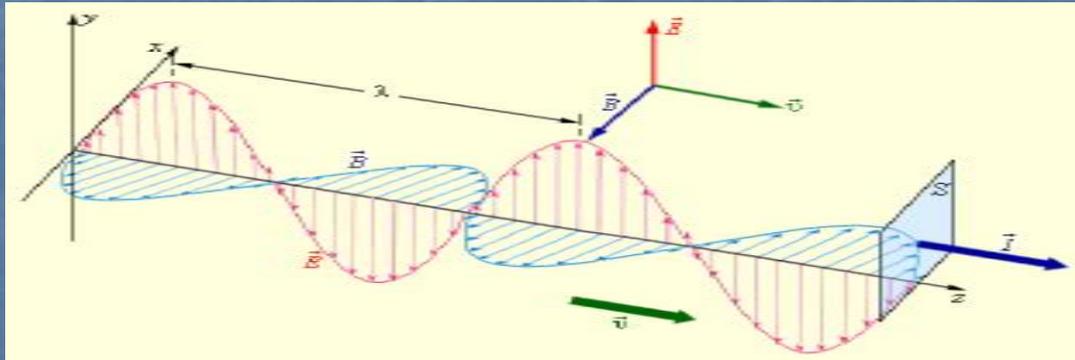
План

- Введение (история и современные применения)
- Основные МО эффекты
- Теория МО эффектов
- Применения МО для диагностики МР структур
- Заключение

Введение

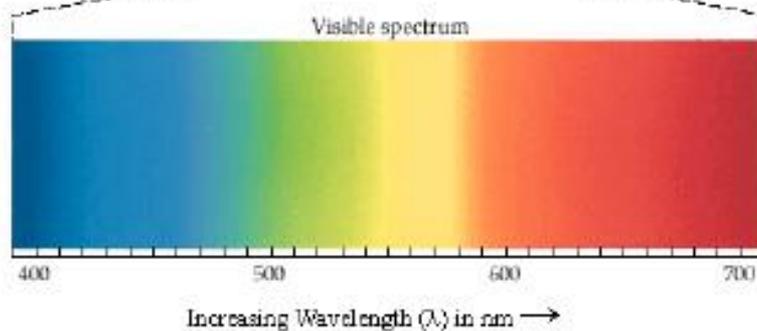
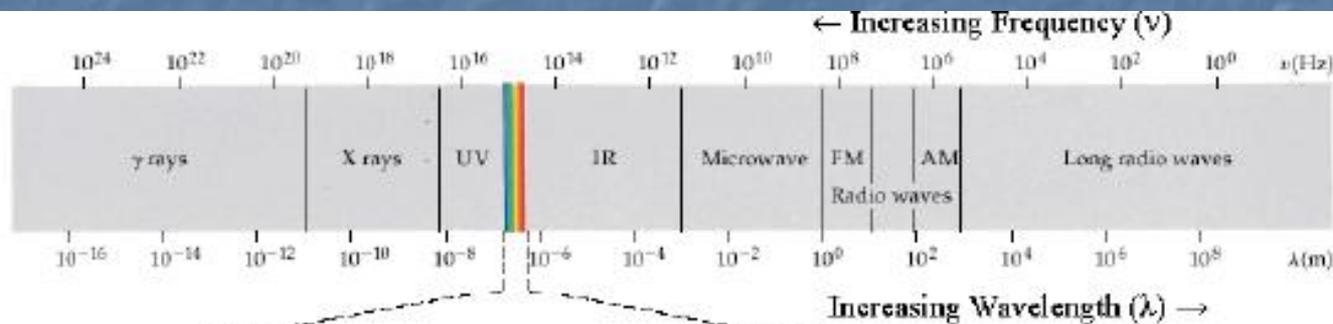
- Магнитооптика описывает явления взаимодействия света с веществом находящегося в магнитном поле
- Магнитооптика – важный инструмент исследования вещества
- Магнитооптика – основа создания новой техники манипуляции светом

Электромагнитная природа света



$$E(\mathbf{r}, t) = E_0 \exp[-i(\omega t - \mathbf{k}r)],$$

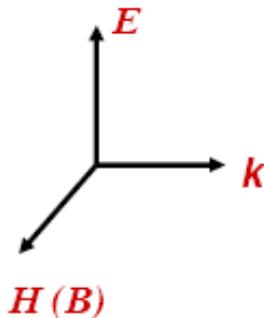
$$B(\mathbf{r}, t) = B_0 \exp[-i(\omega t - \mathbf{k}r)],$$



1.5–3.2 eV

Поляризация света I

Если колебания электрического и магнитного полей происходят только в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, то такой свет называют линейно-поляризованным (или плоско поляризованным).



Плоскость, в которой колеблется световой вектор E называется плоскостью поляризации

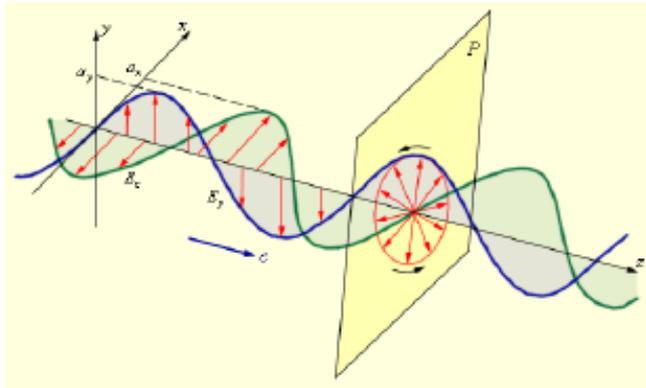
Световые волны, испускаемые обычными источниками света (например, лампочкой накаливания), не поляризованы.

Это означает, что колебания векторов E и H происходят по всевозможным направлениям в поперечной плоскости.

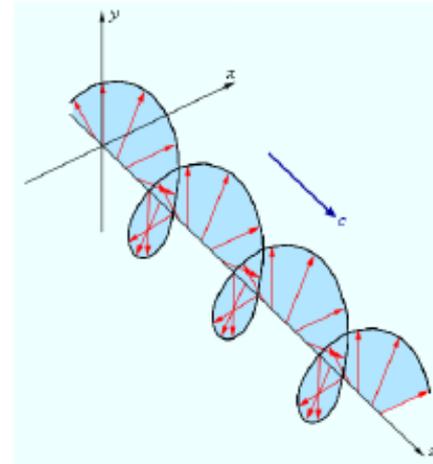
Такой свет называют естественным.

Поляризация света II

Если вдоль одного и того же направления распространяются две монохроматические волны, поляризованные в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, то в результате их сложения в общем случае возникает эллиптически поляризованная волна



Сложение двух взаимно перпендикулярно поляризованных волн и образование эллиптически поляризованной волны



Электрическое поле в эллиптически поляризованной волне

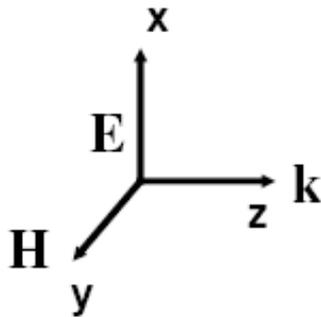
Линейно-поляризованную волну можно разложить на право- и лево-поляризованные по кругу (эллипсу) волны

Магнитооптика

Магнитооптика - раздел физики, рассматривающий явления взаимодействия света с намагниченным кристаллом.

Реально изучается влияние намагниченности среды на параметры падающего света: поляризацию (положение E относительно оси x в плоскости xu), амплитуду E_0 , начальную фазу Φ .

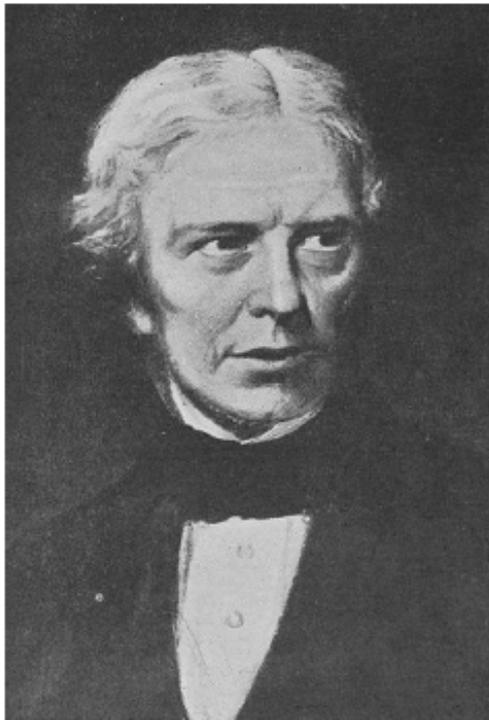
При этом исследуются причины, обуславливающие наблюдаемые изменения указанных параметров.



$$E = E_0 \cos(\omega t + \Phi)$$

История магнитооптики

Впервые магнитооптический эффект на проходящем через намагниченный кристалл свете был обнаружен Фарадеем в 1845 году. Этот эффект был назван его именем.



Майкл Фарадэй (1791 – 1867)
английский **физик-экспериментатор и химик.**

Открыл **электромагнитную индукцию,** лежащую в основе современного промышленного производства электричества и многих его применений.

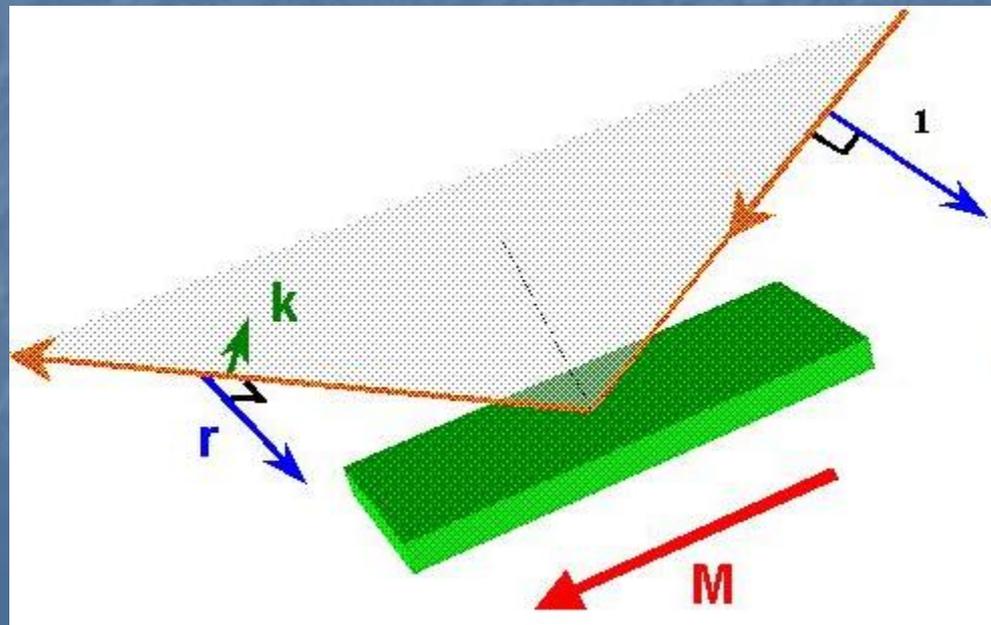
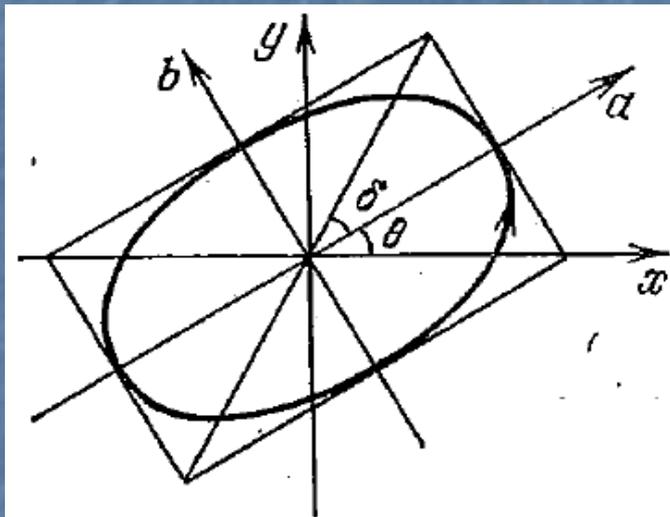
Создал первую модель **электродвигателя.**

Среди других его открытий — первый **трансформатор, химическое действие тока, законы электролиза, действие магнитного поля на свет, диамагнетизм.**

Первым предсказал **электромагнитные волны.**

Фарадэй — основоположник учения об **электромагнетизма,** которое затем математически оформил и развил **Максвелл**

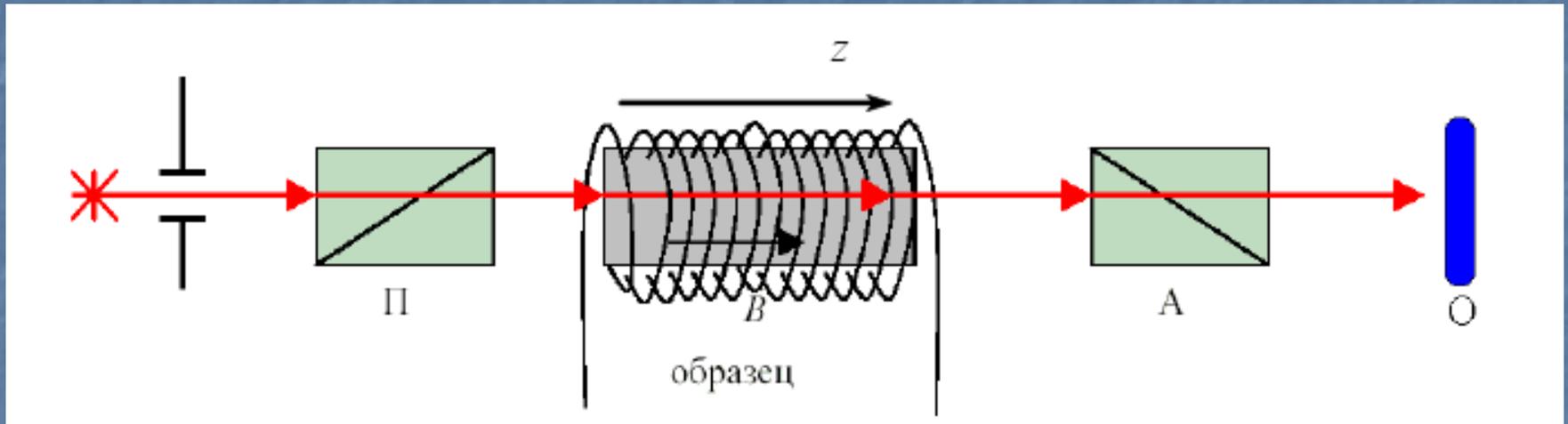
Поляризация света II



Основные МО эффекты

- Эффект Фарадея
- Эффект Коттона-Мутона
- Эффекты Керра: полярный, продольный, поперечный
- Нелинейные МО эффекты

Эффект Фарадея

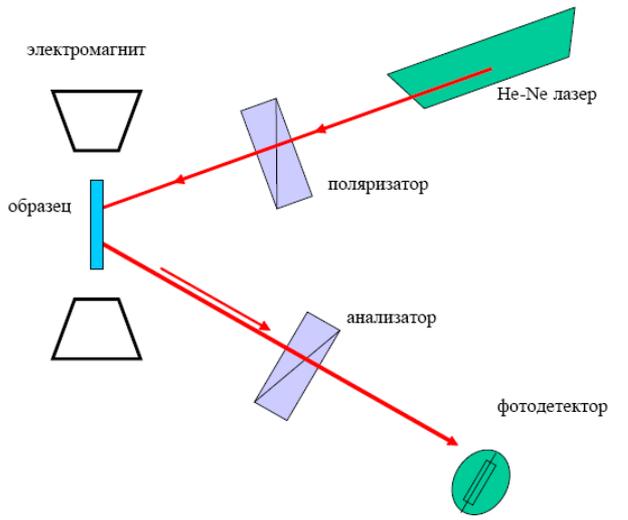


$$\varphi = \rho M l$$

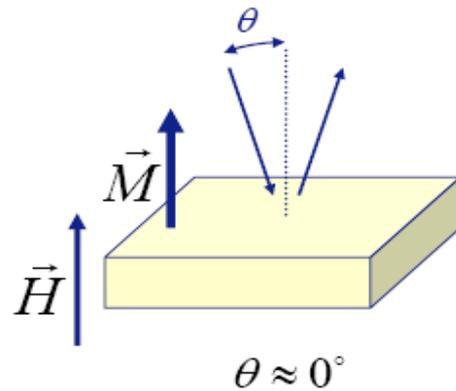
Вращение плоскости поляризации

«намагничивание светового луча» (Майкл Фарадей)

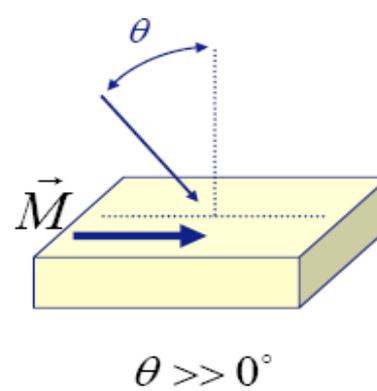
Эффект Керра



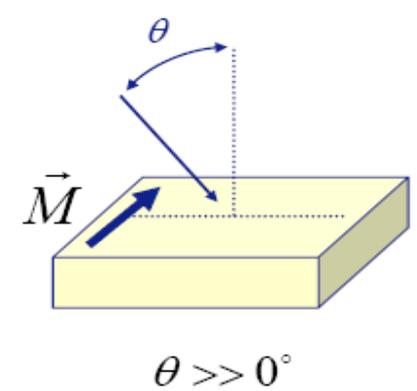
1. Вращение плоскости поляризации
2. Изменение эллиптичности
3. Изменение интенсивности



polar

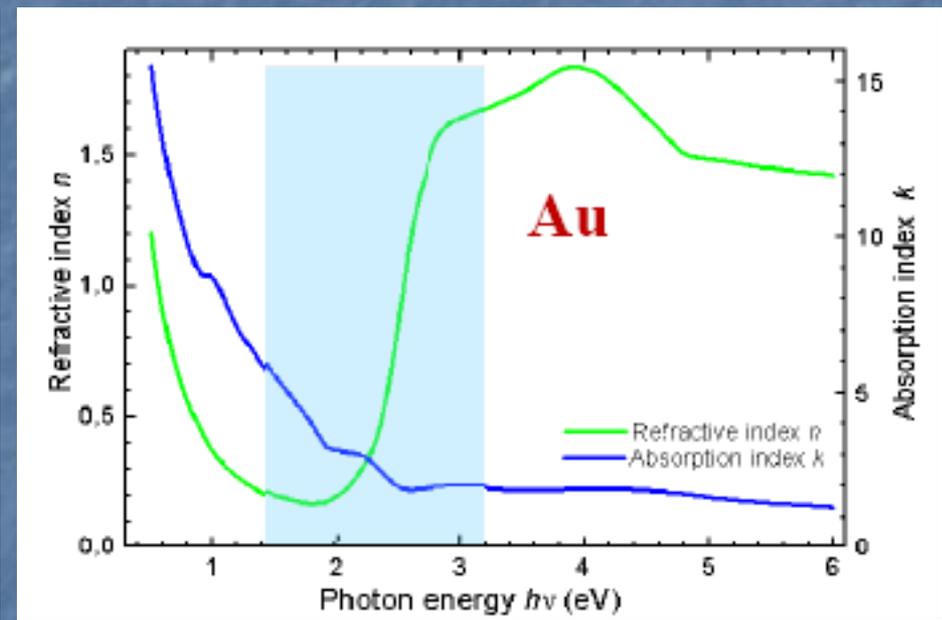
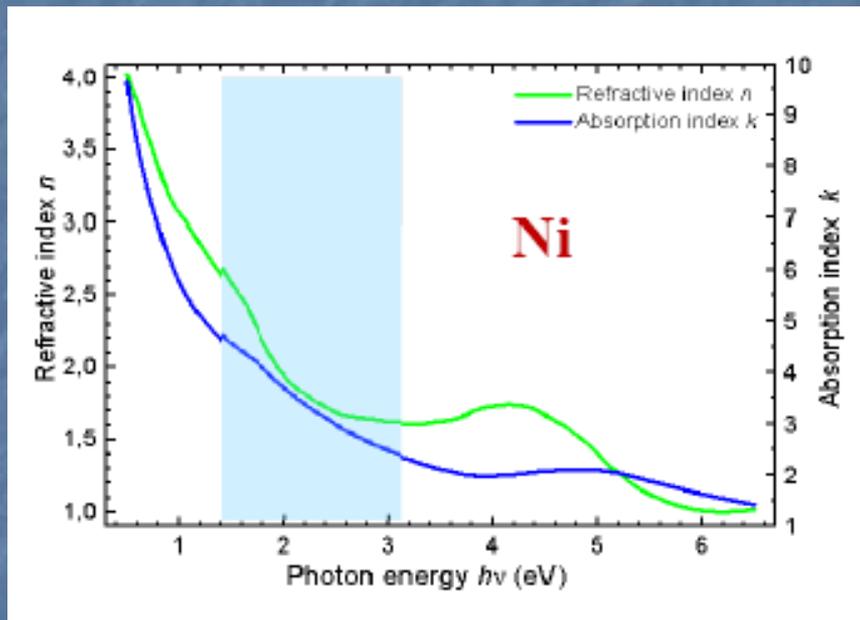


longitudinal



transverse

Оптические постоянные металлов



Теория МО эффектов

В основе МО эффектов лежит разница показателей преломления для разных направлений круговой поляризации: правой (n_+ и левой n_-)

$$\hat{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 & i \cdot g & 0 \\ -i \cdot g & \varepsilon_1 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_0 \end{pmatrix}$$

$$g = \alpha \cdot M$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_0 + \beta \cdot M^2$$

Формулы для эффектов Керра

Полярный эффект

$$\Phi_K^{s,p} = \operatorname{Re} \frac{r_{sp}}{r_{ss}(r_{pp})} = \operatorname{Im} \frac{\eta^2 [(\eta^2 - \sin^2 \phi)^{1/2} \mp \sin \phi \tan \phi]}{(\eta^2 - 1)(\eta^2 - \tan^2 \phi)} Q$$

Меридиональный (продольный)

$$\Phi_K^{s,p} = \operatorname{Re} \frac{(\pm r_{sp})}{r_{ss}(r_{pp})} = \operatorname{Im} \frac{[\sin \phi \eta^2 (\sin \phi \tan \phi \pm \sqrt{\eta^2 - \sin^2 \phi})]}{(\eta^2 - 1)(\eta^2 - \tan^2 \phi)(\eta^2 - \sin^2 \phi)^{1/2}} Q$$

Поперечный

$$\delta_p = \frac{\Delta I}{I} = -\operatorname{Im} \frac{4 \tan \phi \eta^2}{(\eta^2 - 1)(\eta^2 - \tan^2 \phi)} Q.$$

Типичные зависимости

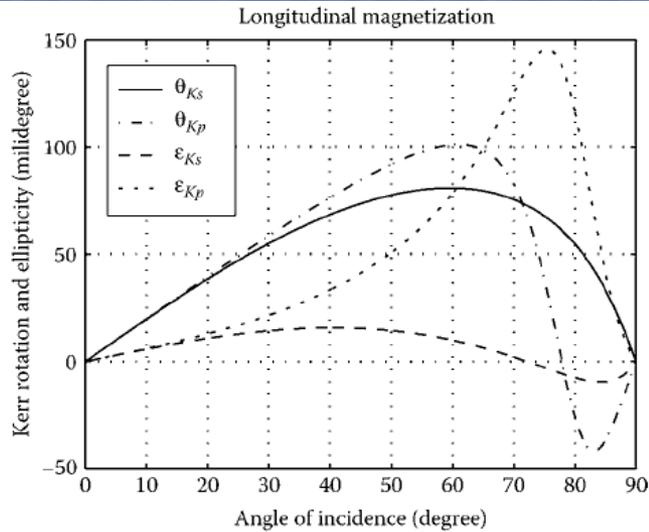


FIGURE 1.5
Complex longitudinal Kerr rotation and ellipticity $\chi_{rs}^{(\text{lon})} = \theta_{Ks} + j\epsilon_{Ks}$ and $\chi_{rp}^{(\text{lon})} = \theta_{Kp} + j\epsilon_{Kp}$ as functions of the angle of incidence for the s and p polarized incident waves, respectively, at an air-iron interface. The curves of the azimuths θ_{Ks} and θ_{Kp} and the ellipticities ϵ_{Ks} and ϵ_{Kp} were computed using the data of Figure 1.1 and Figure 1.4.

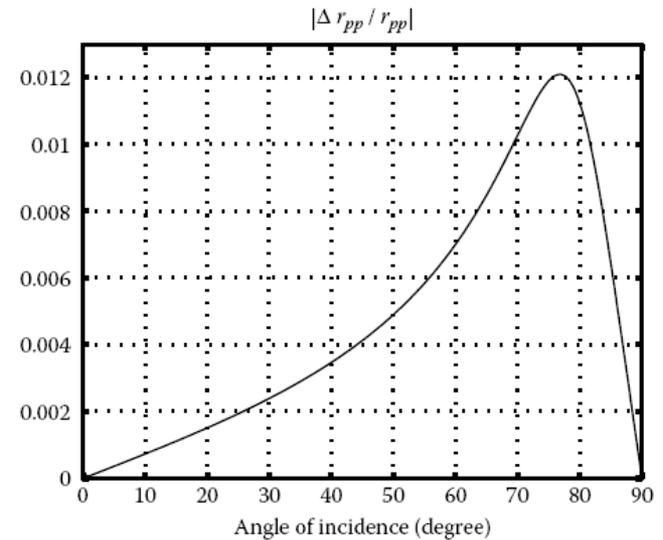
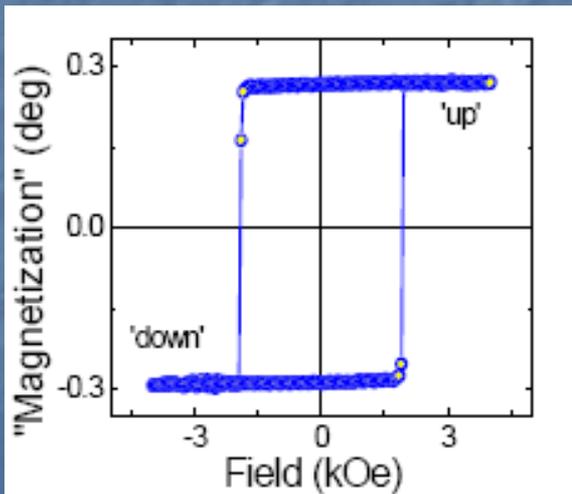
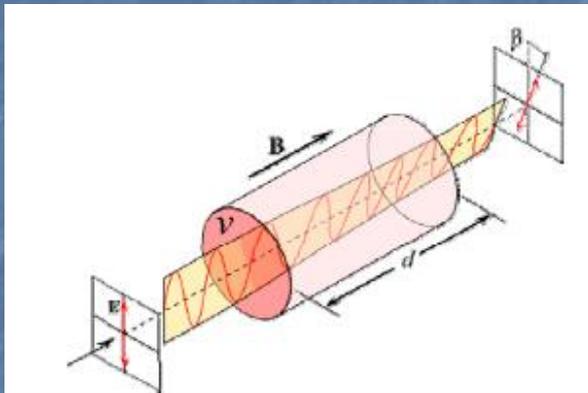


FIGURE 1.6
Perturbation $\Delta r_{pp}^{(\text{trans})}$ to the diagonal element r_{pp} , induced by the transverse magnetization at an air-iron interface as a function of the angle of incidence. The curve $|\Delta r_{pp} / r_{pp}|$ was computed using the values for the diagonal and off-diagonal permittivity tensor elements

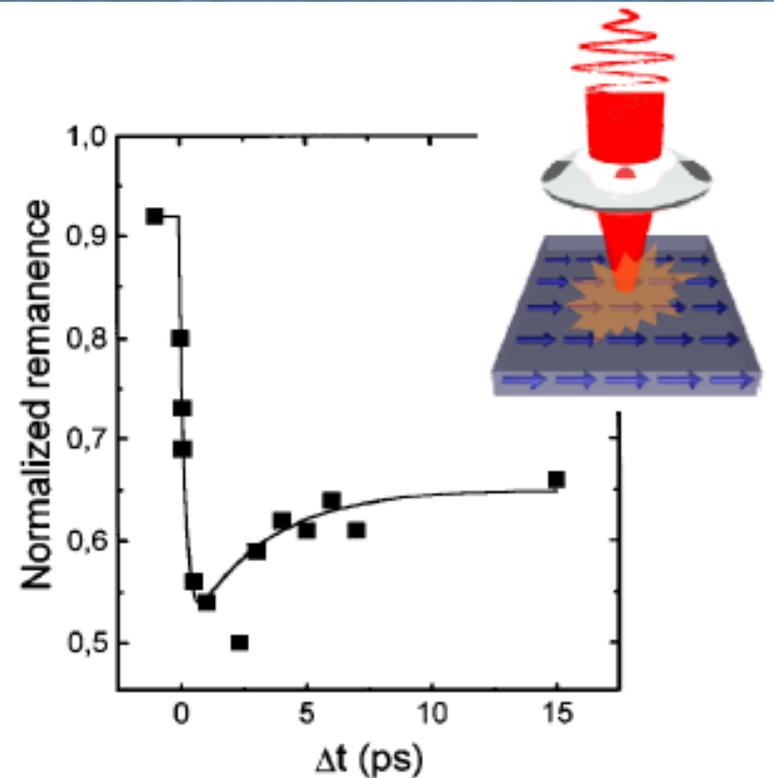
Меридиональный (продольный)

Экваториальный (поперечный)

Применения МО эффектов



hysteresis



Beaurepaire et al, PRL 76, 4250 (1996).

dynamics

Получение петель гистерезиса

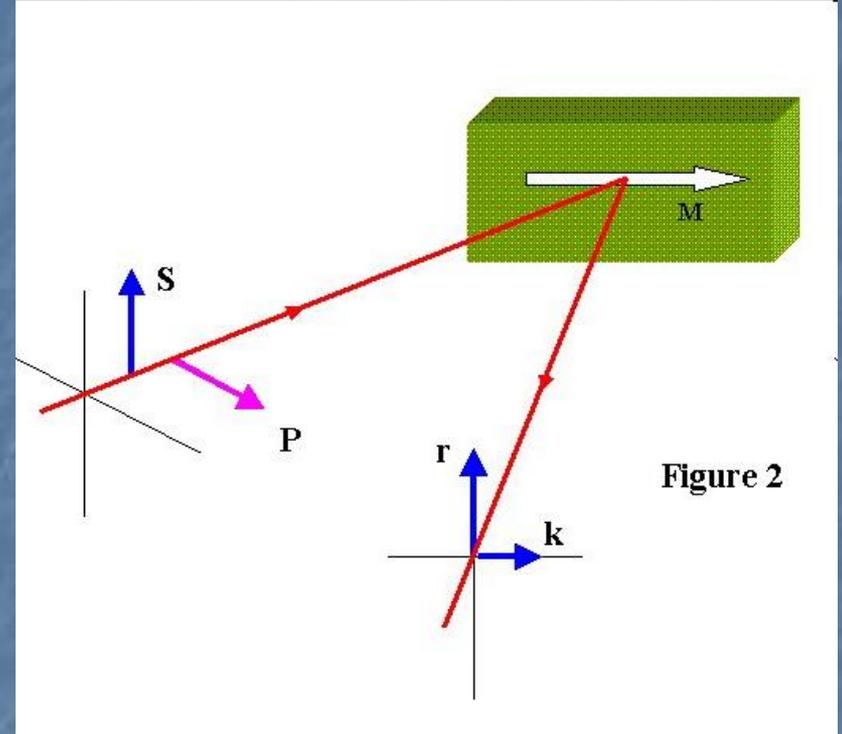
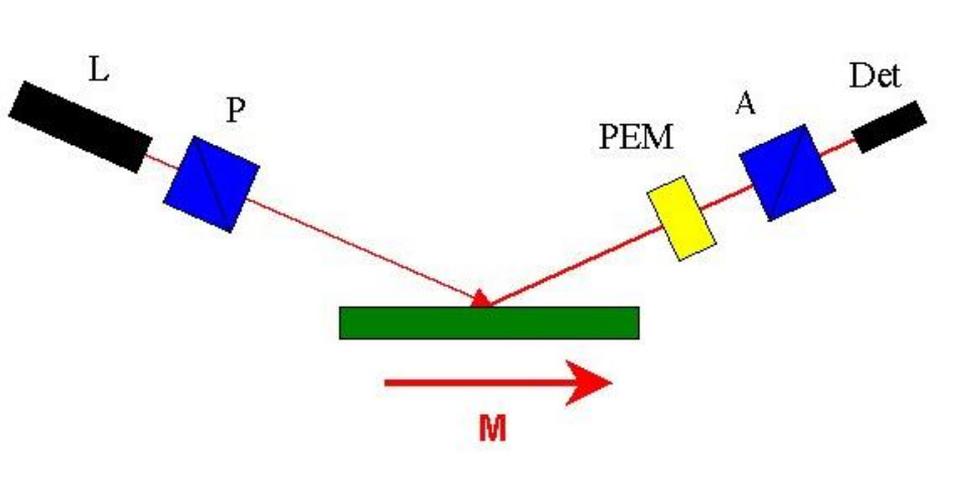


Figure 2

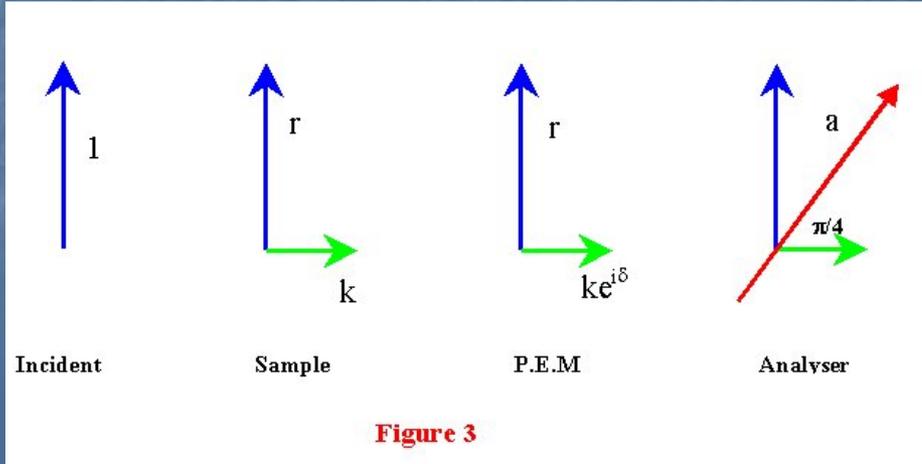
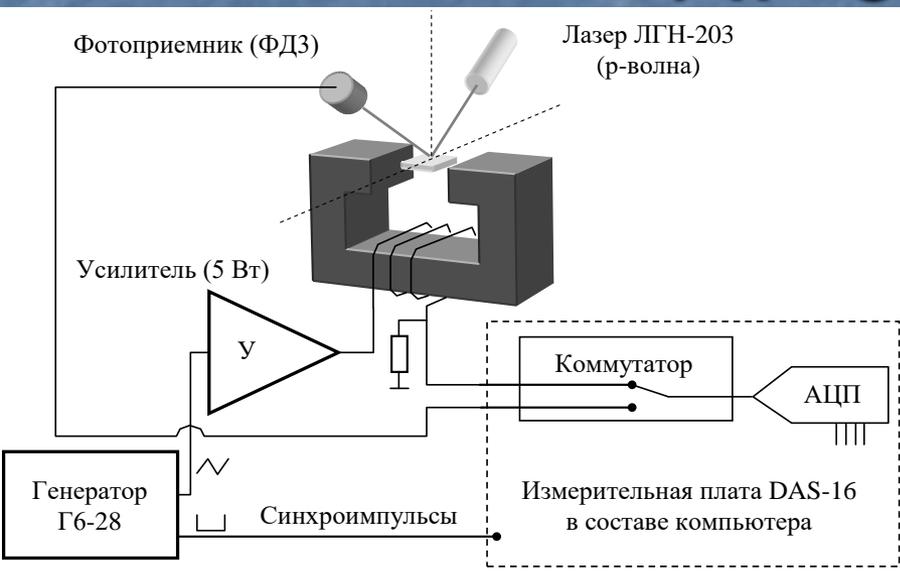
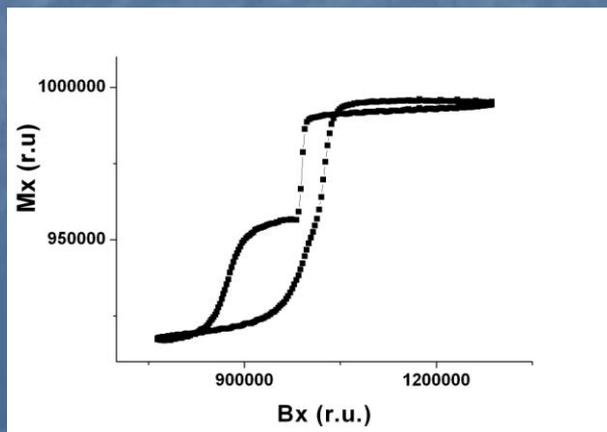


Figure 3

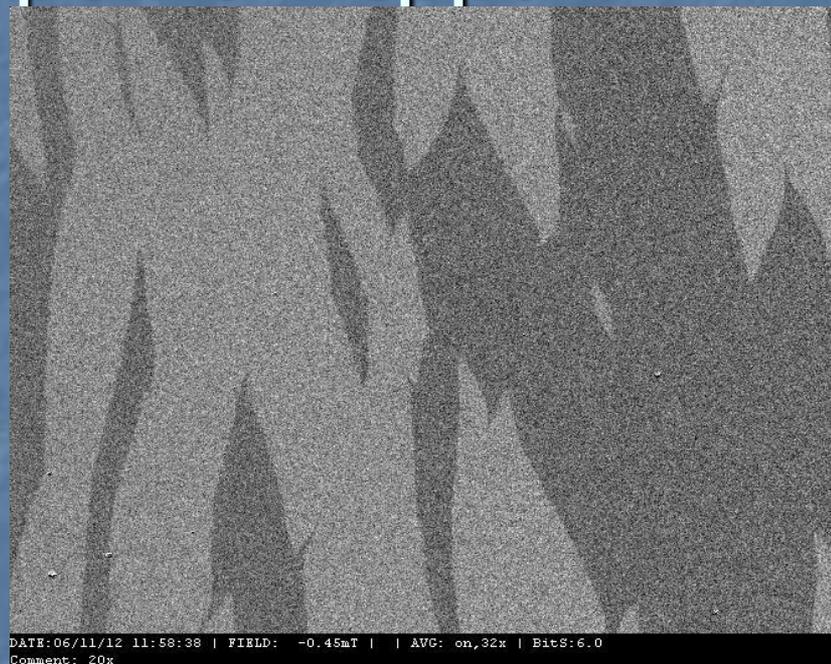
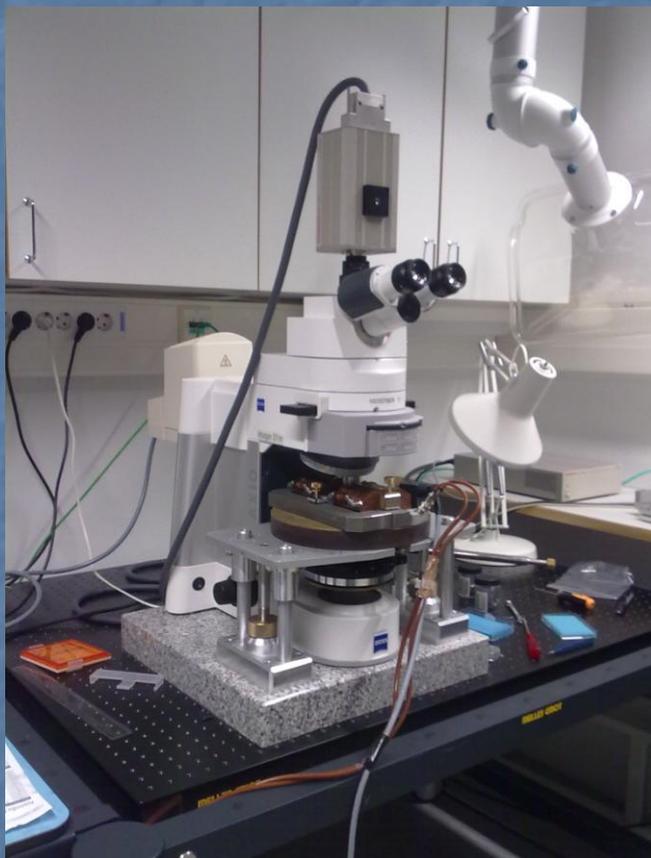
Применения МО для диагностики МР структур



Экспериментальная кривая

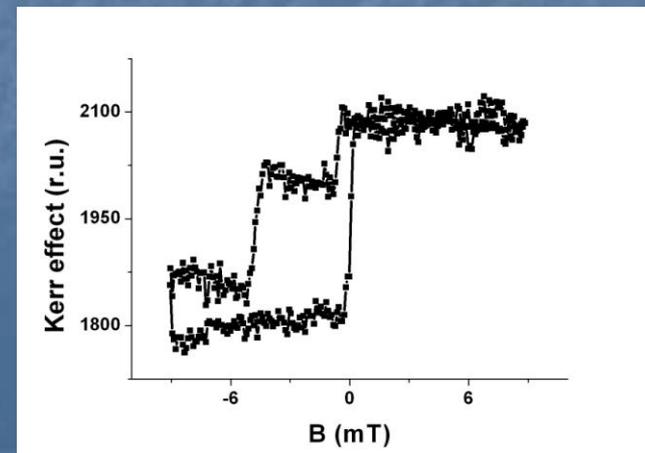


Исследование микромагнитных состояний методом микроскопии эффекта Керра



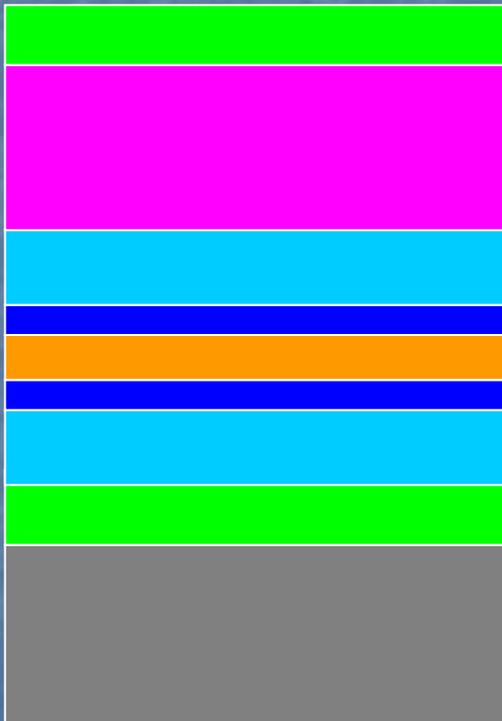
DATE: 06/11/12 11:58:38 | FIELD: -0.45mT | AVG: on, 32x | BitS: 6.0
Comment: 20x

Микроскоп фирмы AVECO



Сравнение двух типов СПИН-ВЕНТИЛЬНЫХ СТРУКТУР

SV1



Ta(4nm)

FeMn(10nm)

NiFe(4nm)

Co(1nm)

Cu(2.5nm)

Co(1nm)

NiFe(4nm)

Ta(4nm)

Si

SV2



Ta(2.5nm)

FeMn(10nm)

CoFe(6nm)

Cu(2.5nm)

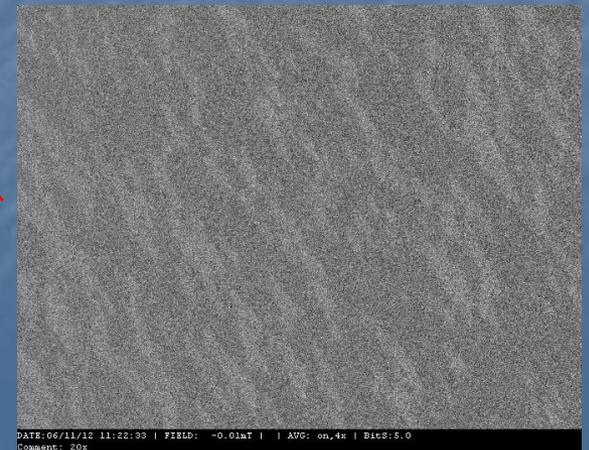
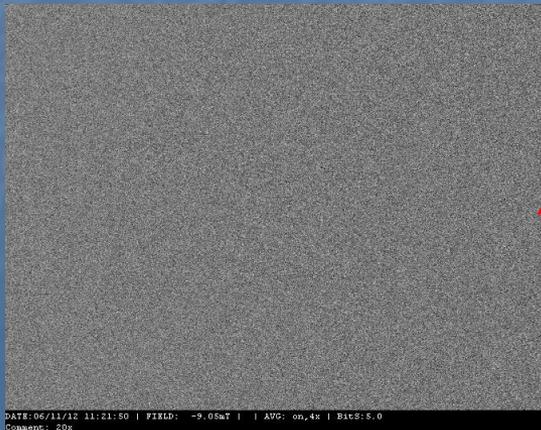
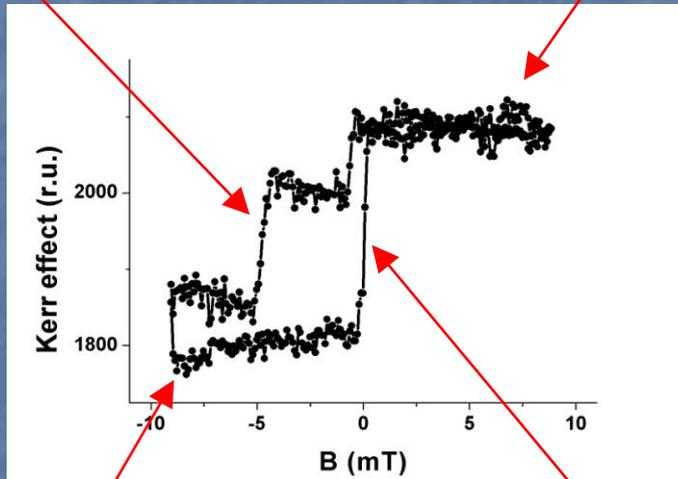
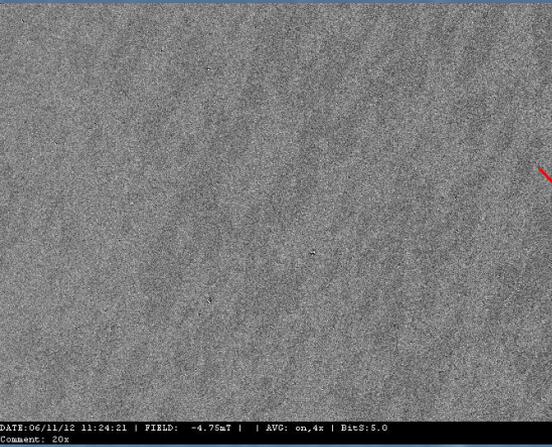
CoFe(6nm)

NiFe(2nm)

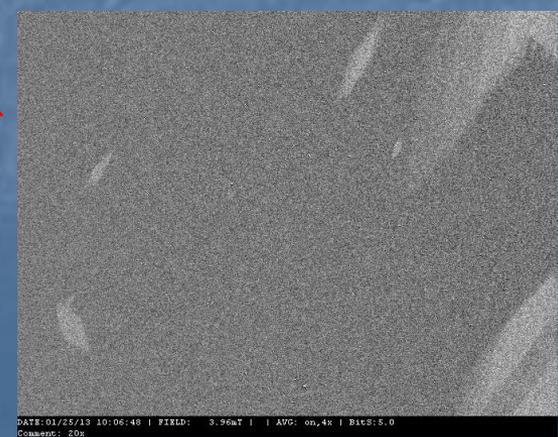
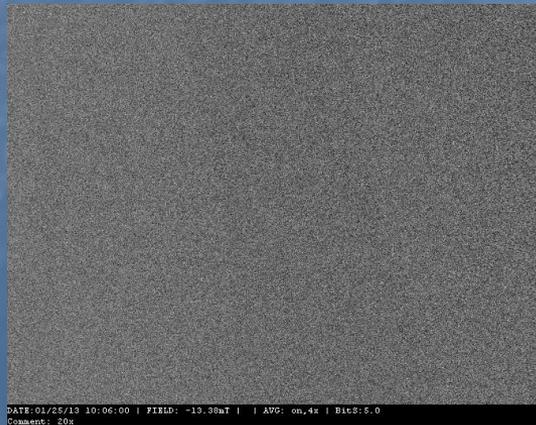
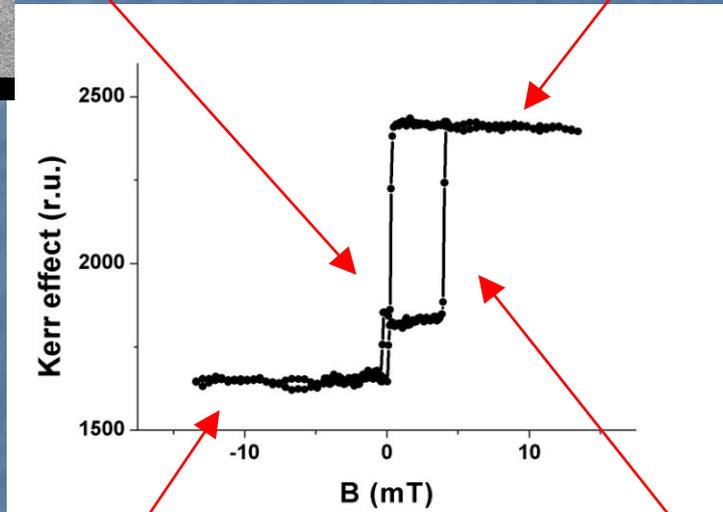
Ta(5nm)

Si

SV1

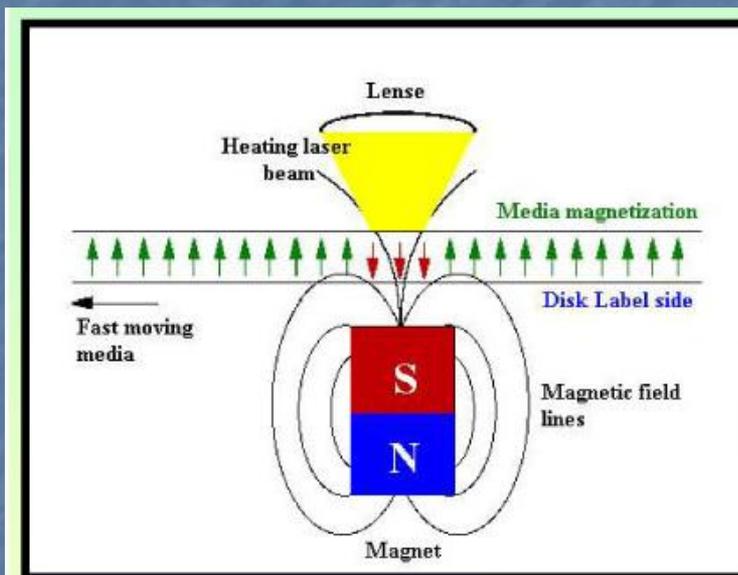


SV2



Технические применения МО эффектов

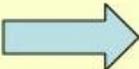
эфффектов

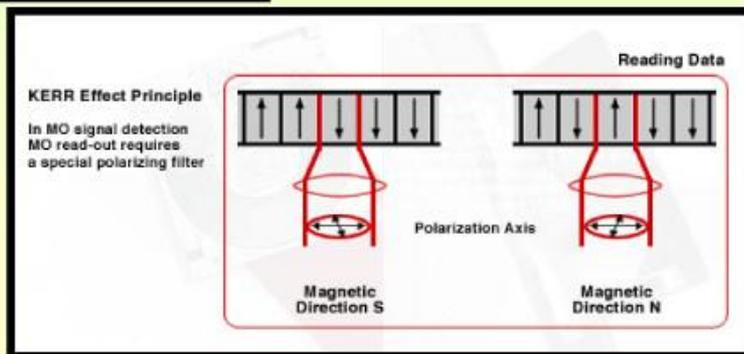


Magneto-optical discs



Write

Read 



Контрольные вопросы

- Явление поляризации света
- Основные магнитооптические эффекты
- Использование магнитооптики для диагностики магнитных пленок
- Технические применения магнитооптики

Литература

- Вдовичев С.Н. МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ (методическое пособие) ННГУ 2010
- Звездин А.К., Котов В.А. Магнитооптика тонких пленок
- Кринчик Г.С. Физика магнитных явлений , МГУ 1976 г.