

# 28eVの円偏光パルス光源の開発

北海道大学 ○高橋悠太, Furkan Aksay, 関川太郎



## 背景

円偏光は分子のキラリティーを識別し、磁性体の磁気特性を観察するためにも用いられる。円偏光を使ったキラリティーの新たな解析法として光電子円二色性測定がある。光電子円二色性測定は左右の円偏光に対する光電子放出角度分布の違い（光電子分光）からキラリティーを解析する手法である。また、高次高調波は極端紫外線と軟X線領域の光電子分光法や吸収分光法での時間分解光源として使用が考案されている。しかし、3 stepモデルに基づく高次高調波の理論から、直接的に円偏光のレーザー光から円偏光の高次高調波を生成するには欠点がある。

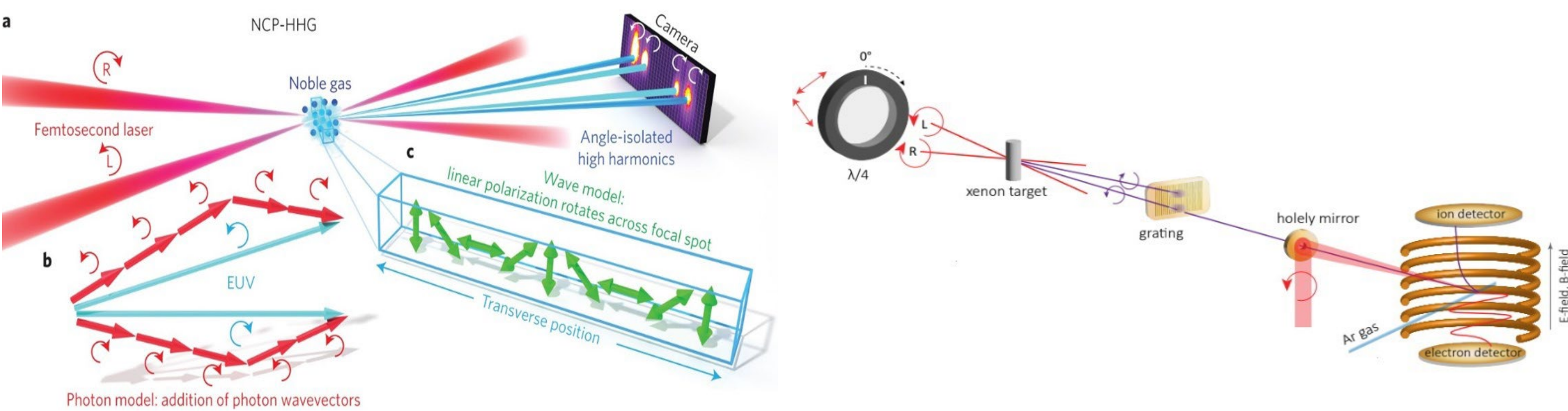


Figure 1,2[5]: Polarization Control in High-Order Harmonic Generation

## 目的

過去の研究では、二色または単色の二本のビームを使用した方法で、円偏光高次高調波生成が行われた。しかし、円偏光度が高くないかつ容易に左、右回りと変更する事ができないと光電子円二色性測定の光源として問題があった。この課題を解決できる単一波長円偏光光源の開発。

## 実験方法

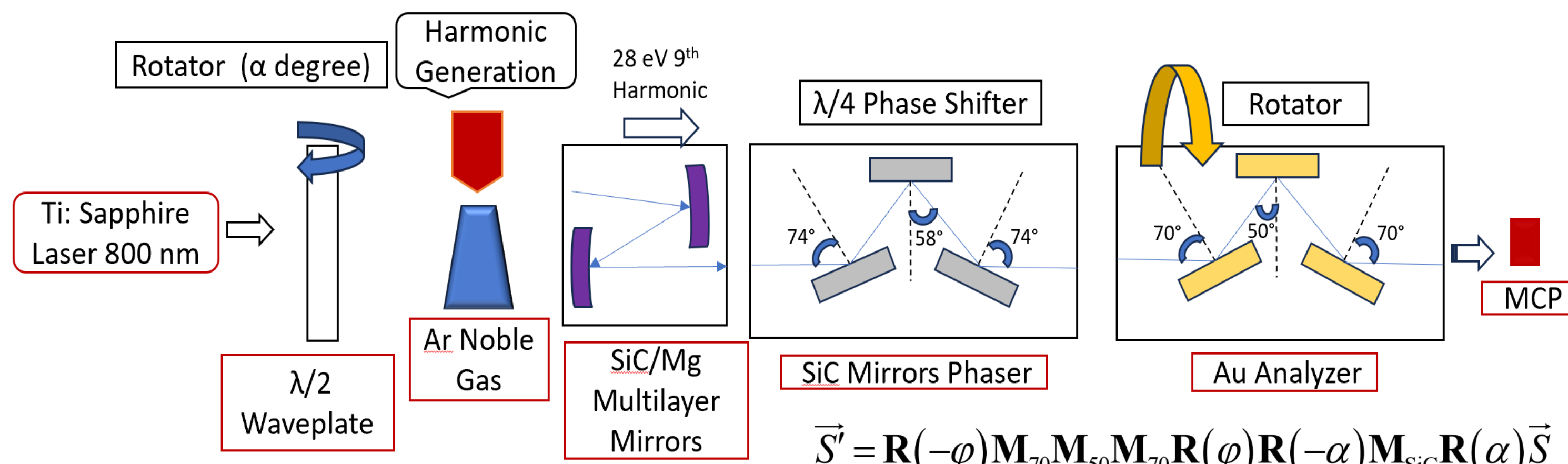


Figure 3: Whole Experimental Setup

チタンサファイアレーザーの第2次高調波（400nm）を光源として高次高調波発生を行った。高調波発生後の光は波長が短く透過型の偏光子での直線偏光から円偏光への偏光変換はできない為、SiC/Mgの多層膜ミラーを用いて18次（28 eV）のみに絞り、反射型1/4位相子（SiCミラー）で円偏光にした。そして、金検光子で円偏光になっているかを測定した。

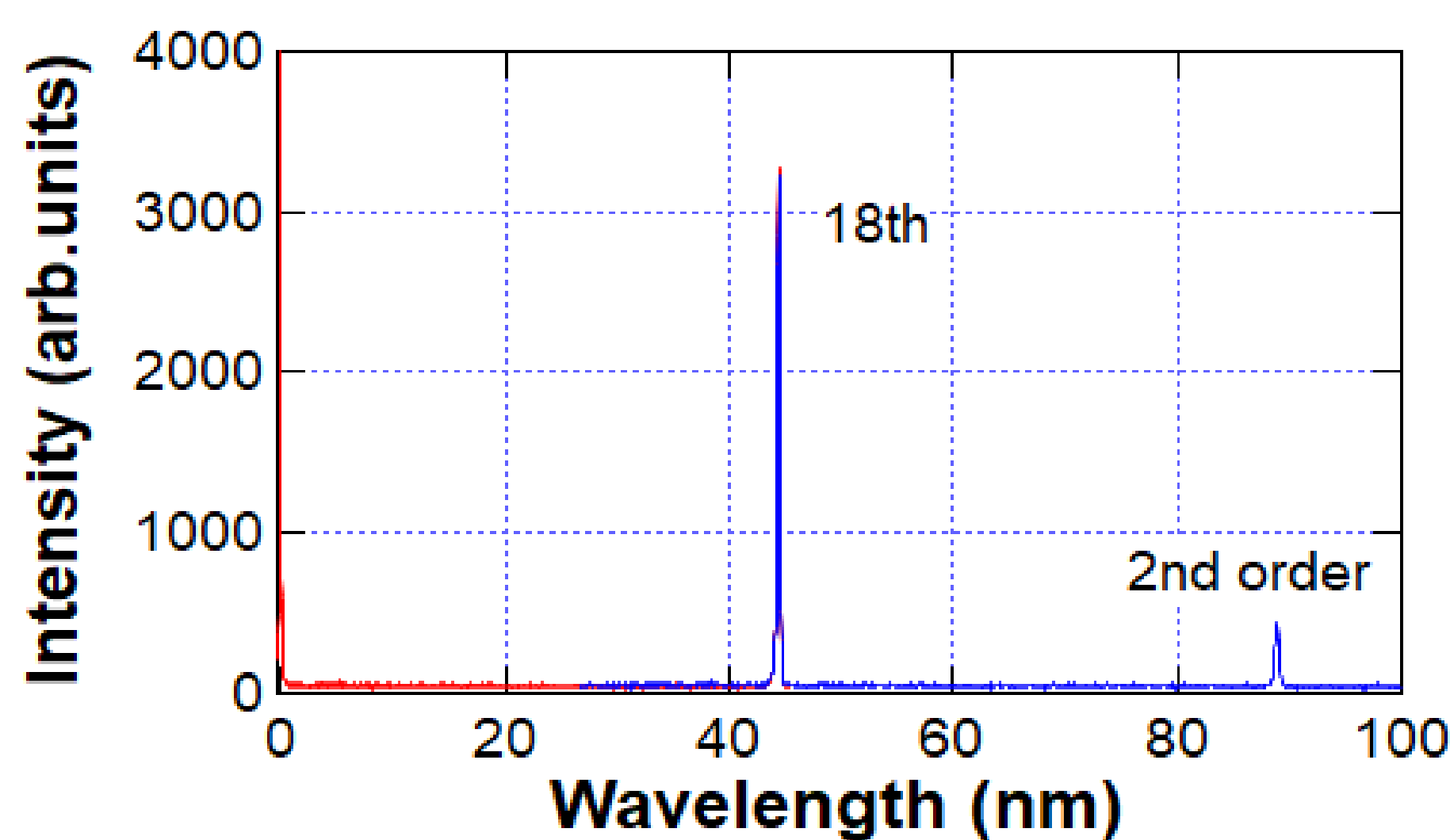


Figure 4: High Harmonic Spectrum of 400nm Light

$$\mathbf{R}(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\theta & \sin 2\theta & 0 \\ 0 & -\sin 2\theta & \cos 2\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \Delta = \delta_p - \delta_s \quad \mathbf{M} = \frac{1}{2}(r_s^2 + r_p^2) \begin{pmatrix} 1 & \cos 2\psi & 0 & 0 \\ \cos 2\psi & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sin 2\psi \cos \Delta & -\sin 2\psi \sin \Delta \\ 0 & 0 & \sin 2\psi \sin \Delta & \sin 2\psi \cos \Delta \end{pmatrix}$$

$$\tan \psi = r_p / r_s$$

Eq 1: Mueller Matrix For Rotators

Eq 2: Mueller Matrix For Mirrors

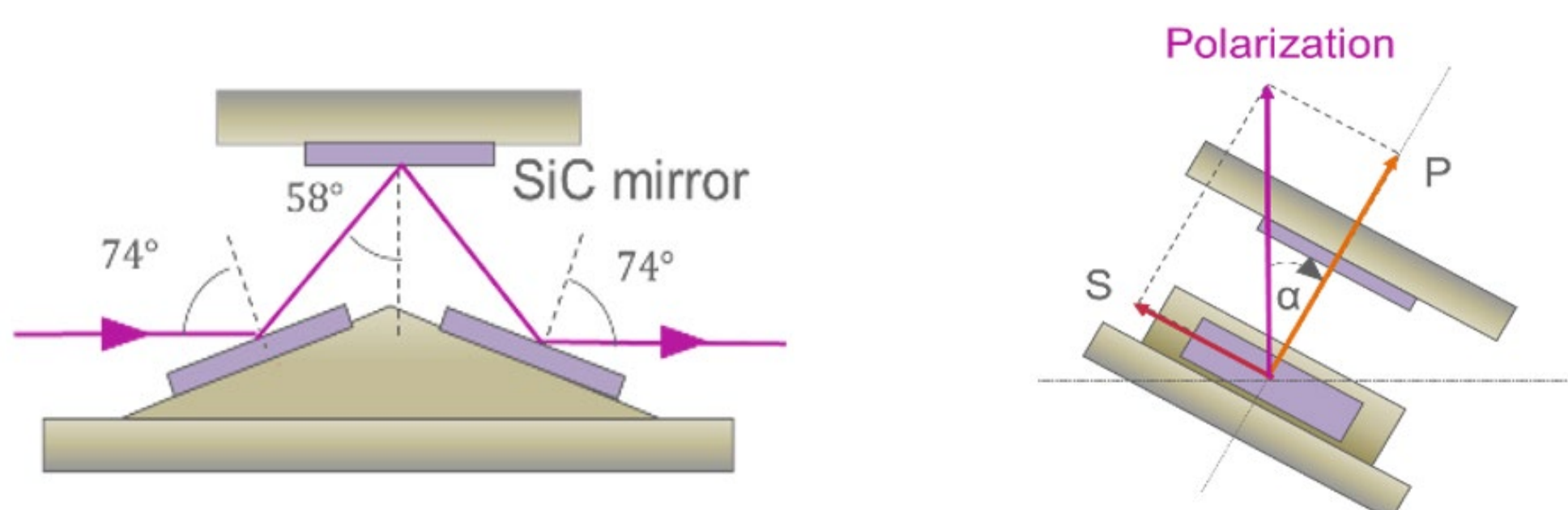


Figure 5: 1/4 Phase Shifter for Extreme Ultraviolet Light

## 結果・考察

Mirror Type	Incidence Angle (°)	Reflectance (44.44nm)		Phase (°)	
		$r_s$	$r_p$	$\delta_s$	$\delta_p$
SiC (Larruquet et al. 2011) Phaser	74	0.772	0.664	-137.4	-160.5
	58	0.528	0.34	-92.5	-135.3
Au (Werner et al. 2009 Analyzer)	70	0.452	0.184	-149	175.1
	50	0.201	0.032	-123.4	139.3

Table 1: Selected Degrees And Phase Differences For S-P Polarization Calculation

Calculated Stokes Parameters $\alpha = 0^\circ$	Calculated Stokes Parameters $\alpha = 90^\circ$
$S_0(0) = 3.98$	$S_0(90) = 3.81$
$S_1(0) = 3.91$	$S_1(90) = 3.74$
$S_2(0) = 0.01$	$S_2(90) = 0.01$
$S_3(0) = 0$	$S_3(90) = 0$
$S_0(0)/S_0(90) = 1.04$	$S_1(0)/S_1(90) = 1.04$
Normalized Stokes: [1, 0.98, 0, 0]	Polarization Degree: 0.98

Table 2: Stokes Parameters And Unpolarized Component For  $\alpha = 0^\circ, 90^\circ$

Normalized Stokes Input	$\alpha = 57^\circ$ Normalized Stokes After SiC	$\alpha = -57^\circ$ Normalized Stokes After SiC
1	1	1
0.98	0	0
0	-0.08	0.08
0	0.98	-0.98
Horizontal Linear	Right Circular P.	Left Circular P.

Table 3: Stokes Input And Output Comparison After SiC Phase Retarder  $\alpha = 57^\circ$

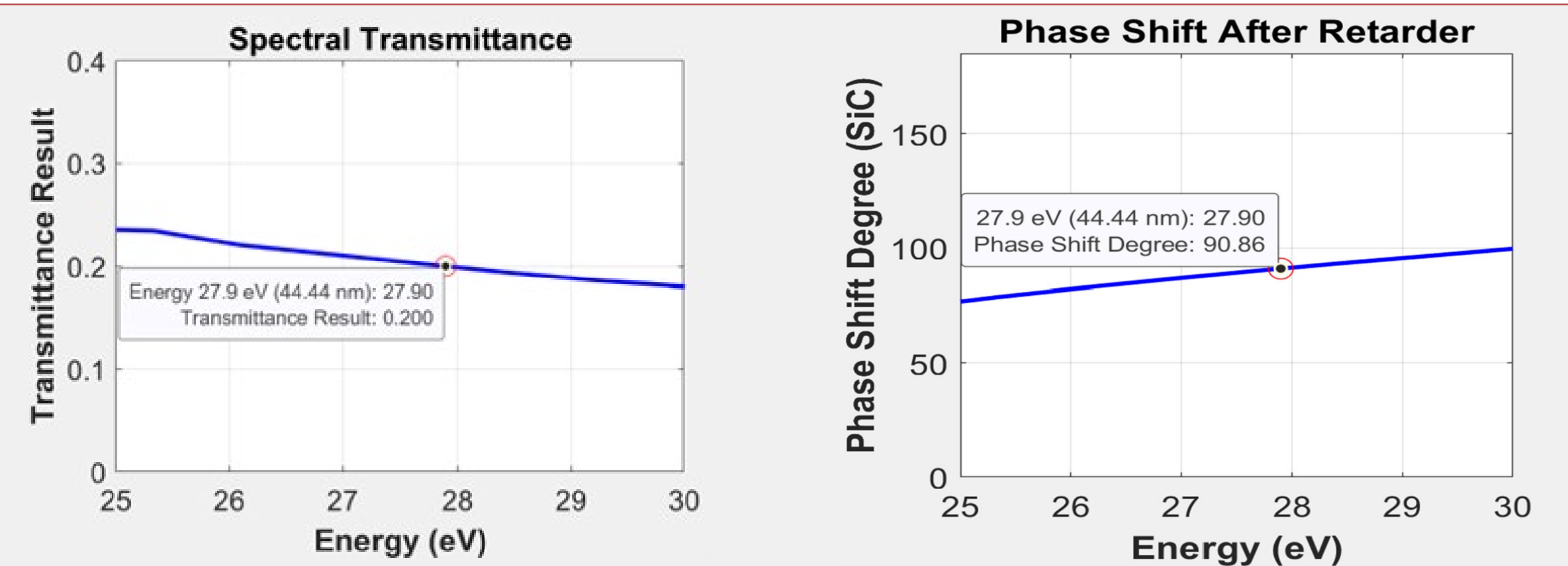


Figure 6: Transmission Effect And Phase Shift Results After SiC

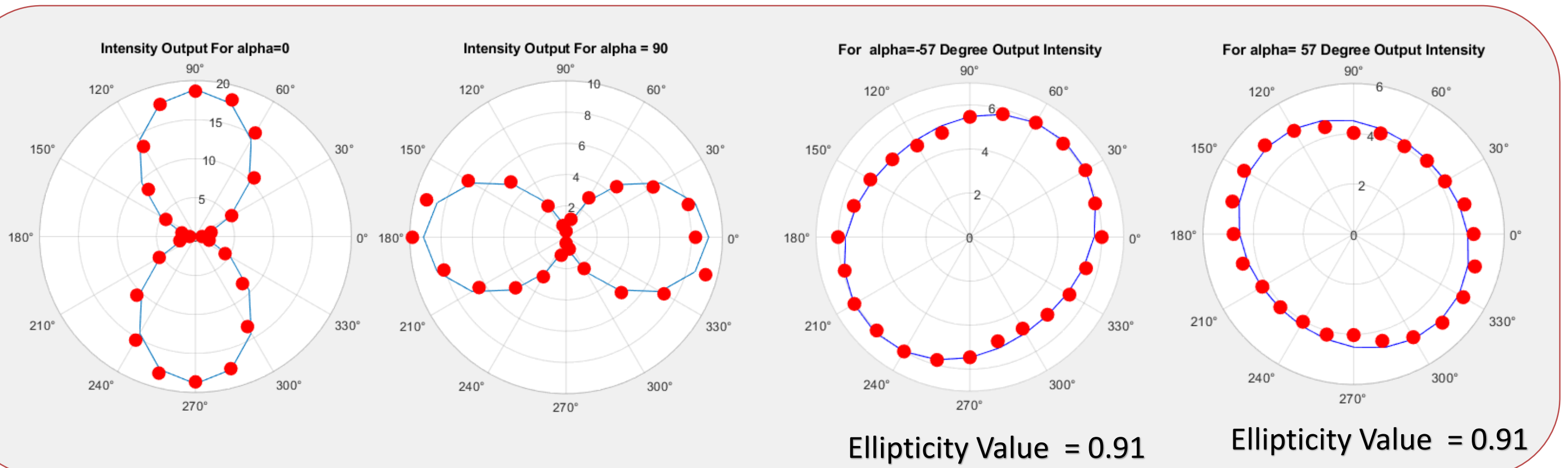


Figure 7: Total Intensity Output Through Gold Analyzer For  $\alpha = 0^\circ, 90^\circ, -57^\circ, 57^\circ$

Our Results	Research 1 [4]	Research 2 [5]
Ellipticity 0.91	Ellipticity 0.8	Ellipticity 0.87
Advantage: Easily Adjust.	Two opposite helicity CP	Photoelectron Polarym.
Degree of polarization: 98.2%	Degree of polarization: 89.5%	Degree of polarization: 83%
Wavelength: 44.44nm	Adjustable	15 <sup>th</sup> harmonic order / 53.33 nm / 23.2 eV
Energy: 28 eV		

Table 4: Comparison And Results For Efficiency of Polarization Conversion

図7は、金検光子を用いて測定した18次の高次高調波の角度依存透過率を示している。円偏光の楕円率は最小値0.91(1は真円)である。角度依存透過率の結果から計算したストークスパラメーターの円偏光度0.98を超える値になり、この光学系の有効性が確認できた。また、この光学系は表2に示しているように、非偏光成分の影響は小さい。そして、1/2波長板(α度)を調整することで偏光状態を容易に変更が可能である。このように、時間分解光電子分光法の光源としての高い偏光度を持つ28eVの単一波長円偏光高調波光源を開発に成功した。

## 引用

- O. Kfiret *et al.*: Nat. Photon. **9**(2015) 99.
- D. D. Hickstein *et al.*: Nat. Photon. **9**(2015) 743.
- R. M. A. Azzam and A. M. Kan'an: Applied optics **34**(1995) 6438.
- P. C. Huang *et al.* IEEE Journal **25** 4(2019) 880312
- M. Hanet *et al.*: Optica **10**(2023) 1044.
- T. Döhring *et al.*: Meas. Sc. Tech. (1992) 3 91.
- K. Ito *et al.*: Opt. Express **27**(2019) 38735.