

1. はじめに

プラズマから放射される光の偏光度を調べることは、そのプラズマに存在する異方性を知る上で重要なプラズマ診断である。そのために、指向性の良い電子ビームにより励起される放射の偏光度を調べ、その基礎データを蓄積することが望まれている。ここでは、そのような研究の一環として、水素様Tiの電子衝撃励起過程の観測と、観測に用いた位置敏感型比例計数管 (PSPC) [1] のための位置演算回路の製作を行った。

2. PSPCのための位置演算回路の製作

2.1. PSPCにおける位置測定の原理

PSPCは図1のような構造になっており、X方向はバックギャモン陰極による電荷分割、Y方向は抵抗による電荷分割によりX線入射位置の確定を行っている。X線が入射すると、封入されたArガスが、ある確率により電離されることによって

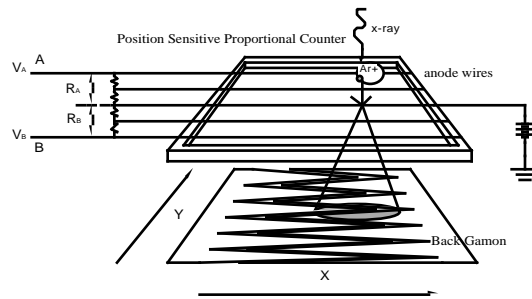


図1.PSPCの模式図

電子が生じる。生じた電子は陽極線に印加された高電圧によって加速され、再び Ar原子を電離するようになる。これを繰り返すことによって、陽極線の近傍では、電子雪崩が生じる。生じた電子は速い速度で陽極線に吸収されるが、その結果生じた正電荷の誘導電荷が陰極に誘起される。その電荷がバックギャモン型の電極構造により分割される。一方、陽極線に吸収された電子は、直列に連結された抵抗値に反比例して両端に流れる。従って、X、Yのいずれの方向についても両端に流れる電荷 Q_A 、 Q_B に対して $Q_A / (Q_A + Q_B)$ という演算を行なうことにより、位置を知ることができる。これまで使用していたPSPCはX方向のみの一次元であり、位置演算回路には市販の物を使用していたが、本研究では、PSPCを二次元に拡張するため、Y方向用の位置演算回路を自作した。

2.2. 測定回路の基本機能と特性

PSPCからの電荷 Q_A 、 Q_B は、前置増幅器により電圧に変換された後、主増幅器によって波高 V_A 、 V_B を持つ正規分布形のパルスに整形される。それらのパルスを、今回製作した回路の入力A,Bに入力するとまず増幅器 (1)、(2) でインピーダンス変換をする。そして、加算器 (3) で V_A と V_B を加算し、その結果と V_A がピークホールド回路 (4)、(5) に入力される。その出力結果を除算器 (6) に入力し、 $V_A / (V_A + V_B) \times 10$ という結果が出力される。波高 $V_A + V_B$ が一定値より下がるとコンパレータ (5) の出力パルスの立ち下がりにより、

パルス発振器

(8)から0.5 μ sのパルスが出力される。フリップフロップ(11)がHを出力するとき論理積算器(12)にパルスが通過し、これがスイッチ(7)を入れて、除算結果と $V_A + V_B$ を0.5 μ sのパルスに切り出し、出力する。

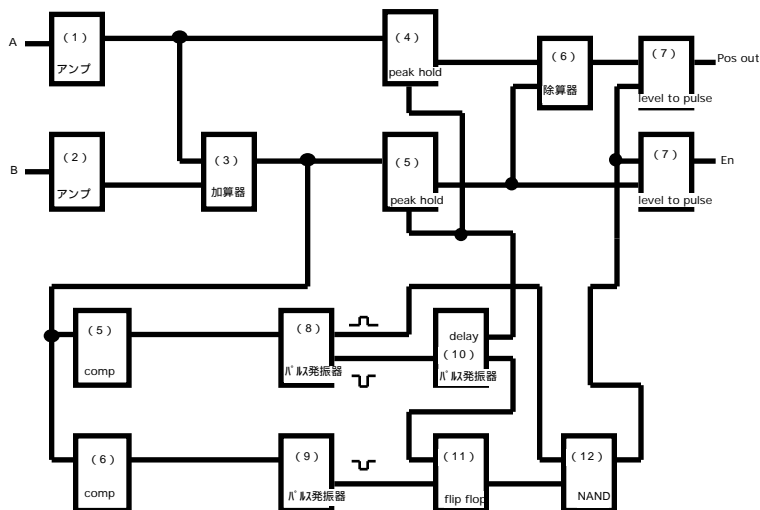


図2.位置演算回路の構成

一方、 $V_A + V_B$ がある値を超えると電圧比較器(6)の立ち上がりによりパルス発振器(9)からパルスが出力され、フリップフロップ(11)がLを出力し、論理積算器(11)に出力パルスが通らなくなりスイッチが入らなくなるので除算結果と加算結果が出力されなくなる。

動作確認のため、 $V_A = V_B$ 出力の特性を得た結果を図3に示す。PSPCの陽極線は23本であり、出力間隔は約0.45Vになるので、図3の結果から製作した回路が陽極線の選別という要求を満たしていることが分かる。

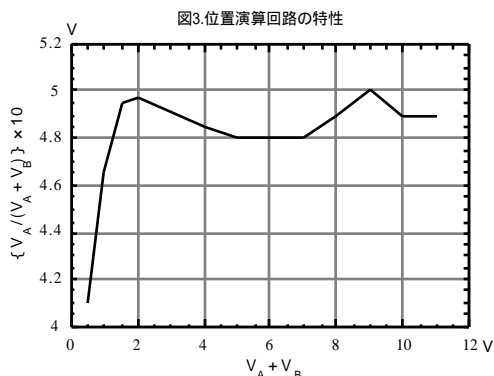


図3.位置演算回路の特性

3. 水素様TiにおけるLy - の強度比測定

3.1 目的

水素様イオンの準位図を図4に記す。図に示されているように $2p_{3/2}$ から $1s_{1/2}$ の遷移は $Ly - _1$ 、 $2p_{1/2}$ から $1s_{1/2}$ の遷移は $Ly - _2$ と呼ばれる。このとき、 $Ly - _2$ は $J = 1/2$ から $1/2$ への遷移であるため、完全に等方的な強度分布を持ち、その偏光度は0である。

一方、 $Ly - _1$ は一般に非等方であり、0でない偏光度を持つ。本研究では、量子化軸(ここでは電子ビーム)に対して 90° 方向から観測した $Ly - _1$ と $Ly - _2$ の

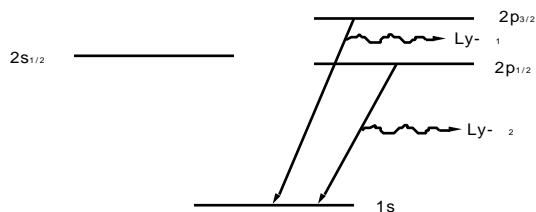


図4.水素様イオンのエネルギー準位

強度比を測定し、全立体角における放出強度と比較することによって $I_{\perp} / I_{\parallel}$ の偏光度を導出した。

3.2 測定

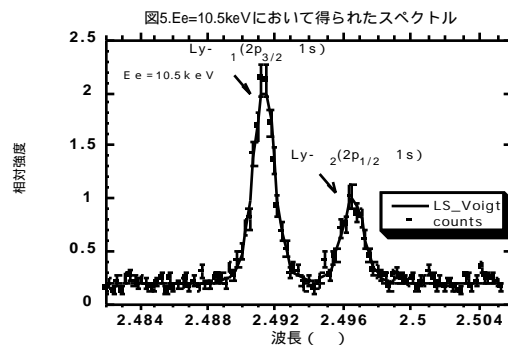
測定には電子ビームイオントラップ (EBIT) [2] を用いた。真空アーク放電型イオン源により Ti イオンをEBITに導入した後、電子ビームによる逐次電離によって水素様 Ti を生成する。それに電子ビームを入射することにより、電子衝撃励起過程の観測を行った。観測方向は電子ビームに対して90°方向であり、電子ビームエネルギーは10.5keV, 24.7keV, 49.6keVの三点で行った。分光器は平板結晶分光器を用い、その結晶にはフッ化リチウム、検出器には位置敏感型比例計数管 (PSPC) を用いた。

3.3 強度比の測定

図5に $E_e=10.5\text{keV}$ において得られたスペクトルを示す。得られたスペクトルをフォークト関数にあてはめることにより、 $Ly-2$ に対する $Ly-1$ の強度を求めた。同様の測定を $E_e=24.7\text{keV}$, $E_e=49.6\text{keV}$ でも行なった結果と併せて表 1 に示す。

表 1. 強度比の測定結果

電子ビームエネルギー	強度比 [$I_{\perp} / I_{\parallel}$]
10.6keV	2.26 ± 0.17
24.7keV	2.10 ± 0.16
49.6keV	2.01 ± 0.17



表から分かるように、電子ビームエネルギーの上昇とともに $Ly-2$ に対する $Ly-1$ の強度比が減少するという傾向がみられた。

4 考察

一般に偏光度 P は、 $I_{\parallel}(\lambda)$ を電子ビームに平行(垂直)に偏光した X 線の強度とすると、 $P = (I_{\parallel} - I_{\perp}) / (I_{\parallel} + I_{\perp})$ のように表わすことができる。また、観測される強度は、 $R_{\parallel}(\lambda)$ を電子ビームに平行(垂直)に偏光した X 線に対する結晶の反射率とすると、 $I^{obs} = R_{\parallel} I_{\parallel} + R_{\perp} I_{\perp}$ と表わされる。これにより観測される強度比は、

$$\frac{I_{\perp}^{obs}}{I_{\parallel}^{obs}} = \frac{R_{\perp} I_{\perp} + R_{\parallel} I_{\parallel}}{R_{\parallel} I_{\parallel} + R_{\perp} I_{\perp}} = \frac{I_{\perp} (1 + R_{\parallel} / R_{\perp})}{I_{\parallel} (1 + R_{\perp} / R_{\parallel})} \dots$$

のように表わされる。ここで、 $R = R_{\perp} / R_{\parallel}$ 、 $I_{\perp} = I / I_{\parallel}$ である。また、全立体角に放出される強度を I とすると、電気双極子遷移においては、 $\langle I_{\parallel} \rangle = (I_{\parallel} + 2I_{\perp}) / 3$ が成り立つため、式は偏光度 P によって、

$$\frac{I_{1-2}^{obs}}{I_{1-2}} = \frac{\langle I_{1-2}^1 \rangle}{\langle I_{1-2}^2 \rangle} \frac{3 - P_2}{3 - P_1} \frac{1 + P_1 + R}{1 + P_2 + R} \frac{(1 - P_1)}{(1 - P_2)} \dots$$

と表わすことができる。ここで、 $L y - 2$ に関しては偏光度が0、つまり、 $P_2=0$ であるので、式は、

$$\frac{I_{1-2}^{obs}}{I_{1-2}} = \frac{\langle I_{1-2}^1 \rangle}{\langle I_{1-2}^2 \rangle} \frac{3}{3 - P_1} \frac{1 + P_1 + R}{1 + R} \dots$$

となり、更にこれを変形すると、 P_1 が以下のように表わされる。

$$P_1 = \frac{3(R+1) \frac{I_{1-2}^{obs}}{I_{1-2}} - \frac{\langle I_{1-2}^1 \rangle}{\langle I_{1-2}^2 \rangle}}{(R+1) \frac{I_{1-2}^{obs}}{I_{1-2}} - 3(R-1) \frac{\langle I_{1-2}^1 \rangle}{\langle I_{1-2}^2 \rangle}} \dots$$

式により結晶の反射率の偏光特性と、全立体角に放出される強度比が既知の場合には、観測される強度比から $L y - 1$ の偏光度が求められる。今回得られた測定結果から導出される $L y - 1$ の偏光度を図6に示す。ここで、全立体角に放出される強度についてはHULLACと呼ばれるコードを用いて、見積もりを行った。また、結晶の反射率に対する偏光特性RについてはB.L.Henke [3]による計算値により、 $R=0.197$ を用いた。今回の実験で得られた偏光度は、理論同様電子ビームの上昇とともになだらかに減少する傾向が見られるが、理論よりも小さい値となっていることが分かる。

5.まとめ

水素様Tiにおける、 $L y - 1$ と $L y - 2$ 強度比を $E_e = 10.6\text{keV}, 24.7\text{keV}, 49.6\text{keV}$

の三点で測定し、その結果から偏光度を導出した。また、観測に使用したPSPCのための位置演算回路を製作した。

[1] 三浦望 多価イオンのX線分光に用いる位置敏感型比例計数管の製作(レーザー極限研究センター1999卒論)

[2] 西沢一生 多価イオンの分光を目的とした電子ビームイオン源の製作(レーザー極限研究センター1996修論)

[3] B.L.Henke (At.Data.Nucl.Table 54,181,'93)

