

Phasenmessung in der nichtlinearen Optik

Th. Lottermoser, St. Leute

und

M. Fiebig, D. Fröhlich, R.V. Pisarev

Einleitung

Prinzip der Phasenmessung

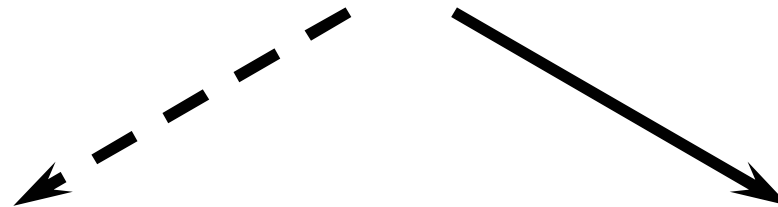
Experimentelle Durchführung

Ergebnisse YMnO_3

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 nichtlinear 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 :

$$\mathbf{E}_S(2\omega) \propto \chi_S(2\omega) : \mathbf{E}(\omega) \mathbf{E}(\omega)$$

$$\text{mit } \chi_S(2\omega) = |\chi_S(2\omega)| e^{i\psi_S}$$

Referenzsignal :

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

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

INTERFERENZ

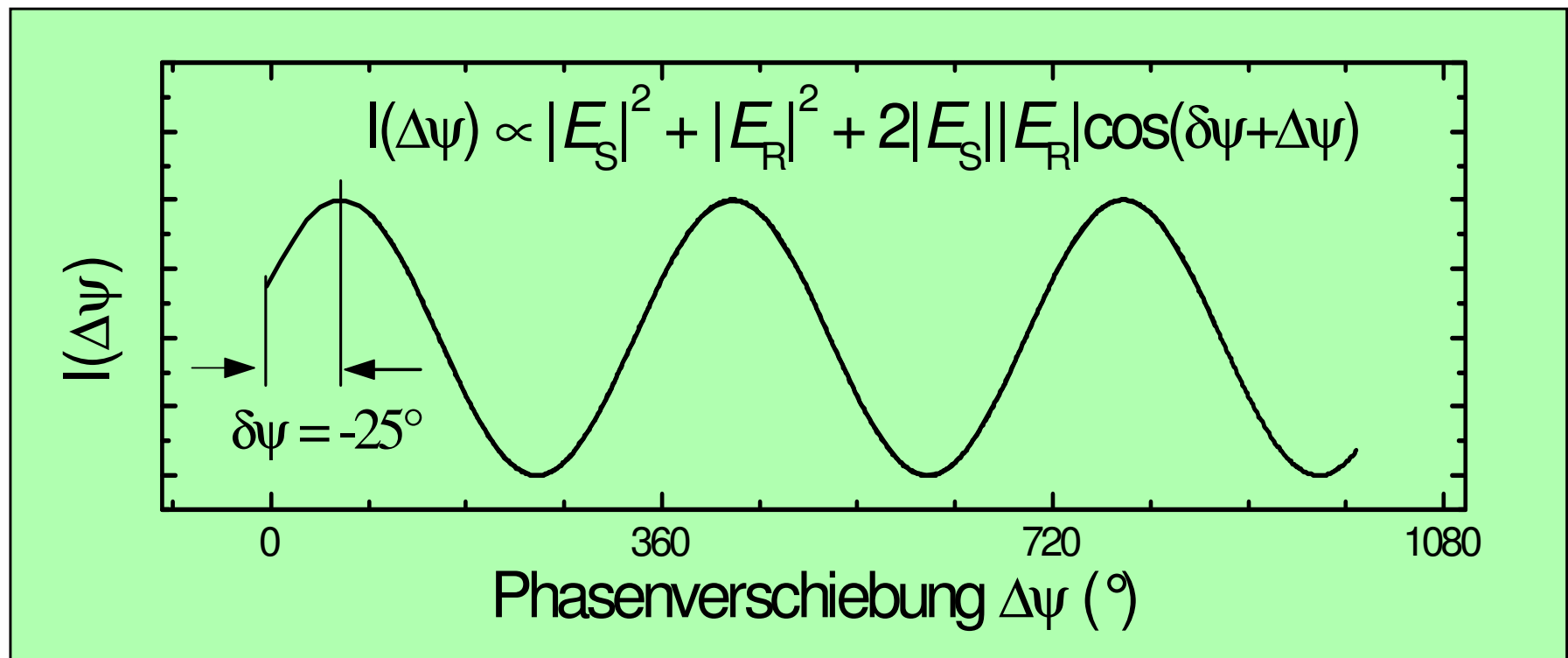
$$I \propto |\mathbf{E}_S + \mathbf{E}_R|^2 = |E_S|^2 + |E_R|^2 + 2|E_S||E_R|\cos(\psi_S - \psi_R)$$

\Rightarrow 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 :

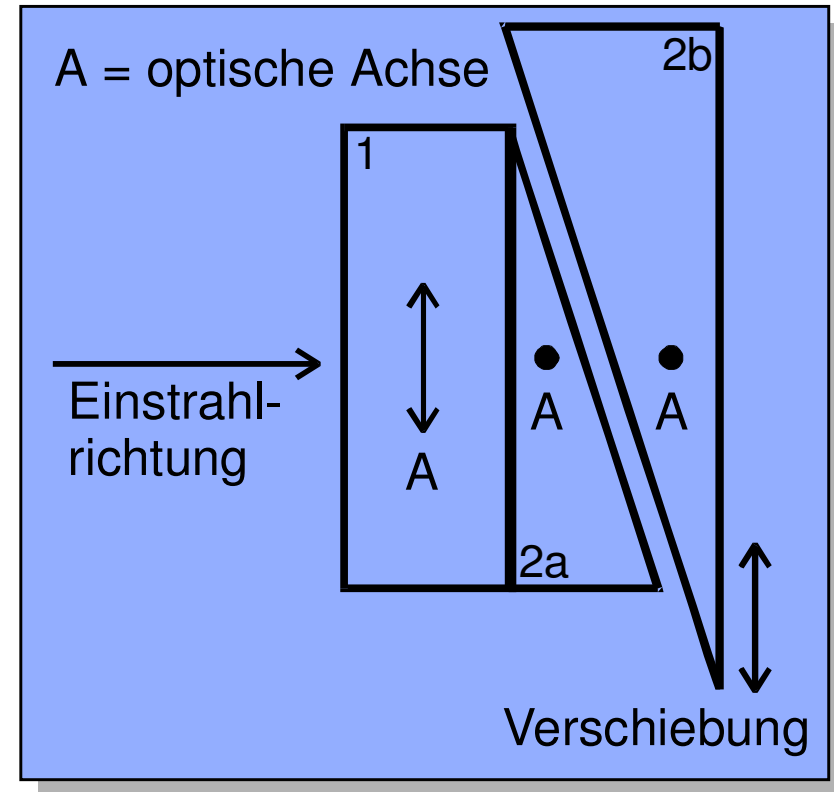
$$\Delta\psi_{\text{SBC}}(\lambda) = \frac{2\pi}{\lambda} (d_2 - d_1) \Delta n(\lambda)$$

d_1 : Dicke des Kompensationskristalls

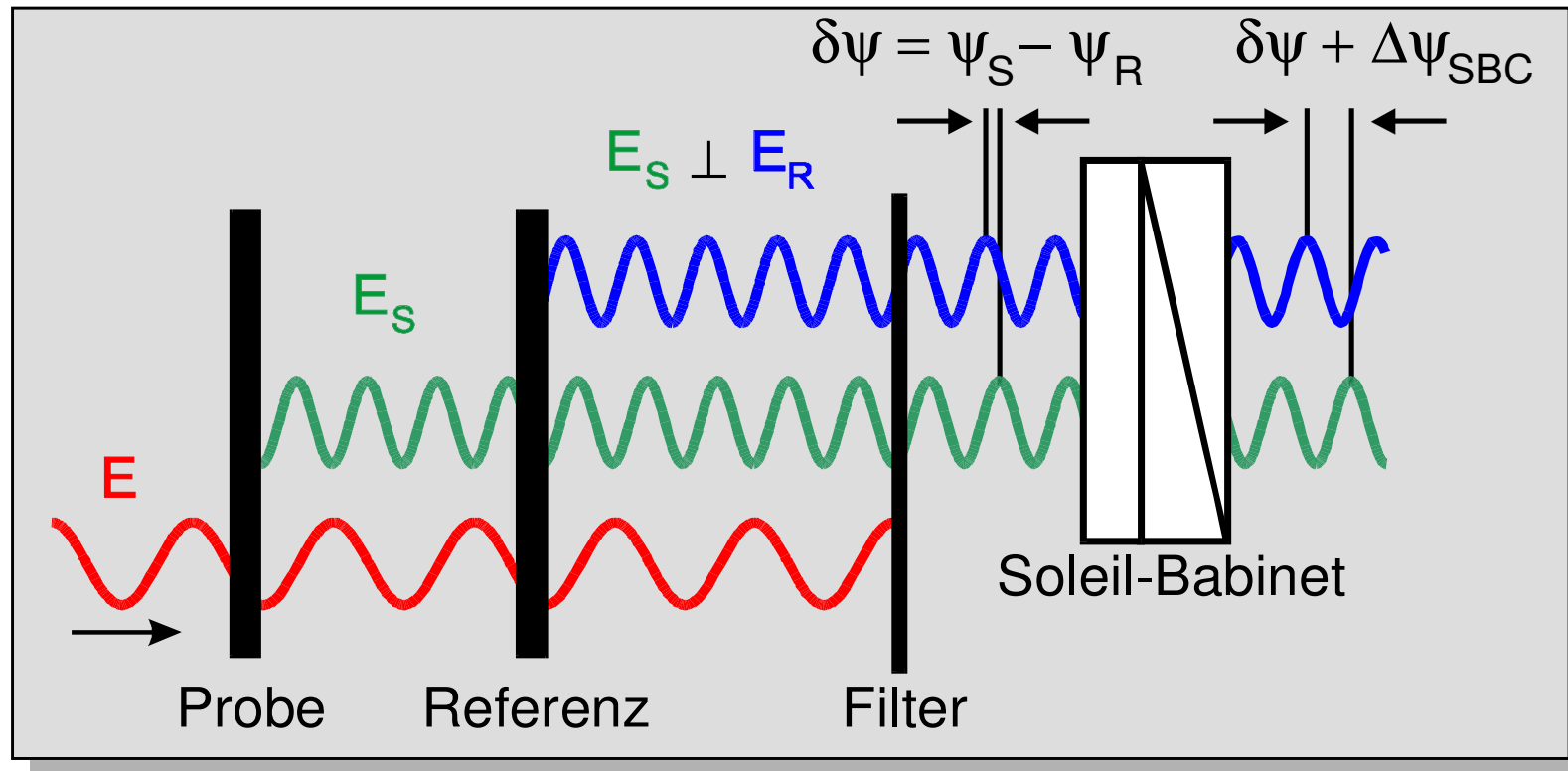
d_2 : Dicke der Quarzkeile

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!

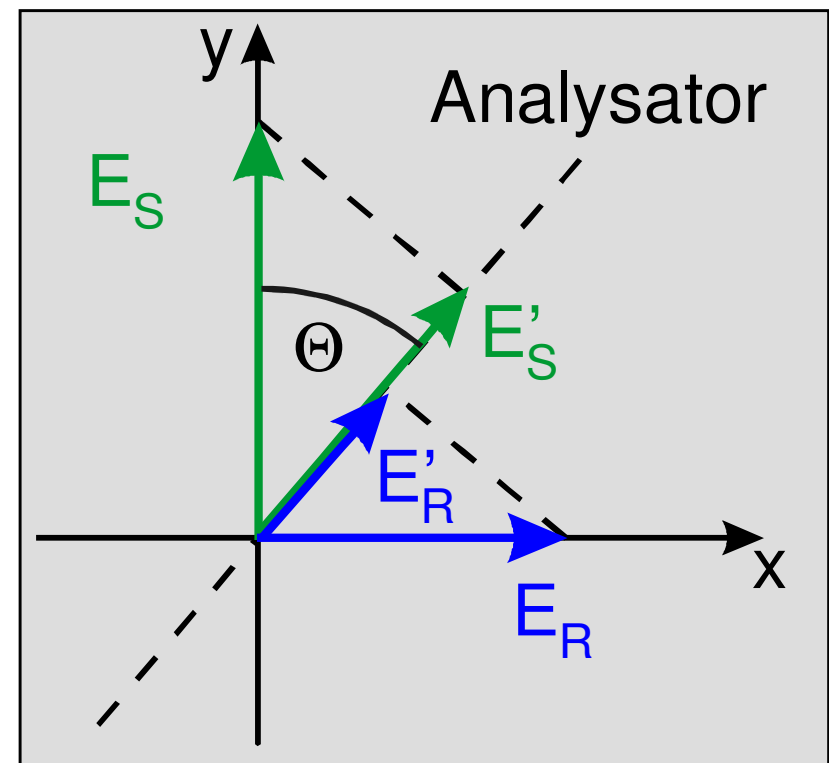
Lösung: Analysator projiziert Signale auf gemeinsame Polarisationsrichtung.

$$\Rightarrow E'_S = E_S \cos \Theta \quad E'_R = E_R \sin \Theta$$

mit $E_S \approx E_R$

\Rightarrow Intensität hinter Analysator:

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



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 abstimmbare sein,
- der Kristall muß transparent für die SHG Wellenlänge sein.

⇒ **geeignetes Material: kristalliner Quarz**

SH-Feld :

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

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 $\chi_{NL} \leftrightarrow$ Phasenänderung von 180°

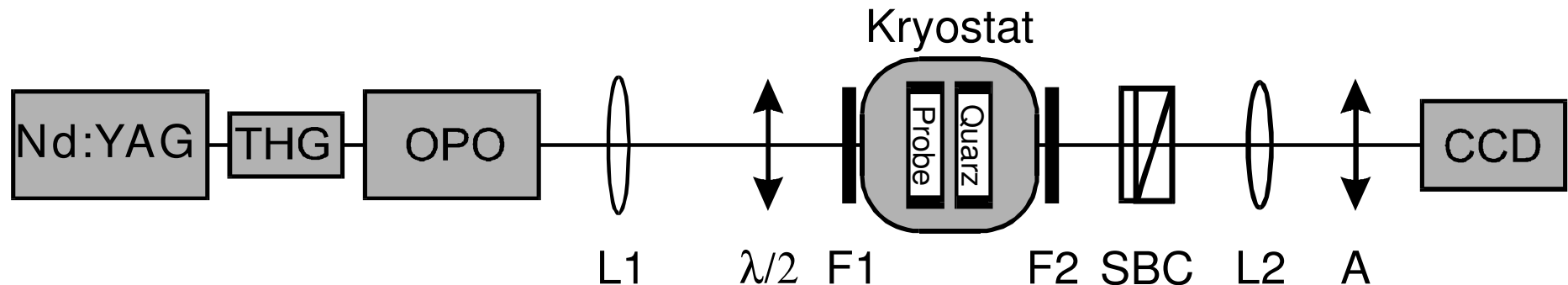
Phasenmessung:

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

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

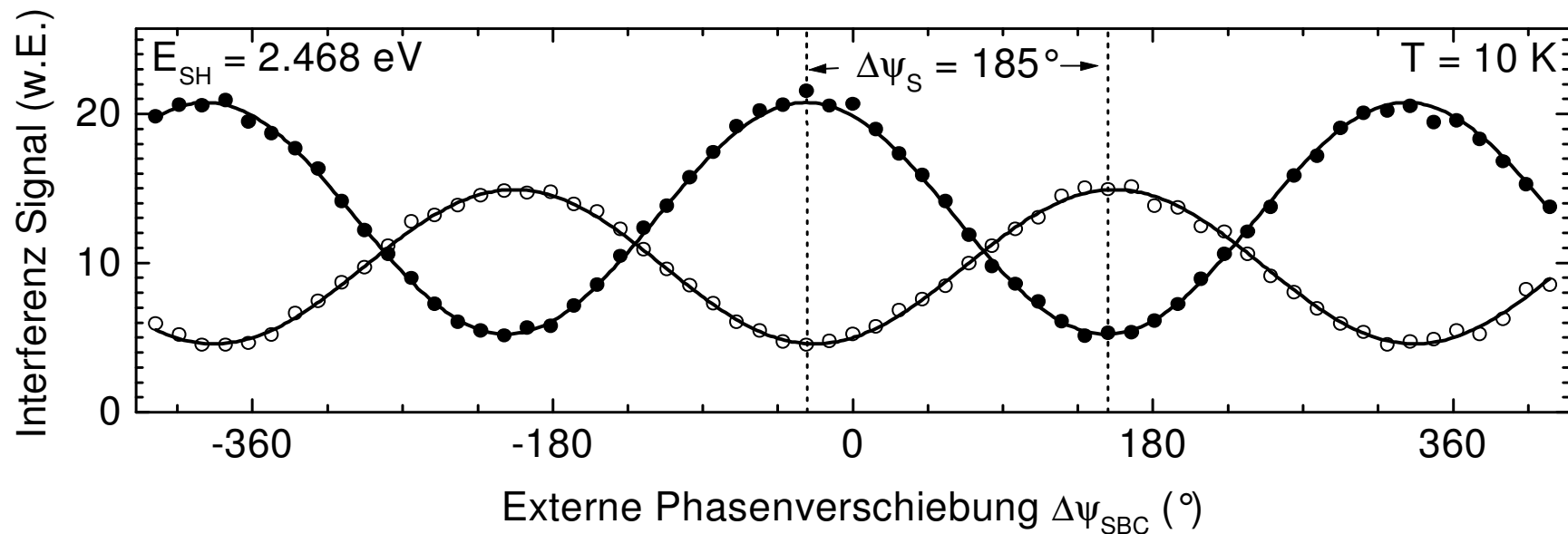
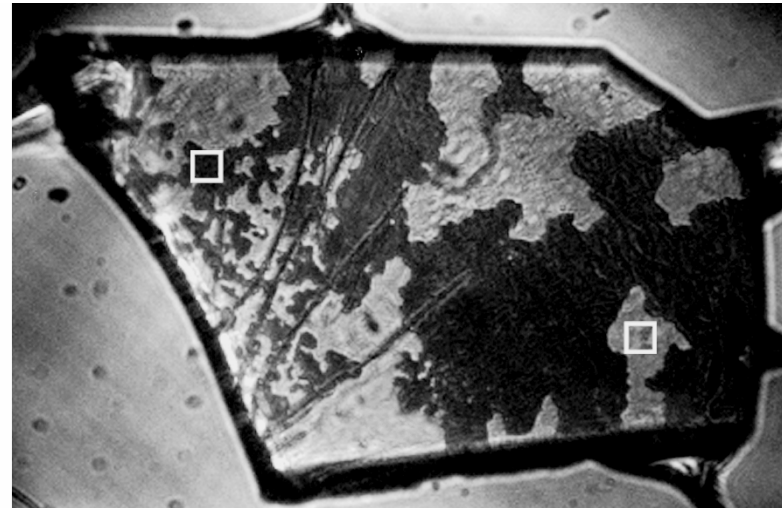
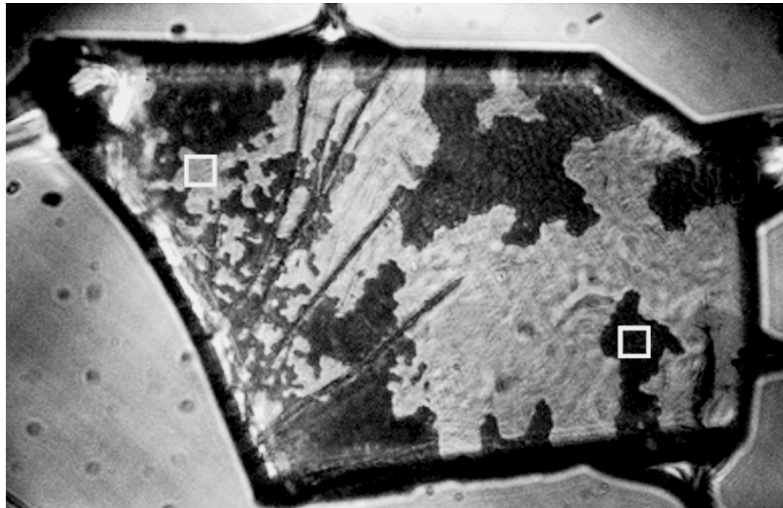
F2 : Bandpassfilter, der nur für SH-Licht transparent ist

SBC : Soleil-Babinet-Kompensator zur Einstellung der Phasenverschiebung

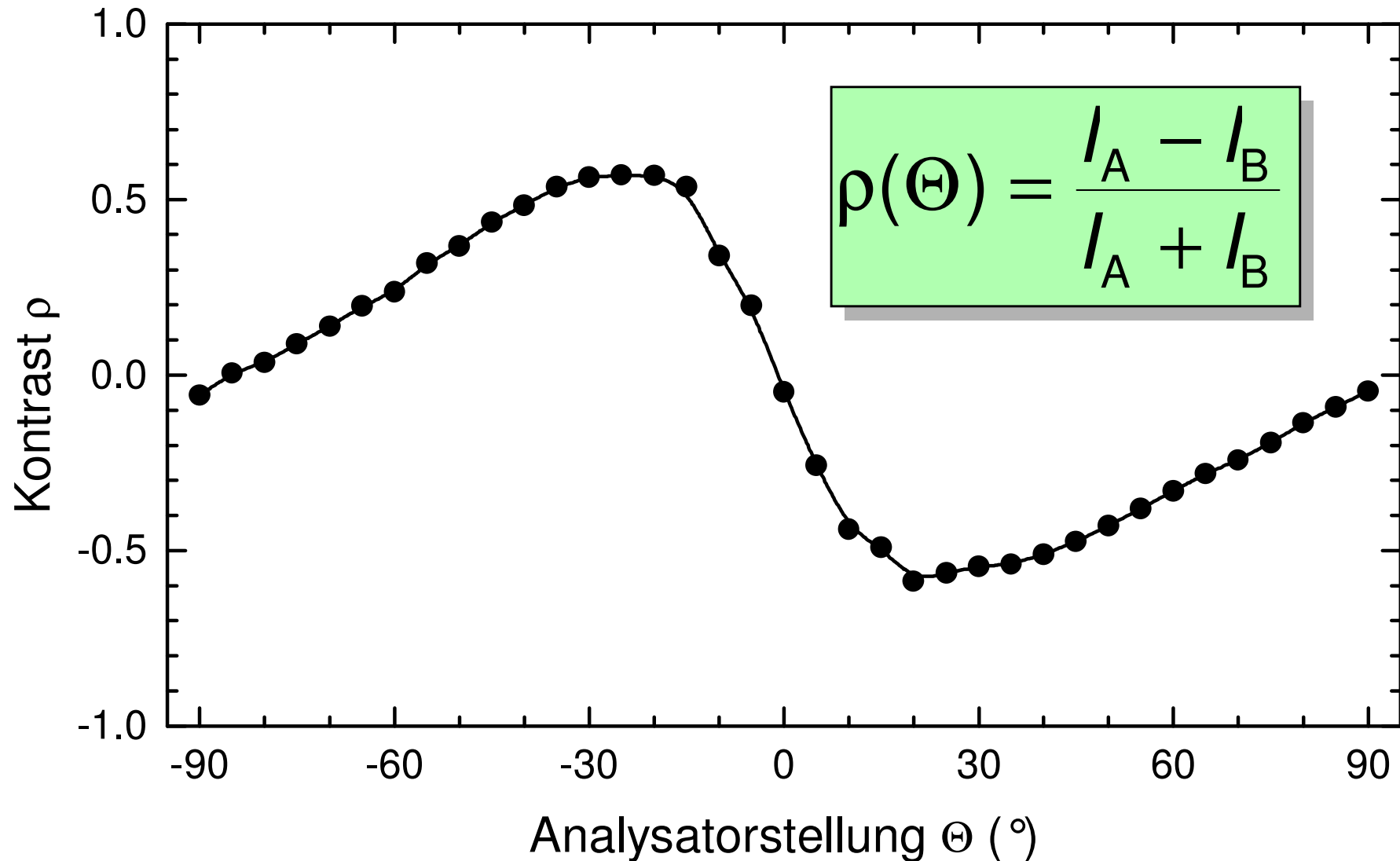
L2 : Linse/Objektiv zur Abbildung der Probe auf die CCD-Kamera

A : Polarisationsfolie zur Anpassung der Polarisationsrichtungen

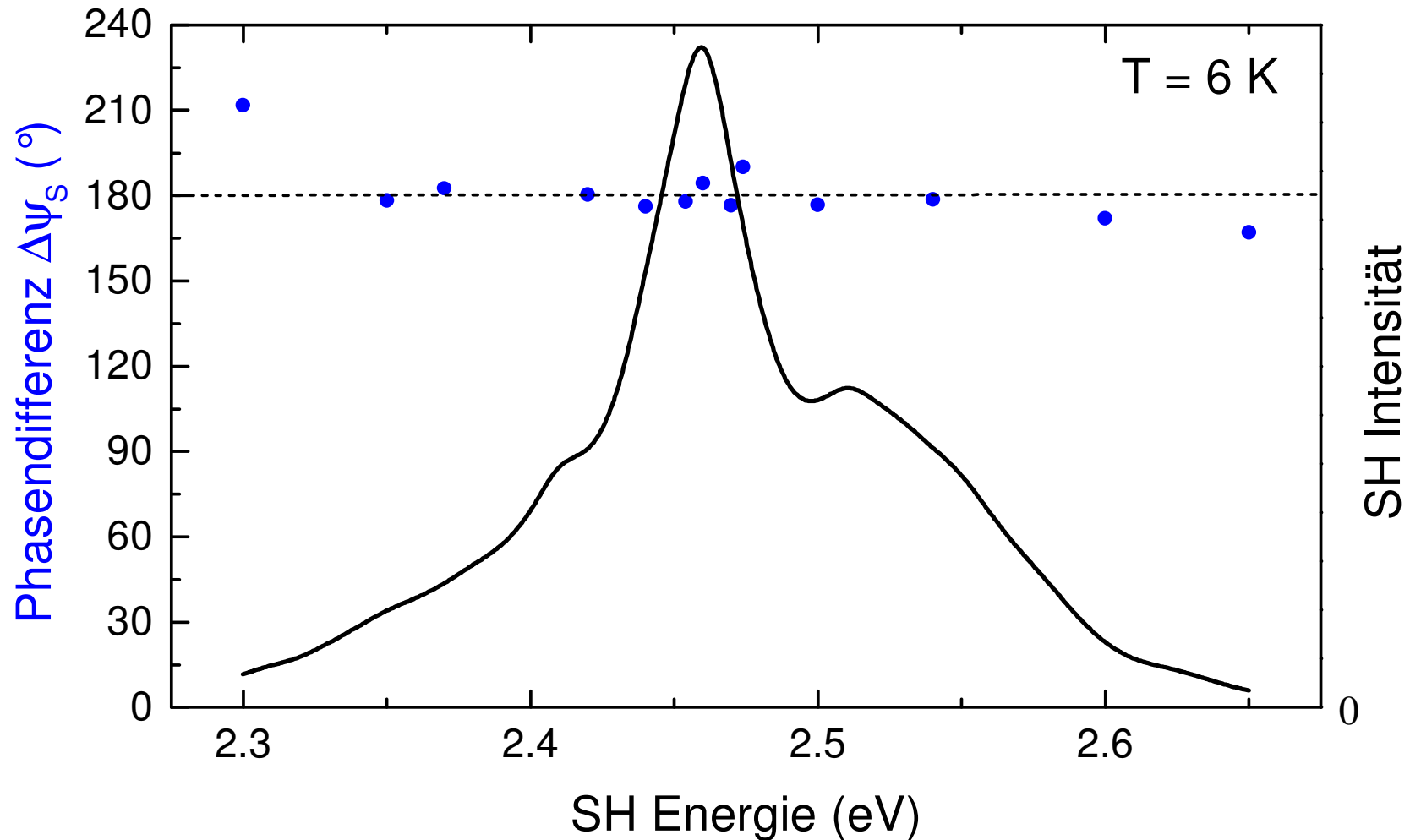
Phasenmessung an AFM-Domänen in YMnO_3



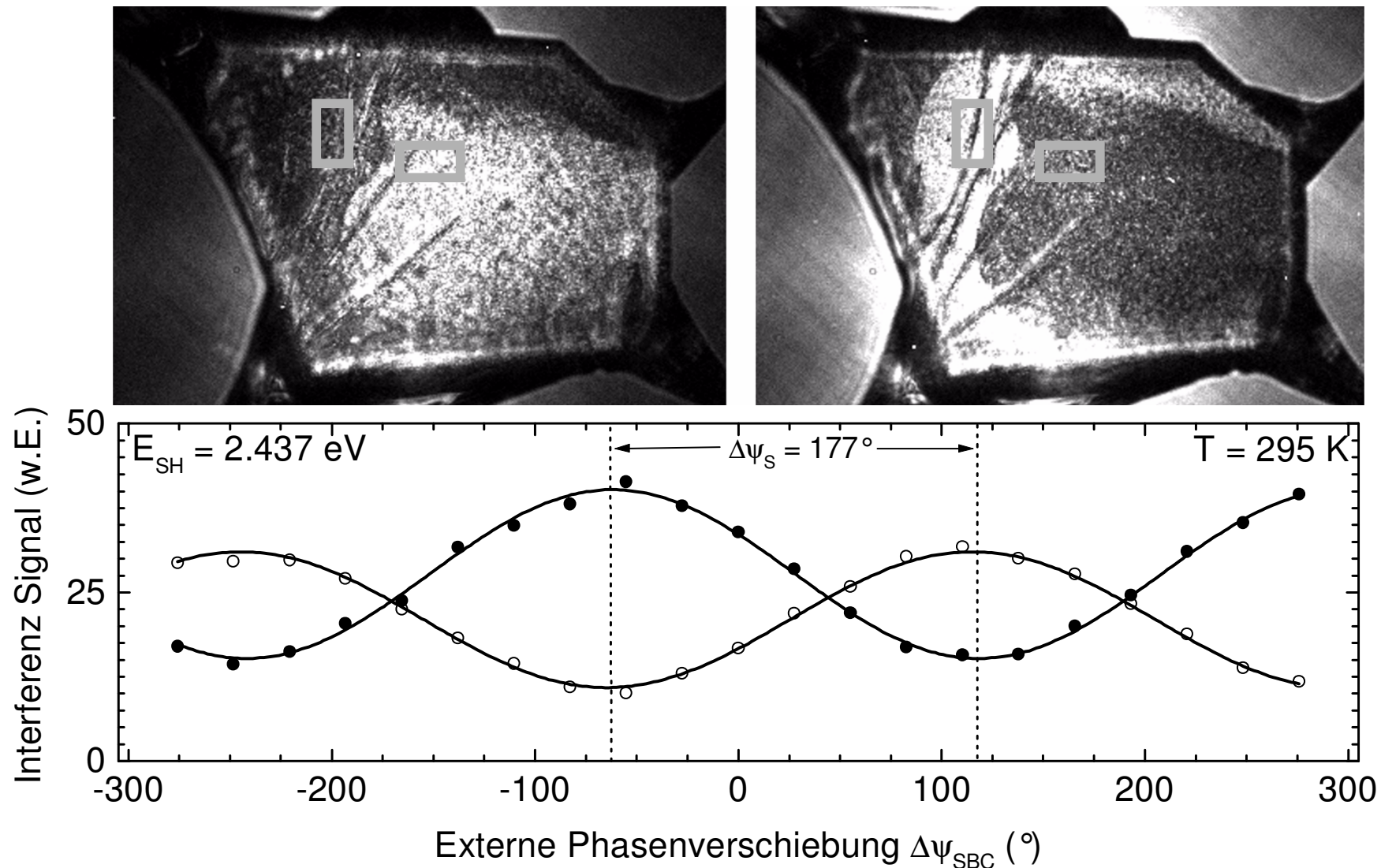
Kontrastmessung an AFM-Domänen in YMnO_3



Phasenmessung YMnO_3 : Spektrale Abhängigkeit



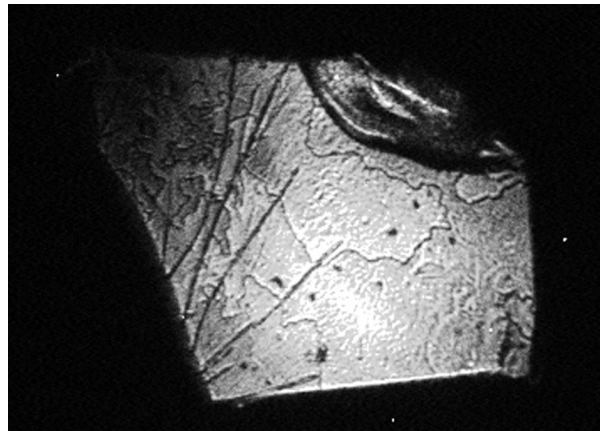
Phasenmessung an FE-Domänen in YMnO_3



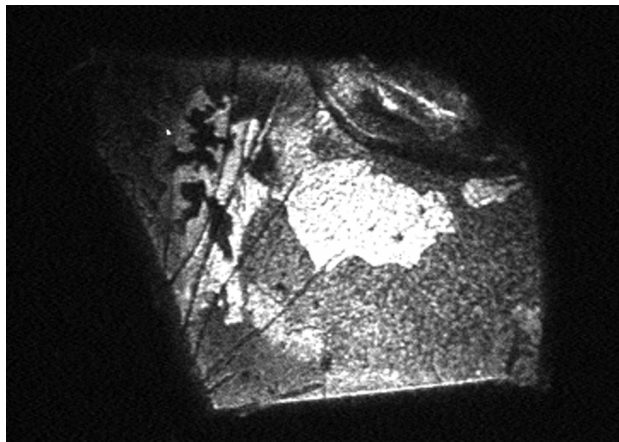
Phasenmessung an AFM- und FE-Domänen in YMnO_3

Antiferromagnetische Domänen

Analysator = -50°

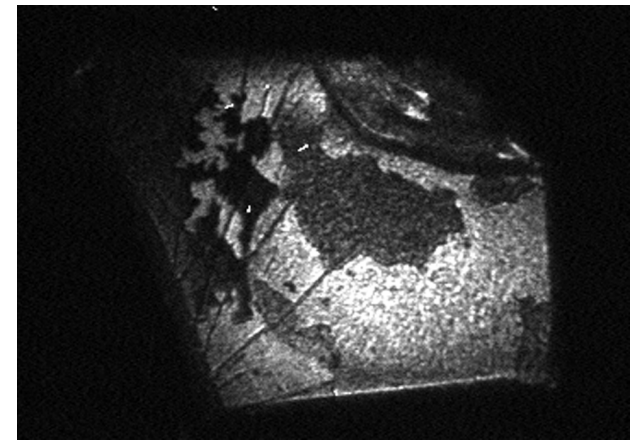


Analysator = $+50^\circ$



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

$T = 6 \text{ K}$



Antiferromagnetische **und** ferroelektrische Domänen