

Phasenmessung in der nichtlinearen Optik

Th. Lottermoser, St. Leute

und

M. Fiebig, D. Fröhlich, R.V. Pisarev

Einleitung

Prinzip der Phasenmessung

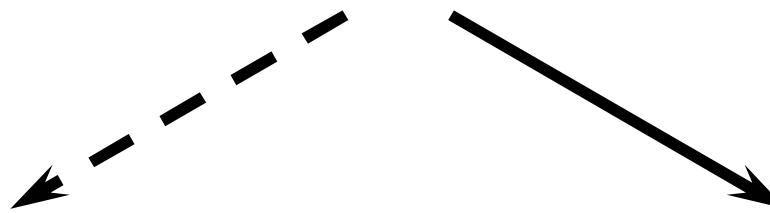
Experimentelle Durchführung

Ergebnisse YMnO₃

Einleitung

Die **nichtlineare Suszeptibilität χ_{NL}** ist im allgemeinen Fall eine frequenzabhängige, komplexe Größe :

$$\chi_{\text{NL}}(\omega) = |\chi_{\text{NL}}(\omega)| e^{i\psi(\omega)}$$



Betrag $|\chi_{\text{NL}}(\omega)|$:

⇒ **nichtlineare Spektroskopie**

Phase $\psi(\omega)$:

⇒ **nichtlineare Phasenmessung**

SHG-Phasenmessung

Beispiel für einen nichlinear optischen Prozeß 2. Ordnung:

Second Harmonic Generation (SHG)

$$\mathbf{E}_s(2\omega) \propto \chi_s(2\omega) : \mathbf{E}(\omega) \mathbf{E}(\omega)$$

Bei der Messung der **Intensität** des SHG-Signals, geht die Information über die Phase ψ_s von χ_s verloren:

$$I(2\omega) \propto |\mathbf{E}_s(2\omega)|^2 \propto |\chi_s(2\omega)|^2$$

⇒ Bestimmung der Phase ψ_s mit Hilfe von
Interferenzmessungen

Interferenz

Probensignal :

$$\mathbf{E}_s(2\omega) \propto \chi_s(2\omega) : \mathbf{E}(\omega) \mathbf{E}(\omega)$$

mit $\chi_s(2\omega) = |\chi_s(2\omega)| e^{i\psi_s}$

Referenzsignal :

$$\mathbf{E}_R(2\omega) \propto \chi_R(2\omega) : \mathbf{E}(\omega) \mathbf{E}(\omega)$$

mit $\chi_R(2\omega) = |\chi_R(2\omega)| e^{i\psi_R}$

INTERFERENZ

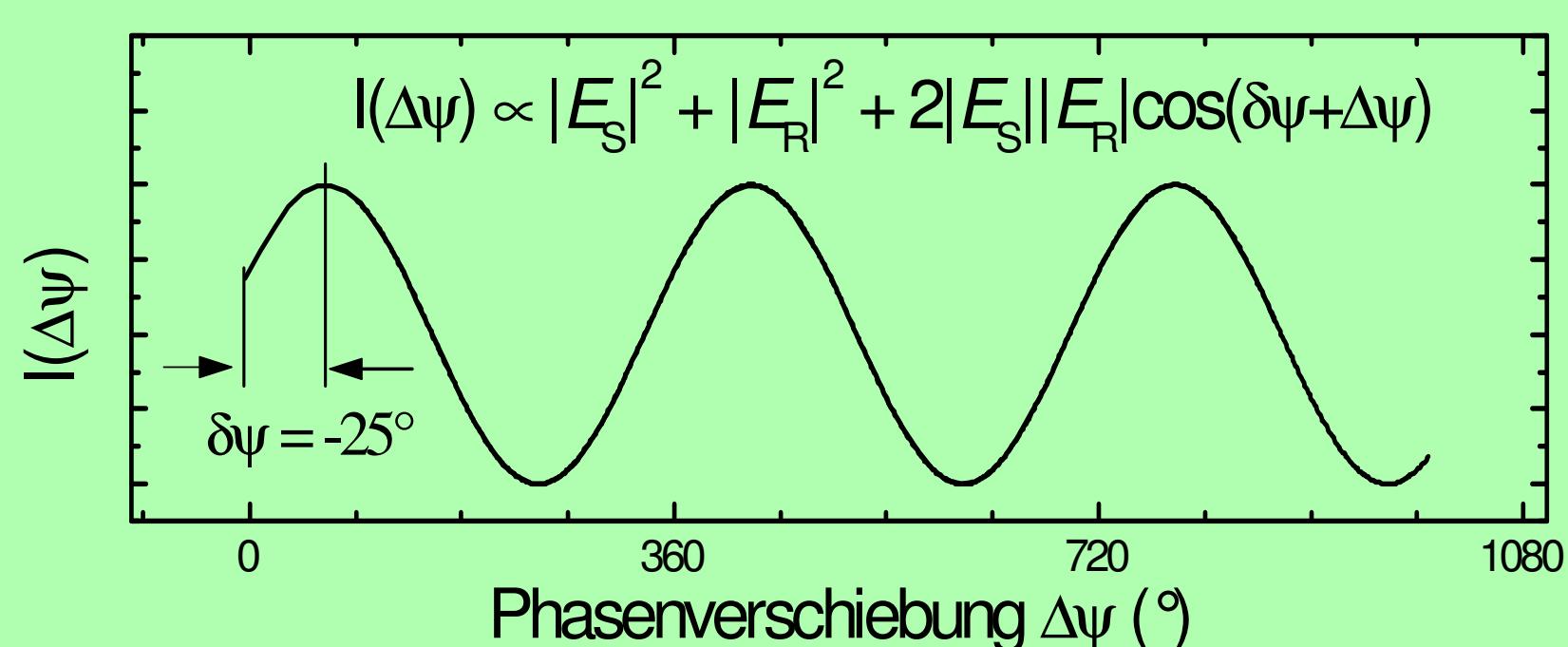
$$I \propto |\mathbf{E}_s + \mathbf{E}_R|^2 = |E_s|^2 + |E_R|^2 + 2|E_s||E_R|\cos(\psi_s - \psi_R)$$

⇒ Signal I ist eine Funktion der Phasendifferenz

$$\delta\psi = \psi_s - \psi_R$$

Bestimmung der Phasendifferenz $\delta\psi$

Zur Bestimmung von $\delta\psi$ wird ein **Interferogramm** in Abhängigkeit einer durch einen **Phasenschieber** eingestellten zusätzlichen Phasendifferenz $\Delta\psi$ aufgenommen :



Phasenschieber: Soleil-Babinet-Kompensator

Aufbau :

Zwei gegeneinander verschiebbare
keilförmige Quarzkristalle (2a, 2b)
+ Kompensationskristall (1)

Phasenverschiebung :

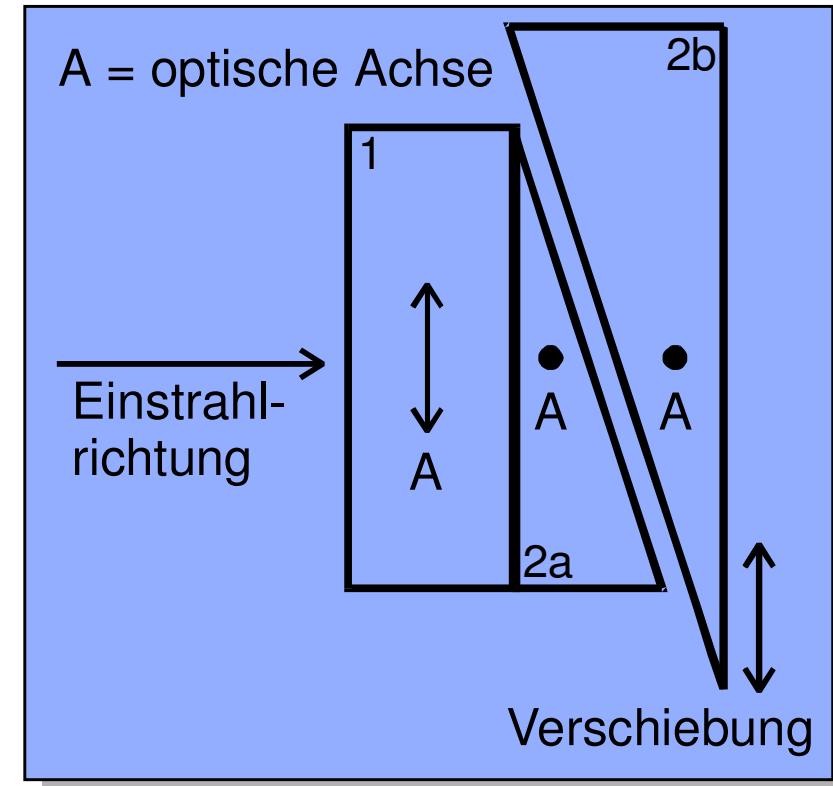
$$\Delta\psi_{SBC}(\lambda) = \frac{2\pi}{\lambda} (d_2 - d_1) \Delta n(\lambda)$$

d_1 : Dicke des Kompensationskristalls

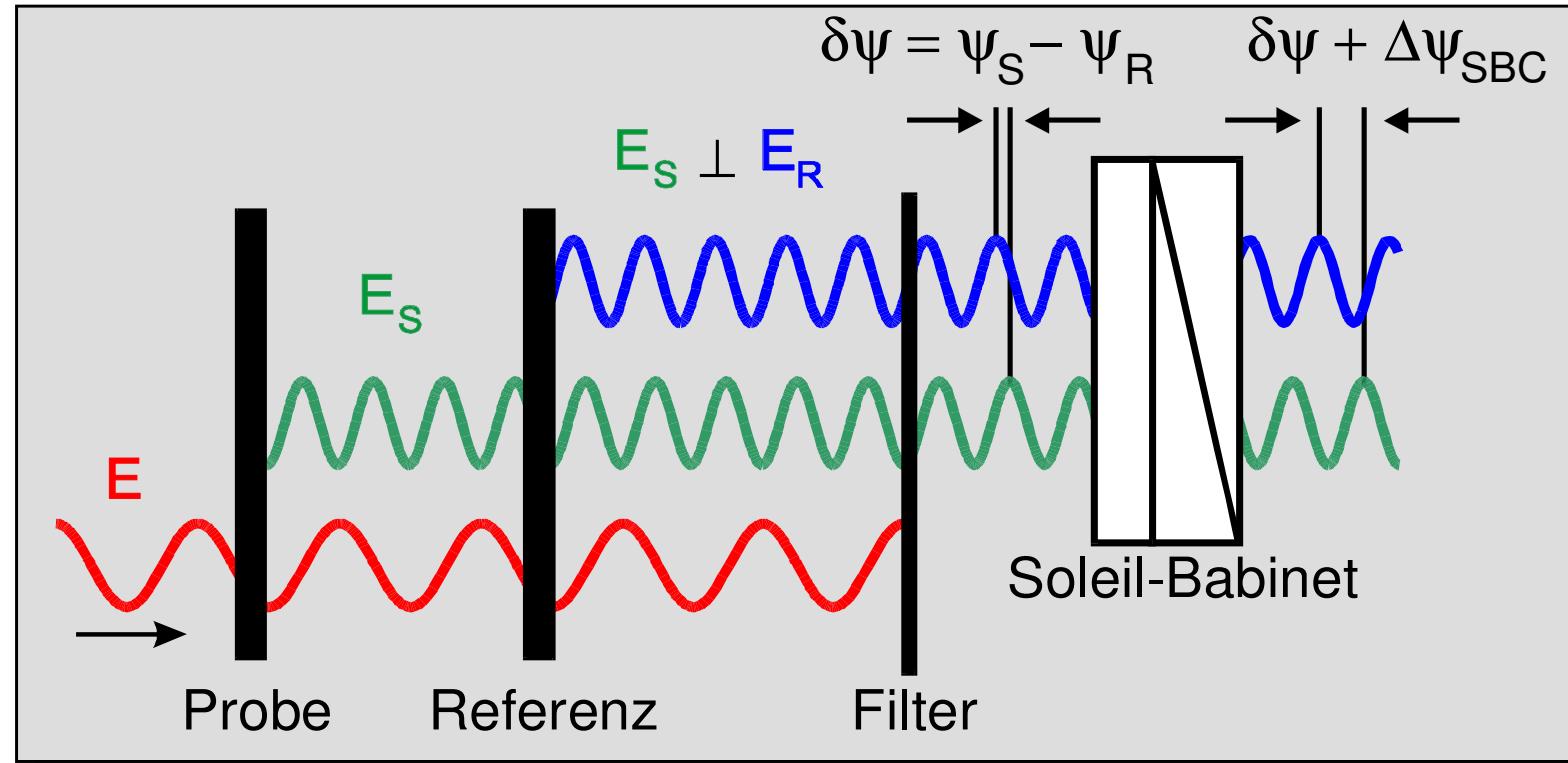
d_2 : Dicke der Quarzkeile

λ : Wellenlänge

$\Delta n(\lambda) = n_e(\lambda) - n_o(\lambda)$: Brechungsindexdifferenz



Funktion des Phasenschiebers



Probensignal E_S senkrecht zu Referenzsignal E_R polarisiert und parallel zur optischen Achse des Kompensationskristalls oder der Quarzkeile.

Überlagerung von Proben- und Referenzsignal

Problem: Nach Soleil-Babinet sind Proben- und Referenzsignal senkrecht zueinander polarisiert \Rightarrow **keine Interferenz!**

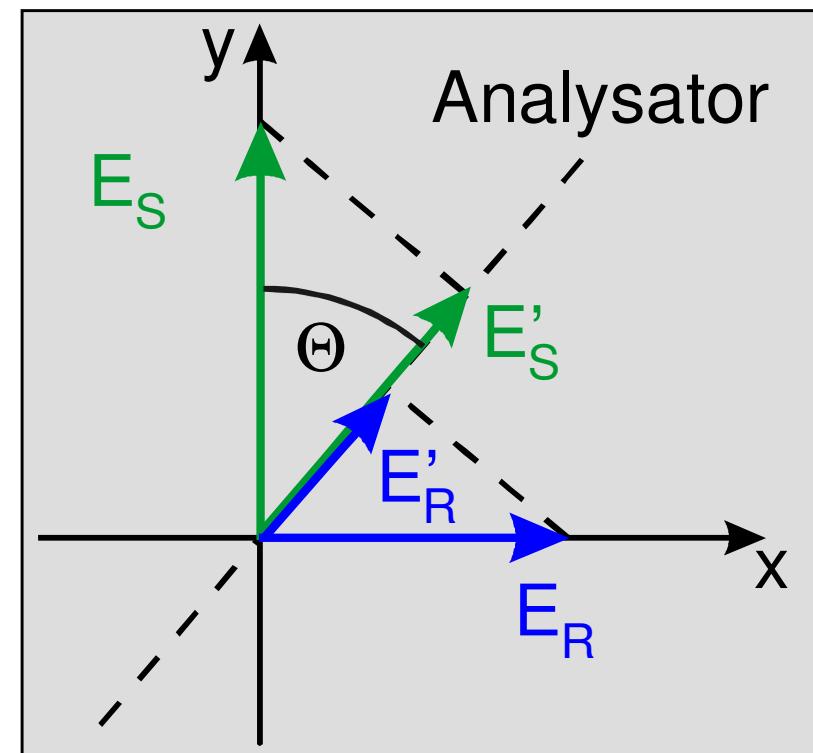
Lösung: Analysator projiziert Signale auf gemeinsame Polarisationsrichtung.

$$\Rightarrow E'_s = E_s \cos \Theta \quad E'_R = E_R \sin \Theta$$

mit $E_s \approx E_R$

\Rightarrow Intensität hinter Analysator:

$$I \propto |E'_s + E'_R|^2 = |E'_s|^2 + |E'_R|^2 + 2|E'_s||E'_R| \cos(\delta\psi + \Delta\psi_{SBC})$$



Referenzkristall: Quarz

Bedingungen für den Referenzkristall:

- der Kristall muß senkrecht zum Probensignal polarisiertes SH Licht erzeugen,
- die Intensität des Referenzsignals muß auf die Intensität des Probensignals abstimmbar sein,
- der Kristall muß transparent für die SHG Wellenlänge sein.

⇒ geeignetes Material: **kristalliner Quarz**

SH-Feld :

$$\mathbf{E}_R \propto \begin{pmatrix} 2\chi_{xyz}E_yE_z + \chi_{xxx}(E_x^2 - E_y^2) \\ -2\chi_{xyz}E_xE_z - 2\chi_{xxx}E_xE_y \\ 0 \end{pmatrix}$$

Für Einstrahlrichtung **parallel** zur x-Achse verschwinden **alle** Komponenten von \mathbf{E}_R

⇒ Kristall muss um eine Achse, z.B. z-Achse gedreht werden:

$$E_{s,y} \propto \chi_{xxx}E_y^2 \sin\varphi_z (1 - 4\cos^2\varphi_z)$$

Phasenmessungen an magnetisch und elektrisch geordneten Materialien

magnetische Ordnung:

Antiferromagnetismus (AFM)

elektrische Ordnung:

Ferroelektrizität (FE)



180° Domänenstruktur

⇒ Vorzeichenwechsel von χ_{NL} \leftrightarrow Phasenänderung von 180°

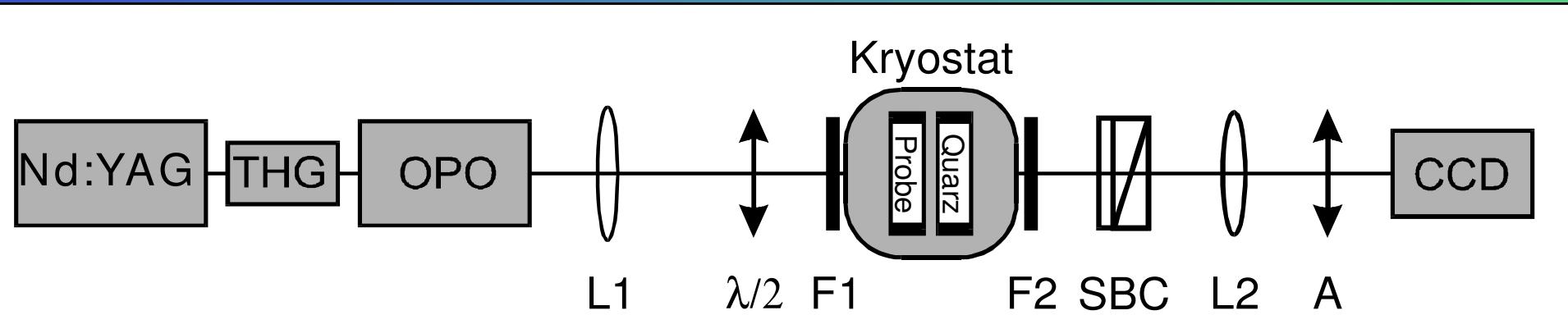
Phasenmessung:

$$\text{Domäne A : } \delta\psi_A = \psi_{S,A} - \psi_R$$

$$\text{Domäne B : } \delta\psi_B = \psi_{S,B} - \psi_R$$

$$\Rightarrow \Delta\psi_S = \delta\psi_A - \delta\psi_B = \psi_{S,A} - \psi_{S,B}$$

Experimenteller Aufbau



L1 : Linse zur Abbildung des OPO-Strahls

$\lambda/2$: Halbwellenplatte zur Einstellung der Eingangspolarisation

F1 : Kantenfilter, der nur für den OPO-Strahl transparent ist

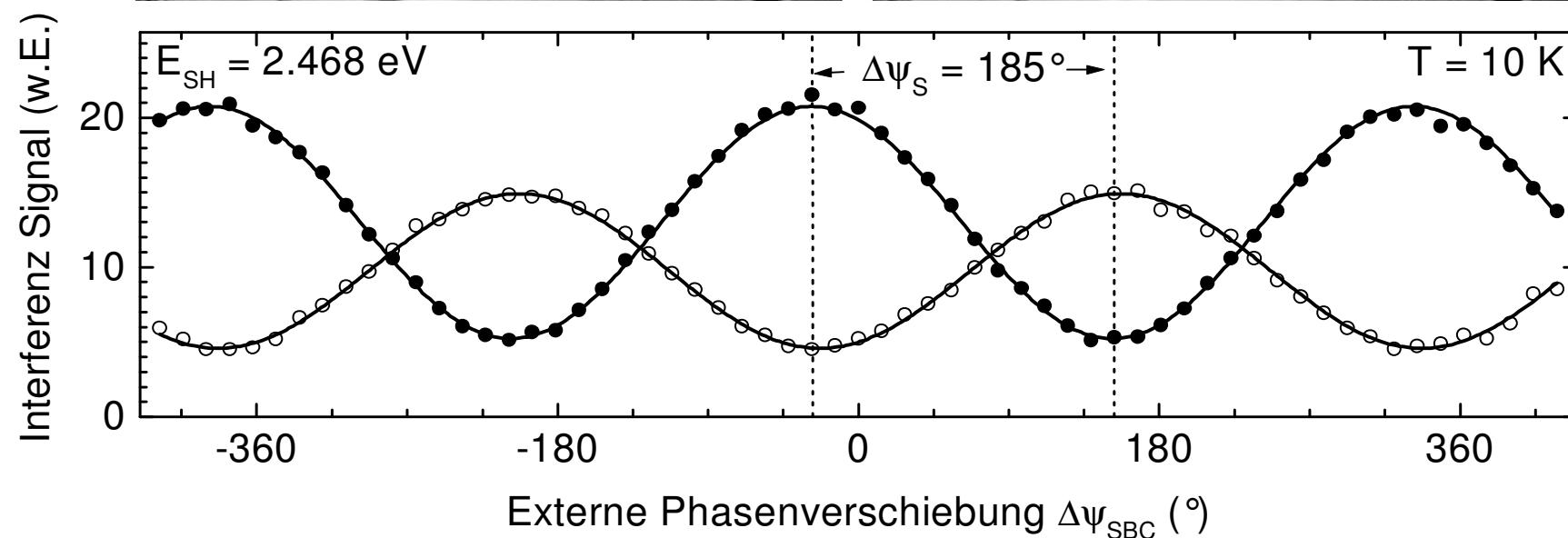
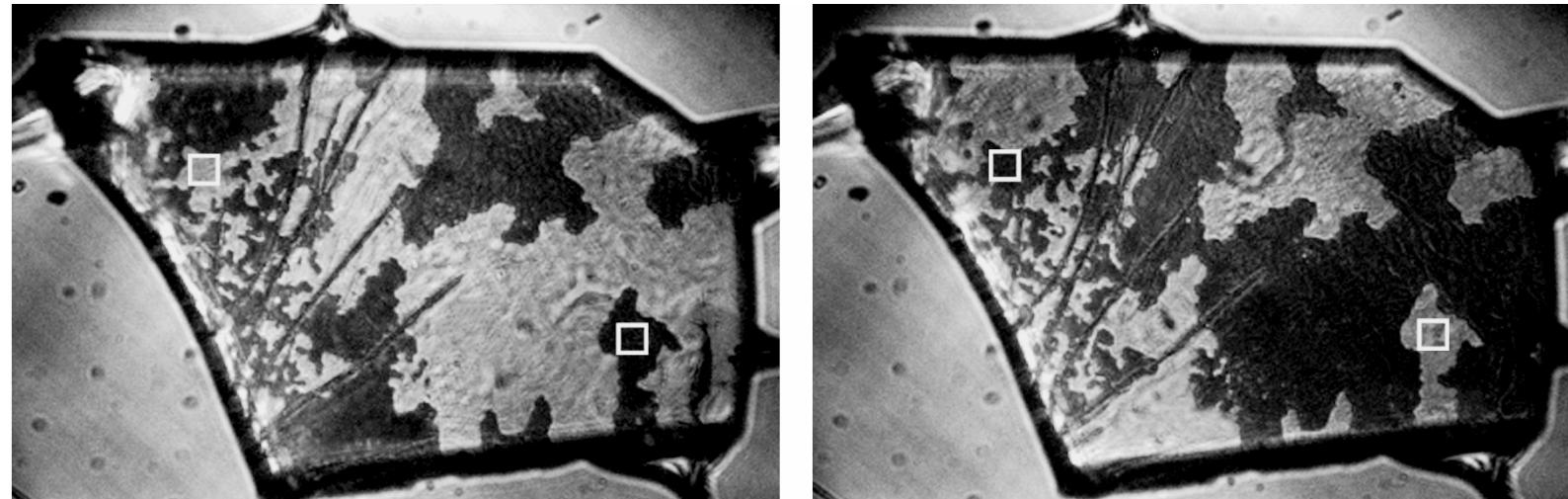
F2 : Bandpassfilter, der nur für SH-Licht transparent ist

SBC: Soleil-Babinet-Kompensator zur Einstellung der Phasenverschiebung

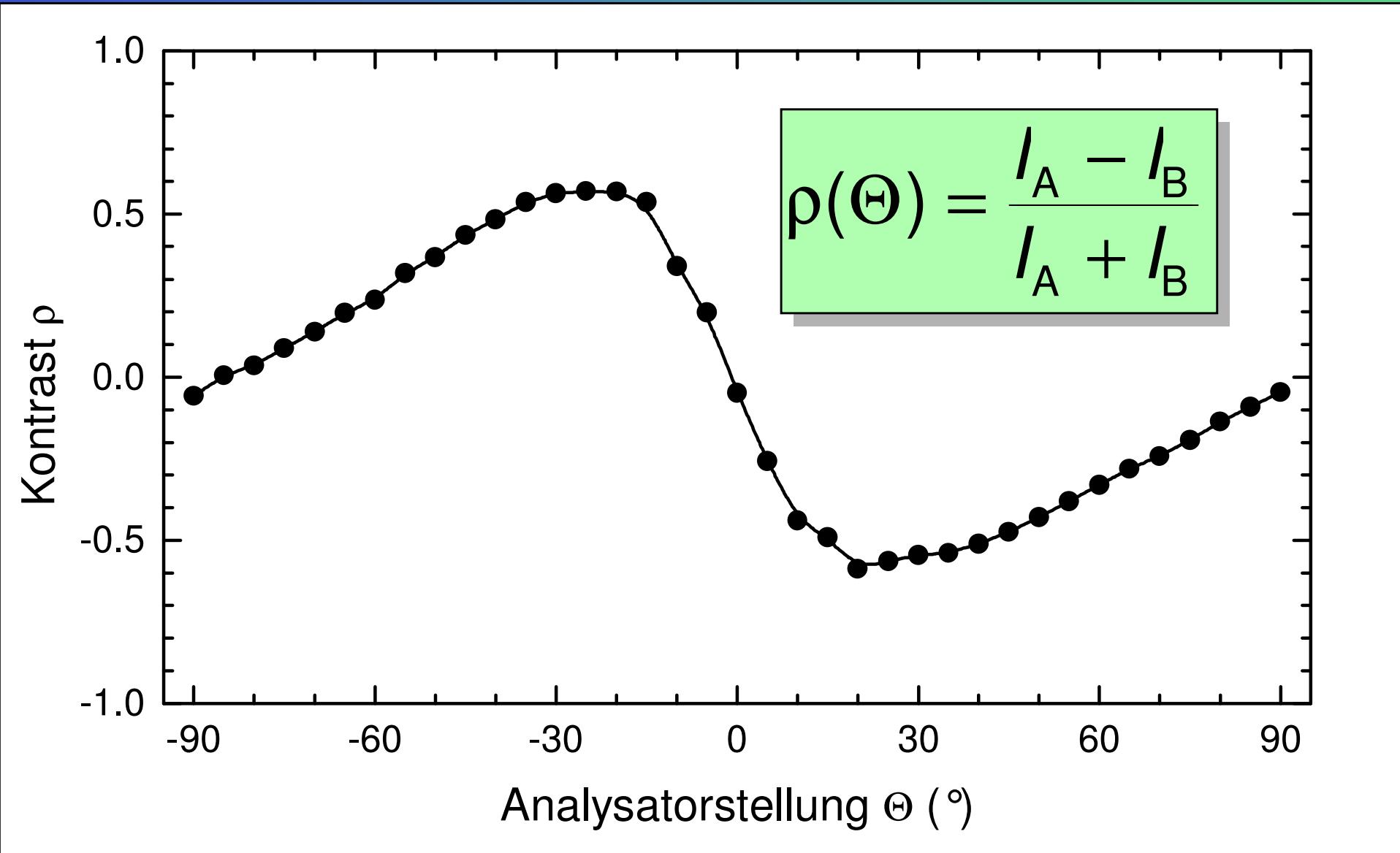
L2 : Linse/Objektiv zur Abbildung der Probe auf die CCD-Kamera

A : Polarisationsfolie zur Anpassung der Polarisationsrichtungen

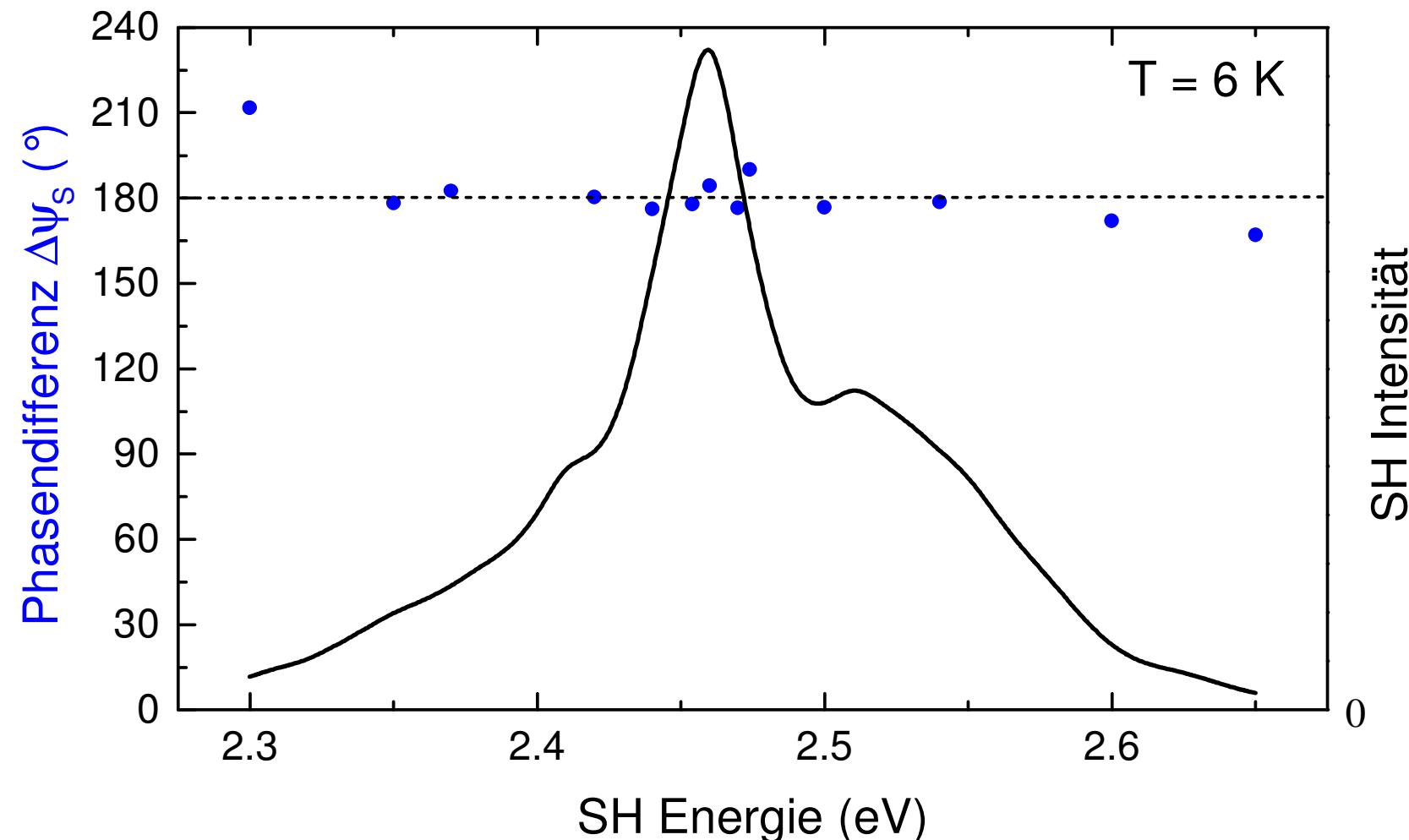
Phasenmessung an AFM-Domänen in YMnO₃



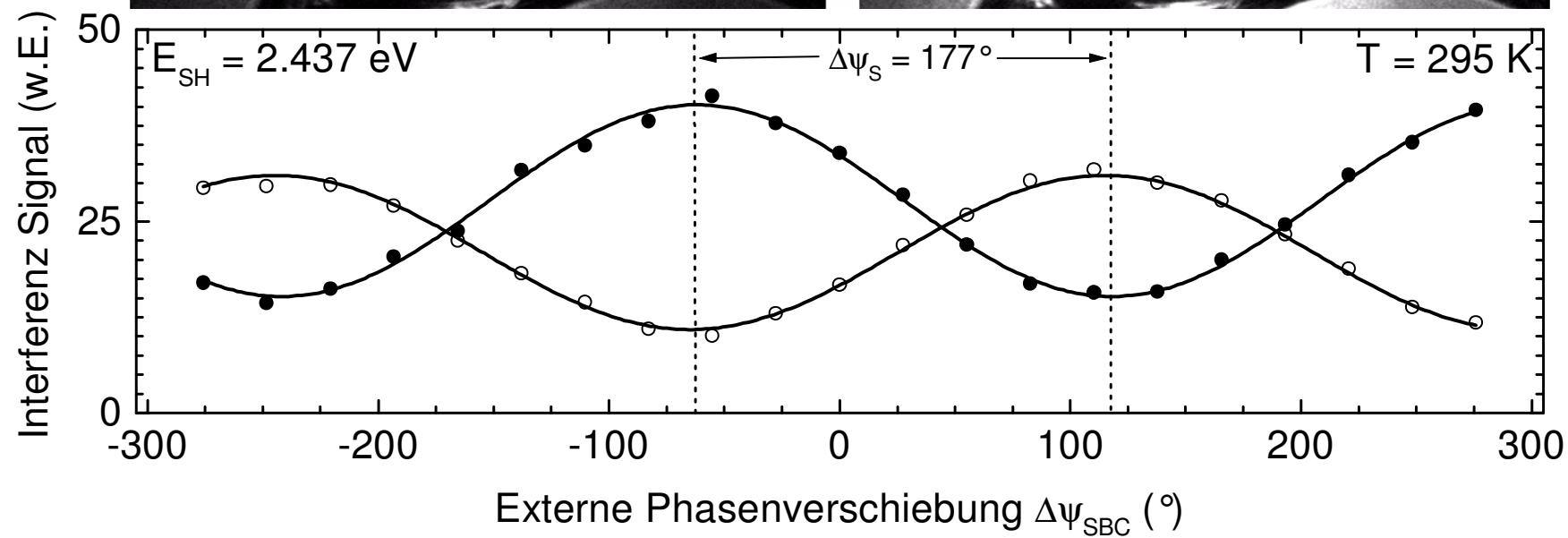
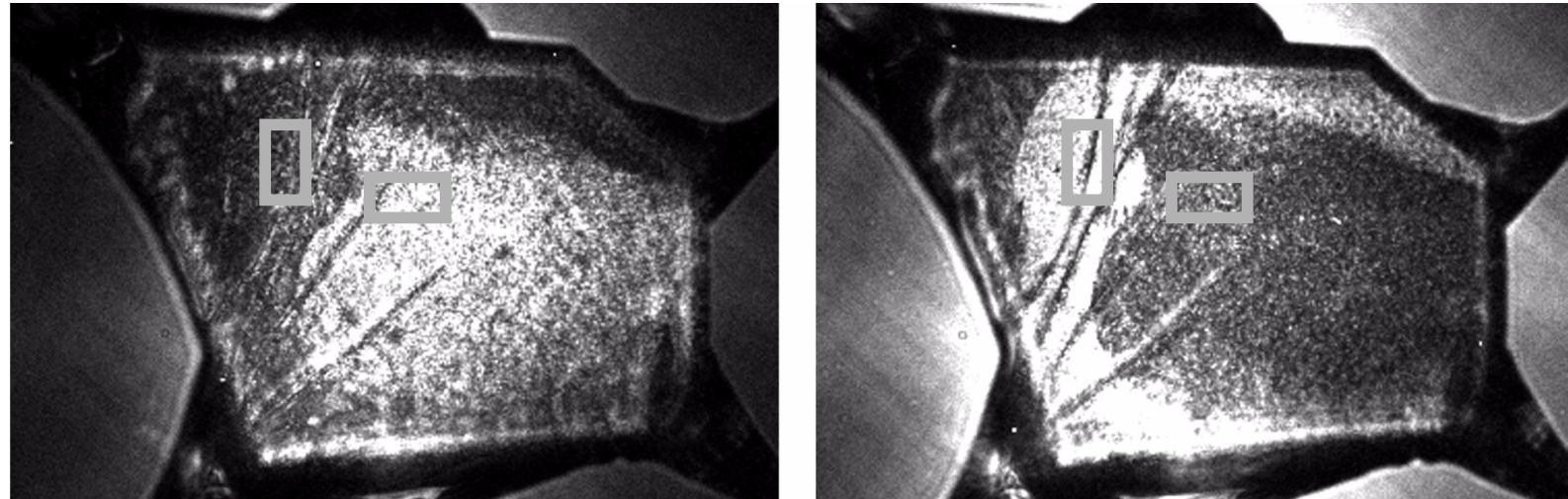
Kontrastmessung an AFM-Domänen in YMnO₃



Phasenmessung YMnO₃ : Spektrale Abhangigkeit



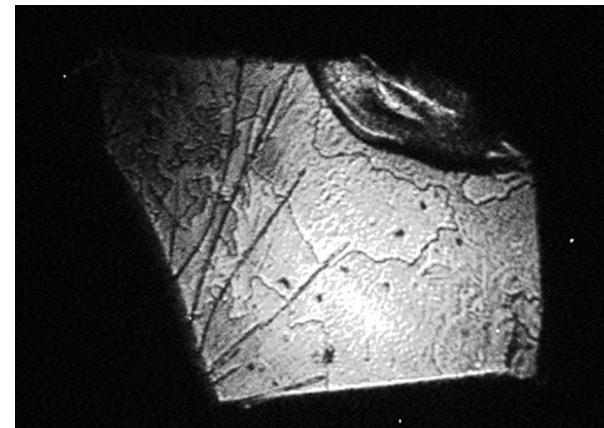
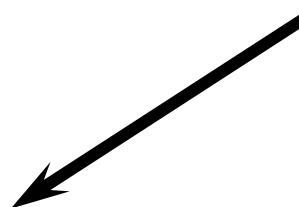
Phasenmessung an FE-Domänen in YMnO₃



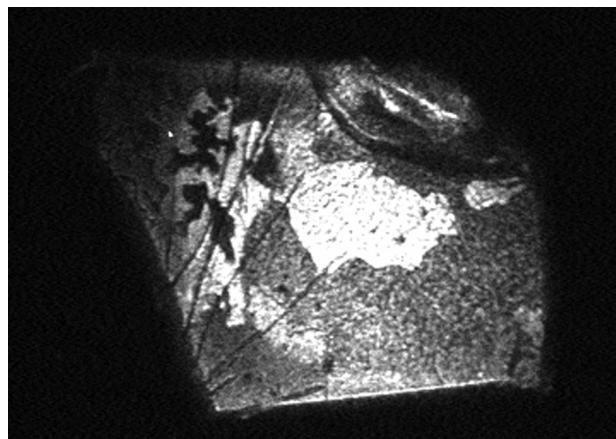
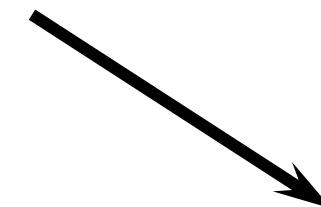
Phasenmessung an AFM- und FE-Domänen in YMnO₃

Antiferromagnetische Domänen

Analysator = -50°

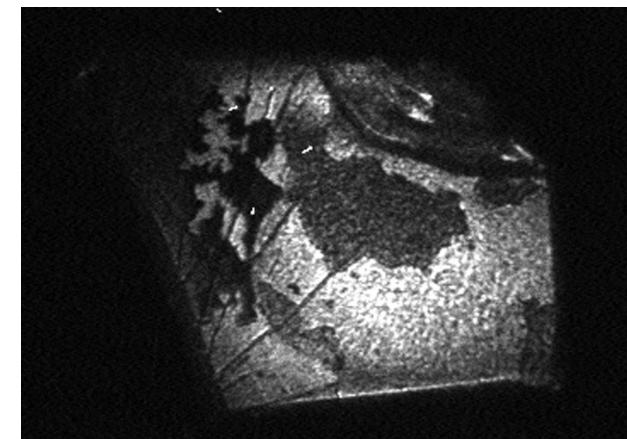


Analysator = +50°



$E_{SH} = 2.46 \text{ eV}$

$T = 6 \text{ K}$



Antiferromagnetische **und** ferroelektrische Domänen