

## High intensity X-ray generation using inverse Compton scattering at BNL

T.Kobuki, S.Kashiwagi, R.Kuroda, M.Washio, T.Hirose<sup>1</sup>, T.Kumita<sup>1</sup>, K.Dobashi<sup>1</sup>, T.Muto<sup>1</sup>  
T.Omori<sup>2</sup>, J.Urakawa<sup>2</sup>, T.Okugi<sup>2</sup>  
I.Ben-Zvi<sup>3</sup>, I.Pogorelsky<sup>3</sup>, V.Yakimenko<sup>3</sup>, X.J.Wang<sup>3</sup>, K.Kuche<sup>3</sup>, J.Skaritka<sup>3</sup>,  
D.Cline<sup>4</sup>, Y.Liu<sup>4</sup>, P.He<sup>4</sup>, Z.Sagalov<sup>5</sup>

Waseda University

Okubo3-4-1, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555, Japan

<sup>1</sup>Tokyo Metropolitan University, <sup>2</sup>High Energy Accelerator Research Organization

<sup>3</sup>Brookhaven National Laboratory, <sup>4</sup>University of California Los Angeles, <sup>5</sup>Raphael, Israel

### Abstract

Laser-Compton scattering between 60MeV, 0.5nC electron beam and 600MW, 180ps CO<sub>2</sub> laser pulses is proposed for generation of high-brightness X-rays. This experiment done by US-Japan collaboration at the Brookhaven National Laboratory Accelerator Test Facility in September 1999. We report the first results of this experiment and simulation of 2nd-stage (we plan to do at this autumn).

## 逆コンプトン散乱を用いた高輝度 X 線発生

### 1.はじめに

今回行なわれたレーザーコンプトン実験は、日米科学技術協力事業として 1998 年から BNL-日本(早大、都立大、KEK)で行なわれてきた。このレーザーコンプトン散乱により発生する X 線は、エネルギー可変、全体のシステムがコンパクト、超短パルス X 線生成が可能、等の特徴を持つ。またこの方法の場合レーザーの偏光をコントロールする事により、生成される X 線やγ線の偏極度をコントロールすることもできる。我々はこの事を利用し、リアコライダーでの偏極陽電子ビーム生成に使用することも計画している。

我々は、昨年秋(1999年)にBNL内にある試験加速器施設(BNL-ATF)において、大強度のCO<sub>2</sub>レーザーと電子ビームを正面衝突させ高輝度のX線生成に成功した。この実験の特徴は、固体レーザーよりも波長が数十倍長いCO<sub>2</sub>レーザー( $\lambda=10.6\mu\text{m}$ )を使用しレーザー光源の光子密度を高めた事とフォトカソード高周波電子銃(RF-GUN)によって生成された低エミッタンスビームにより衝突点での非常に小さいビームサイズ( $\sim 40\mu\text{m}/40\mu\text{m}$ )を実現した事である。以下に昨年秋の高輝度 X 線生成実験結果と今後の予定について報告する。

## 2.実験

レーザーコンプトン散乱のために開発されてきたコンプトンチャンバーでは、電子とCO<sub>2</sub>レーザーとが、それぞれの焦点で衝突する。ピコ秒CO<sub>2</sub>レーザービームは側面にある窓から入射され、直径50mm、焦点距離15cmの放物面Cuミラーによって絞り込まれる。このミラーには直径5mmの穴が空いており、この穴を電子ビームが通過する。コンプトンチャンバー直前のCO<sub>2</sub>レーザー軌道上にはアキシコンレンズが設置してある。このレンズにより、ほぼガウス分布をしているCO<sub>2</sub>レーザーのビームプロファイルはいわゆる‘ドーナツ型’へと変化する。これによってCO<sub>2</sub>レーザーはミラー中心の穴を避けて絞り込まれていくのである。焦点におけるCO<sub>2</sub>レーザーのビームサイズは、FWHMで約40μm程度である。これは衝突点での電子ビームのビームサイズに相当する。焦点を通過した後のCO<sub>2</sub>レーザーは反対側の放物面ミラーで反射しチャンバーの外へと導かれる。

CO<sub>2</sub>レーザーの励起及びRF-GUN内での光電子発生にはピコ秒YAGレーザーが用いられる。YAGレーザーのパルスは分割され、それぞれがRF-GUN、CO<sub>2</sub>レーザーへと送られる。CO<sub>2</sub>レーザーへと送られたレーザーにより、CO<sub>2</sub>レーザーはFWHMで180psのパルスに分けられる。分けられたCO<sub>2</sub>レーザーのパルスは、再生増幅器にかけられ、600MWにまで増幅される。

RF-GUNによって発生する、電子ビーム1バンチあたりのチャージ量は約0.5nCであり、それらはLinacによって60MeVまで加速され4極電磁石によって、チャンバーの中心で絞り込まれる。

YAGレーザーによって、CO<sub>2</sub>レーザーを分割する過程と、光電子の発生する過程とはそれぞれ制御され、CO<sub>2</sub>レーザーと電子のバンチとのジッターは、パルス幅に比べて無視できる程度の大きさにしかない。

X線は、電子ビームとX線を分けるためのダイポールマグネットの下流にあるBeウィンドウの外側

でシリコンフォトダイオードによって観測され、その個数は $3 \times 10^6$  photon/pulseであった。コードCAINを用いて行なったシミュレーションの結果検出されるphotonの個数は $2.9 \times 10^6$ 個となり、実際の結果と非常によく一致する。

## 3.simulation

現在BNL-ATFではCO<sub>2</sub>レーザーパワーの大幅な増強が行なわれており、次期レーザーコンプトン実験ではパルスエネルギーを $\sim 30$ J、 $\sim 1$ TWにまで引き上げて行なわれる予定である。このようにレーザーパワーが非常に高くなり、レーザーの光子密度が上がると、通常のコンプトン散乱と異なり電子1に対しphoton2,3,4…個が反応する非線形効果が顕著に表れてくる。そこでこの非線形効果のシミュレーションを、コードCAINを用いて行なった。この結果、 $\sim 30$ Jの場合には $\sim 10^{10}$  photons/pulse以上の光子が発生すると予想される。この非線形効果を詳細に調べメカニズムを明らかにして行くことは、大変有意義なアプローチだと我々は考えている。

## 4.まとめ

BNL-ATFの高輝度X線生成実験において、60MeVの電子ビームとCO<sub>2</sub>レーザーを正面衝突させレーザーコンプトン散乱により $3 \times 10^6$  photons/pulseのX線生成に成功した。今回の実験成功の要因に、フォトカソードRF-GUNで生成された高品質(低エミッタンス)電子ビームと長波長であるCO<sub>2</sub>レーザーを用いた事があげられる。そして、CO<sub>2</sub>レーザー増強後の次期実験では、非線形効果の検証など非常に興味深い研究課題が豊富にある。

## 参考文献

[1]I.V.Pogorelsky, Nucl. Instr. & Meth. Res. A411(1998)172

[2]CAIN home page

<http://www-acc-theory.kek.jp/members/cain>

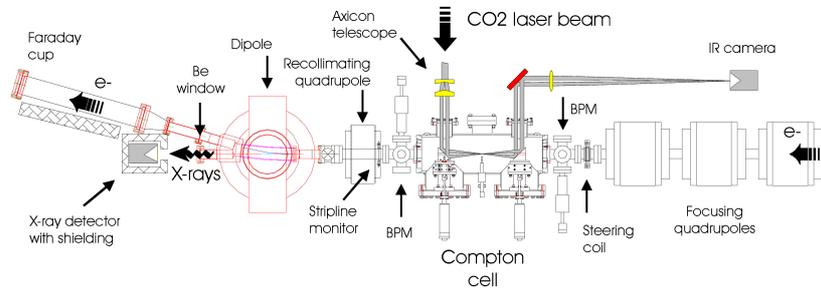


Fig. 1 Experimental setup at BNL-ATF Beam line (Compton cell and Si X-ray detector)

**Electron Bunch**

Beam energy	60MeV
Bunch charge	0.5nC
Bunch length (FWHM)	10ps
Beam size at focal point ( $\sigma_x/\sigma_y$ )	$\sim 40/40 \mu\text{m}$

**CO<sub>2</sub> Laser**

Wave length	10.64 $\mu\text{m}$
Energy/pulse	200mJ
Pulse length(FWHM)	180~320ps
Beam size at focal point ( $\sigma_x/\sigma_y$ )	40/40 $\mu\text{m}$

Table1: Electron beam and CO<sub>2</sub> laser system parameters

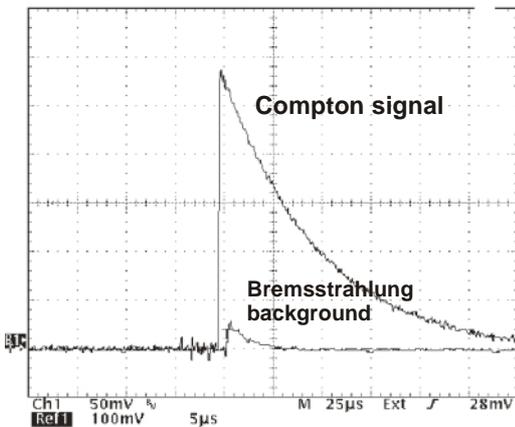


Fig. 2 Typical scope traces of the Si diode output show the Compton x-ray signal with the “laser on” (top trace, 100mV/div scale) and the bremsstrahlung “laser off” signal (bottom trace, 50mV/div).

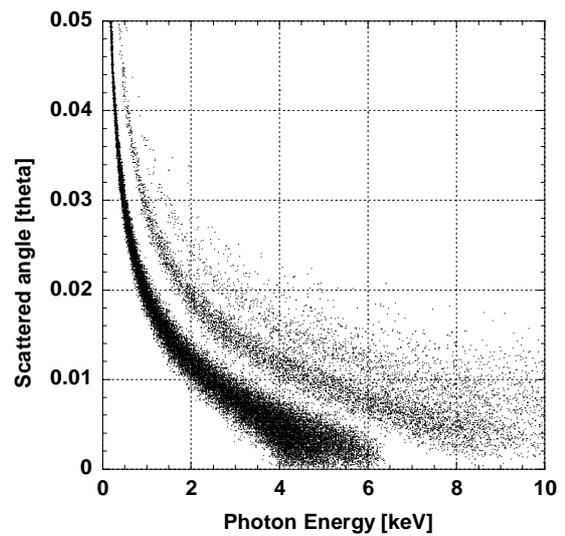


Fig.3 Scattered photon energy vs angle for the case of 30J CO<sub>2</sub> laser Compton scattering