

新博士紹介

1. 氏名 沖津 康平 (現 科学技術振興事業団 科学技術特別研究員 (派遣先; 計量研究所))
2. 論文提出大学 総合研究大学院大学
3. 学位の種類 博士 (工学)
4. 1997年3月
5. 題目 Dielectric Anisotropy of Cobalt Crystals near K-Absorption Edge Measured by Using an Energy-Tunable X-Ray Polarimeter with a Phase Retarder

6. アブストラクト

Hart-Rodrigues の X 線偏光子および検光子¹⁾からなる波長可変 X 線ポラリメータ^{2,3)}に、平野-石川-菊田の透過型 X 線移相子⁴⁾を導入することにより、新しいタイプの波長可変 X 線ポラリメータを開発した⁵⁾。これを用いて、X 線波長域における直線複屈折と直線二色性の同時測定⁶⁾、直線三重複屈折と三色性の同時測定⁷⁾を初めて行った。複屈折と二色性 (三色性) は、それぞれ、測定対象となった結晶の誘電率異方性における実数部と虚数部に対応するが、両者のあいだに Kramers-Kronig の関係が成り立つことが絶対スケールで確かめられた。複屈折による X 線波面の位相のズレは $2\pi/10,000$ の精度で検出されているが、これは、Bonse-Hart 型 X 線干渉計⁸⁾の典型的位相検出限界 ($2\pi/100$) のおよそ $1/100$ という微小な値に相当する。

Fig. 1 は、コバルト単結晶をサンプルとして得られた楕円率のスペクトルを示している。コバルト単結晶の c-軸は、入射楕円偏光の長軸に対して 45 度傾けてセットされている。移相子により生成された入射 X 線の楕円率は、(a) -0.04 , (b) -0.02 , (c) $+0.02$, (d) $+0.04$ (動力学理論による計算値) である。楕円率の符号は楕円偏光のヘリシティを示しており、ここでは右ネジ偏光 (ビーム下流から見て電場ベクトルが時計回りに回転する) を正としている。Fig. 1(a) と (d) では、入射楕円偏光のヘリシティの逆転によりスペクトルの振動が完全に逆になっている。Fig. 1(b) と (d) では、コバルト吸収端から $+20$ eV 前後のエネルギーでスペクトルの折り返しが観察される。これは、移相子による複屈折とコバルト結晶による複屈折が一旦キャンセルアウトし、さらにコバルト結晶による複屈折の方が大きくなることにより試料透過後の楕円偏光のヘリシティが逆転したことによる。

Fig. 1(a) にコバルト結晶の a-軸と c-軸方向の偏光の位相差に換算して $2\pi/100$ に相当する楕円率の値を示している。これは Bonse-Hart 型 X 線干渉計⁸⁾による典型的位相検出限界に、ほぼ相当する。X 線波長域における複屈折が Bonse-Hart 干渉計では検出が難しかったであろうことがわかる。

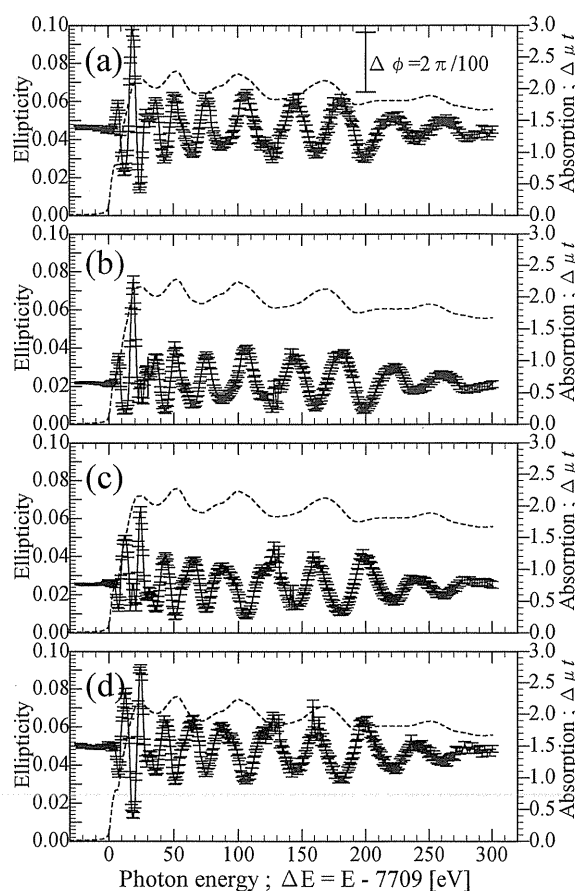


Figure 1. Spectra of ellipticity of X-ray polarization due to birefringence in the cobalt sample. The ellipticity of incident X-rays from the phase retarder was controlled so as to be (a) -0.04 , (b) -0.02 , (c) $+0.02$ and (d) $+0.04$ during the energy scan based on the calculation from the dynamical diffraction theory. The vertical bar drawn in (a) corresponds to a phase difference of polarization of $2\pi/100$ between a- and c-axes in the cobalt crystal. $2\pi/100$ is the practically detectable phase difference of the Bonse-Hart X-ray interferometer.

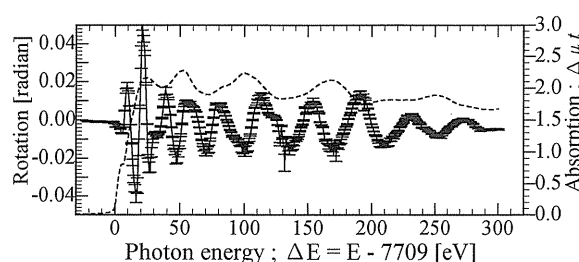


Figure 2. Spectrum of rotation of polarization due to dichroism in the cobalt crystal; the identical spectra were obtained for incident X-rays with polarization ellipticity of -0.04 , -0.02 , $+0.02$ and $+0.04$.

Fig. 2 は、コバルト結晶の二色性による偏光面の回転角のスペクトルを示している。入射楕円率 $-0.04 \sim +0.04$ について同じスペクトルが得られた。

Fig. 3(a) と (b) は、偏光の楕円率と回転角から計算した

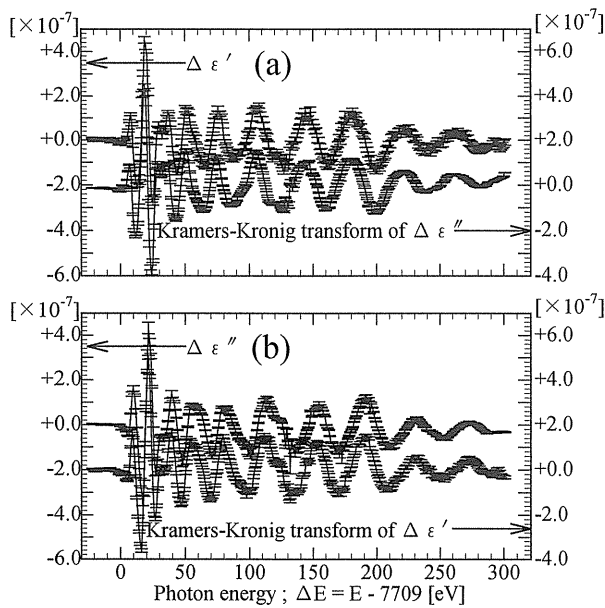


Figure 3. The upper spectra in (a) and (b) are $\Delta\epsilon_R$ and $\Delta\epsilon_I$ calculated from the ellipticity and rotation of polarization. The lower spectra in (a) and (b) are Kramers-Kronig transforms of $\Delta\epsilon_I$ and $\Delta\epsilon_R$. The upper and lower spectra are shifted for clarity. Here $\Delta\epsilon_R = \Delta\epsilon_R^a - \Delta\epsilon_R^c$ and $\Delta\epsilon_I = \Delta\epsilon_I^a - \Delta\epsilon_I^c$, where $\Delta\epsilon_R^a$, $\Delta\epsilon_I^a$, $\Delta\epsilon_R^c$ and $\Delta\epsilon_I^c$ are the real and imaginary parts of relative dielectric constants of the cobalt crystal in the a- and c-axis directions. No procedure for scaling was made both for (a) and for (b).

コバルト結晶の誘電率異方性の実数部と虚数部、およびそれらの Kramers-Kronig 変換のスペクトルを示している。

Fig. 3(a)と**(b)**は、スペクトルが重ならないように右軸と左軸の原点をずらしてあるが、いずれも比誘電率の絶対的な値でプロットしてありスケージングの処理はいっさい施されていない。

X線領域における結晶の誘電率異方性の実数部、虚数

部ともに初めて同時測定された。X線複屈折、三重複屈折、三色性などは、本研究において初めて明らかにされた。Kramers-Kronigの関係が、X線領域において初めて定量的に確認されるとともに、本研究によって得られたデータの信頼性は、Kramers-Kronigの関係によって保証されていると断言できる。

本研究で得られた多くのスペクトルは結晶の電子構造に関する何らかの情報を含んでいるはずであるが、どのような情報をどうやって抽出してよいのか、残念ながら現在のところ筆者にはわからない。既に存在する物性理論との比較、あるいはスペクトルを定量的に説明する新しい理論の構築が課題として残されている。X線領域に吸収端を持った原子は数多くあり、それらを含む結晶は無数に存在する。結晶の電子構造とX線に対する誘電率異方性の相関が明らかになれば、X線偏光解析が結晶の電子構造を知るための重要な手段となりうる。

参考文献

- 1) M. Hart and A. R. D. Rodrigues: *Philos. Mag.* **B40**, 149 (1979).
- 2) D. P. Siddons, M. Hart, Y. Amemiya and J. B. Hastings: *Phys. Rev. Lett.* **64**, 1967 (1990).
- 3) M. Hart, D. P. Siddons, Y. Amemiya and V. Stojanoff: *Rev. Sci. Instrum.* **62**, 2540 (1991).
- 4) K. Hirano, T. Ishikawa and S. Kikuta: *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* **A336**, 343 (1993).
- 5) K. Okitsu, T. Oguchi, H. Maruyama and Y. Amemiya: *Proc. SPIE Vol. 2873*, 100 (1996).
- 6) K. Okitsu, T. Oguchi, H. Maruyama and Y. Amemiya: *J. Sync. Rad.* (1998) to be published.
- 7) K. Okitsu, Y. Ueji, T. Oguchi, Y. Hasegawa, Y. Ohashi and Y. Amemiya: *J. Sync. Rad.* (1998) to be published.
- 8) U. Bonse and M. Hart: *Appl. Phys. Lett.* **6**, 155 (1965).

(受付番号 98040)