

文章编号: 1007-4627(2012)03-0253-06

# 能量连续可调 LCS 光源 SINAP-III

徐望, 罗文, 黄勃松, 安振东, 李永江, 杨利峰, 范功涛, 阎喆,

徐本基, 蔡晓鹭, 潘强岩, 樊广伟

(中国科学院上海应用物理研究所, 上海 201800)

**摘要:** X/γ 探测器在航天等国家战略需求领域具有非常广泛和重要的应用。然而, X/γ 探测器要在其有效能区进行精确的标定后才能发挥作用。目前我国缺乏 sub-MeV~MeV 能量连续可调、单色性好的 γ 源, 而用于航天的 X/γ 探测器无法完成精确定标, 从而使航天探测的发展出现瓶颈问题。提出了升级原有的激光康普顿散射(LCS)原理性实验装置的方案, 建立了一个通过改变激光入射角来连续调节散射光子能量、准单色、极化、sub-MeV~MeV LCS 光源(SINAP-III), 从而开拓 LCS 光源在我国航天领域(如用于航天的 X/γ 探测器能量定标和抗辐射加固评估研究)的崭新应用前景, 并为将来建设一个基础和应用研究相结合的多功能的 γ 源实验平台打下基础。

**关键词:** LCS 光源; 能量可调; 航天用探测器定标; 可旋转靶室

**中图分类号:** O582

**文献标志码:** A

## 1 引言

用于航天的 X/γ 探测器作为航天探测的一类有效载荷(直接执行特定卫星任务的仪器、设备或分系统就是卫星的有效载荷, 通常包括各种类型的探测器、扫描仪、成像仪和相机等), 有诸多非常重要的应用并扮演着重要的角色。

在飞行器上加载的 X/γ 探测器作为有效载荷交付总体用于卫星装配、总装及试验(AIT)之前, 必须对有效载荷进行一次全面细致的地面定标试验。仪器的定标就是确定仪器响应函数  $R$  的过程。只有对探测器(或仪器)的性能进行详细分析以及高精度定标, 才能对获得的数据进行准确的分析, 得到可靠的科学结果。

目前主要采用放射性源作为用于航天的探测器标定源(标定的航天术语是计量)。目前在航天探测领域由于无法仅通过已有的单能放射性源或同步辐射源来完成用于航天的 X/γ 探测器<sup>[1]</sup>(尤其是 γ 探测器)精确定标, 导致航天探测的发展出现瓶颈问题: 如何能探求到一种单色性好、能量覆盖范围广(k eV~G eV)且峰值能量可调的理想光源满足于航

天的 X/γ 探测器定标需求? 另外, 随着我国航天探测工作的不断深入及探测器的分辨本领的不断提高, 如何使用于航天的探测器的地面定标变得精准的问题也值得深入思考和研究。其中, 通过激光与相对论自由电子发生康普顿散射产生的激光康普顿散射(LCS) X/γ 光源是一种潜在的探测器定标源。

## 2 LCS 光源

### 2.1 LCS 光源的原理

LCS 光源基本原理是利用康普顿效应, 即入射光子与电子发生弹性散射, 以获得准单色、高通量和高能量且能量连续可调的散射光子。如图 1 所示根据动量和能量守恒定律, 可得到散射光子能量  $E_\gamma$  与出射角  $\theta$  的关系:

$$E_\gamma = E_L \frac{(1 - \beta \cos \theta_1)}{1 - \beta \cos \theta + E_L [1 - \cos(\theta - \theta_1)]/E_e}, \quad (1)$$

其中:  $E_e$  和  $E_L$  分别为贮存环中高能电子和入射光子的能量;  $E_\gamma$  为散射 γ 光子能量;  $\beta$  为电子和光子的速率比值, 即  $\beta = v/c$ ;  $\theta_1$  为入射光子与电子间的



图 1 康普顿散射示意图

夹角。当贮存环中高能电子能量大于 50 MeV 时,  $\beta \rightarrow 1$ , 此时  $\gamma$  光子的散射角  $\theta < 10$  mrad。当激光光子反平行于电子束入射 ( $\theta_1 = 180^\circ$ ) 和发生背散射 (康普顿背散射) ( $\theta = 0^\circ$ ) 时, 出射  $\gamma$  光子能量为最大:

$$E_{\gamma}^{\max} = \frac{4E_c^2 E_L}{m_e^2 c^4 + 4E_c E_L}, \quad \beta \rightarrow 1. \quad (2)$$

通过式(1)和(2), 可知有 4 种改变  $\gamma$  光能量的有效方法: (1) 改变电子能量  $E_c$ ; (2) 改变激光能量  $E_L$ ; (3) 通过准直器来选择 LCS 光子散射角  $\theta$ ; (4) 改变激光和电子的夹角  $\theta_1$ 。

相应的 LCS 光子的微分散射截面为

$$\frac{d\sigma}{d(\theta)} = \pi r_0^2 \sin \theta \frac{1 - \beta \left(\frac{E_{\gamma}}{E_L}\right)^2}{1 + \beta \left(\frac{E_{\gamma}}{E_L}\right)} \times \left[ \frac{1 - \beta \cos \theta \frac{E_{\gamma}}{E_L} + \frac{1 + \beta}{1 - \beta \cos \theta} \frac{E_L}{E_{\gamma}} - \frac{(1 - \beta^2)(1 - \cos^2 \theta)}{(1 - \beta \cos \theta)^2} \right], \quad (3)$$

其中  $r_0$  为电子的经典半径。

目前我们已经自行研发出一套基于 Geant4 的 LCS 蒙特卡罗 C++ 模拟程序。此程序已经与国际上典型的实验结果(如 LLNL 和 HIGS<sup>[2-3]</sup>)进行了校验(如比较和归一化了 X 射线强度横截面分布、模拟的  $\gamma$  能谱及斜入射布局下模拟的  $\gamma$  光通量等)。利用 SINAP-III 各参数, 使用此程序对该装置指标进行了模拟。模拟时, 采用的电子束能量 150 MeV (实际上电子束能量可达到 200 MeV 以上)、电荷 0.1 nC 和脉冲长度 10 ps, 激光束波长 800 nm、脉冲能量 3.5 mJ 和脉冲长度 1 ps, 激光和电子束在相互作用点处的聚焦尺寸  $50 \mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$ , 以及激光入射角可调范围拟定为  $45^\circ \sim 145^\circ$ 。模拟时根据实际情况设置激光功率在传输过程中的损失为 50%。模拟所得 LCS 光源 SINAP-III 的指标见表 1。表 1 中光通量考虑的是总通量。加速器实际运行时的频率可以达到 10 Hz, 则实际的光通量可以达

到  $10^3 \sim 10^4$  photons/s。

表 1 SINAP-III 的预期指标\*

名称	指标
光通量	$10^2 \sim 10^3$ photons/collision (加速器的频率为 10 Hz, 光通量可达到 $10^3 \sim 10^4$ photons/s)
能量范围	[# - 90 keV] ~ [# - 500 keV] (连续可调)
单色性	好于 7% (加准直器)
时间结构	皮秒脉冲
自然发射度	3.3 mm · mrad

\* “#”由准直器决定, [# - 90 keV] ~ [# - 500 keV] 分别表示在最小和最大入射角  $\gamma$  的能谱范围。

图 2 给出了计算的激光入射角  $\theta_1$  与产生的  $\gamma$  光的最大能量关系。图 3 给出了在不同的激光入射角下  $\gamma$  射线能谱的模拟结果。

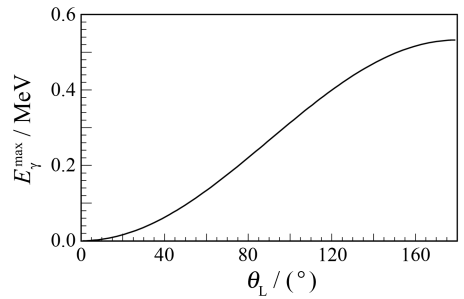


图 2 800 nm 激光和 150 MeV 电子束发生康普顿散射时, 产生的  $\gamma$  光最大能量和激光入射角的关系

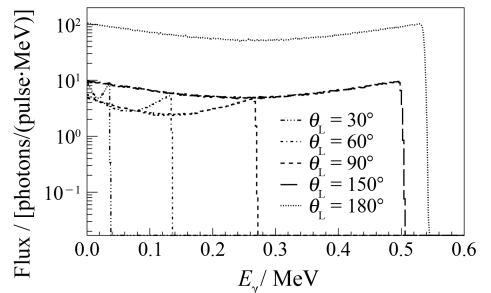


图 3 使用 Geant4 程序模拟 800 nm 激光和 150 MeV 电子束发生康普顿散射时在不同的激光入射角下, 产生的  $\gamma$  射线能量和流强分布

## 2.2 LCS 光源的背景

利用 LCS 方法产生 X/ $\gamma$  射线源的思想是由 Milburn<sup>[4]</sup> 于 1963 年提出的。第一个基于 LCS 的  $\gamma$  射线源装置——LADON1978 在意大利 Frascati 开

始运行<sup>[5]</sup>, 随后各大实验室相继开展了对激光和电子康普顿/汤姆逊散射(激光与高能电子散射叫康普顿散射, 激光与低能电子散射叫汤姆逊散射)的实验研究<sup>[6-16]</sup>。之前, 由于激光和电子的康普顿散射截面太小( $\leq 665$  mb), 产生的 X/ $\gamma$  光束的亮度不够高。最近十几年, 随着先进加速器和激光技术如第三代同步装置和啁啾放大, 以及激光和电子加速器的同步技术的快速发展, 激光功率、电子束流强度和碰撞的强度及频率得到大幅度提高, 从而使 LCS 光源得以从因散射截面小而导致其亮度不够高的困境中解脱出来。由于此类光源具有高通量、短脉冲、准单色、方向性好、极化度高、能量范围广(eV ~ GeV)等性能<sup>[17]</sup>, 其实验及应用研究已逐渐成为国际上的一个研究热点。

### 2.3 国际上 LCS 光源的发展趋势

能量可调、小型化、更高峰值亮度[在千分之一的能带宽度中, 有  $10^{20}$  photons/(mm<sup>2</sup> · mrad<sup>2</sup> · s)]和更短脉冲(皮秒~飞秒甚至更短)光源的产生是当前国际上 LCS 光源的发展趋势。其中, 杰出并有代表性的工作有: (1) 在 2008 年的“年度特别成就”和 2009 年的“亮点”中, 美国 LLNL 分别报导了该实验室最新研制成功的 T-RAY<sup>[18]</sup> 和 MEGaRAY<sup>[19]</sup>。这两种 LCS 光源产生高能  $\gamma$  辐射的能量为 0.776 MeV, 其峰值亮度比当前同步辐射光源分别高出 10 和 15 个数量级。撰文同时指出, 这种革命性的飞跃可能为美国各种迫切和近期的国家需求(包括寻找和探测高浓缩铀、核废水和核燃料系统的定量分析和成像, 以及防止核恐怖袭击等)提供新的解决方案; (2) 美国 Lyncean Technologies Inc. 公司已研发出一种商业化的小型 LCS 光源, 该装置占地面积仅为同步辐射装置的 1/200, 在相关部门中用于相衬成像和蛋白质结构的测定<sup>[19]</sup>。

世界各大科研机构或大学如美国的 LLNL, BNL, SLAC, IAC 和 MIT, 日本的 Spring8, JAEA, AIST 和 Waseka University, 以及欧洲的 INFN 和 ESRF 等都正致力于 LCS 的实验<sup>[6, 11-12, 16, 20-30]</sup>, 以及所产生的 LCS 光源在材料、化学、医学与生命科学和基础科学等领域的应用研究。同时取得了大批的科学研究成果<sup>[6, 18, 30-39]</sup>。目前国际上有关 LCS 光源的研究方向已从原理性实验转为实际应用阶段, 所以如何将 LCS 光源的整

体优势或某个具体的性能特点在一些重要和前沿的领域进行应用, 已成为一个需深入研究的问题。

### 2.4 我国 LCS 光源的情况

我国在 LCS 光源的实验研究方面起步晚<sup>[40-43]</sup>, 而 LCS 光源的实验条件要求比较高, 需同时具备电子加速器和激光器。现存的 LCS 光源的数目很少。到目前为止, 根据文献报导仅有中国科学院高能物理研究所<sup>[41]</sup>、清华大学<sup>[44]</sup>和中国科学院上海应用物理研究所研发过 LCS 光源。因为这些光源已在最近完成了 LCS 光源的原理性实验研究<sup>[45-46]</sup>, 所以我国对 LCS 光源的实验研究正开始走出光源的原理性实验阶段, 初步踏入应用期。

2008 年在中国科学院上海应用物理研究所的上海深紫外自由电子激光装置雏形机(一台 100 MeV 电子直线加速器)上分别用不同功率和脉宽的 Nd:YAG 激光器进行了两期 LCS 的原理性实验(SINAP-I & SINAP-II)。实验取得了以下进展: (1) 成功实现了 ns-ns 激光与电子的时间同步和亚毫米级的束斑位置重合; (2) 尝试采用激光与电子前向大角度散射(相对电子运动方向的激光入射角为  $\sim 40^\circ$ ) 布局(这是实验的一个特色, 国际 LCS 实验通常采用的是背康普顿散射和  $90^\circ$  入射布局); (3) 实验中采用单光子测量方法成功观测到能量为 30 keV 左右的 X 射线及其能谱。实验取得了预期的结果<sup>[45-46]</sup>, 并完成上海激光电子  $\gamma$  源(SLEGS)<sup>[47]</sup>的预制研究, 已通过中国科学院方向性项目的专家组验收。基于上海光源(SSRF)的 SLEGS<sup>[47]</sup>虽完成了预制研究, 但建设所需的关键技术: 如何有效调节 SLEGS 产生的  $\gamma$  光能量, 有待于深入开展研究。

### 2.5 SINAP-III 的构想

目前已有的原理性实验装置过于简陋而很难为应用研究提供服务, 它有待于进一步的升级和改造。目前, 正在筹划将已有的 LCS 光源(SINAP-II)升级为 SINAP-III, 升级所需的 2 个核心设备: 高性能的 150 MeV 直线加速器和飞秒激光器都已具备, 其硬件条件已相当成熟。在装置建设方面, 仅需在中国科学院上海应用物理研究所的深紫外自由电子激光装置及其 150 MeV 直线加速器的基础上, 升级激光与电子的对撞区及其附属功能段。

升级后的 LCS 光源(SINAP-III)将成为一个

keV~MeV 能量连续可调、准单色、极化的光源。根据已有的调研,目前国际上覆盖 keV~MeV 能区的 LCS 光源极少(因电子加速器能量范围的局限性,已有的 LCS 光源或为 100 keV 以下的 X 射线光源<sup>[6]</sup>,或为 MeV~GeV 的高能  $\gamma$  源<sup>[49]</sup>)。因此, SINAP-III 建成后有望成为国际上首个在 sub-MeV~MeV 级并具备能量连续可调特点的  $\gamma$  射线源。通过将 SINAP-II 升级成 SINAP-III,人们所掌握 LCS 光源能量可调的技术和积累相关经验还将有助于 SLEGS 的顺利实施。同时,根据调研发现,此 sub-MeV~MeV 级光源有望在探测器定标、材料科学、高 Z 材料成像、超快和核共振荧光研究等领域有广阔的应用前景<sup>[20]</sup>。如何利用处于 sub-MeV~MeV 能量段的 SINAP-III 具体开展一些有特色的物理和应用研究是我们目前研究的重要课题。

### 3 LCS 光源在航天领域中的应用前景

#### 3.1 用于航天的探测器定标的具体需求

用于航天的探测器对定标源的要求主要有以下 4 点:(1)能量可调,在不同能量点下对探测器进行扫描,从而获得在探测器能量响应范围内的间隔均匀的数据点,这样避免了使用外推法导致的探测器定标精度不够(或不准确);(2)能量覆盖范围广,可有效测定其非线性及饱和效应;(3)单色性好,定标源的单色性如果足够好(或已知),勿需考虑定标源本身对探测器分辨造成的影响(或者造成的影响是一定的);(4)光源亮度要求不高,定标时探测器最好处于单光子测量状态,这样可避免探测器在其响应时间内有大于或等于 2 个光子的能量被沉积或被打坏。另外,在定标过程中需尽量排除多个能量点(或噪声)对定标造成干扰。

不同于探测器定标的是,LCS 光源作为一种辐射源在研究材料辐射损伤机理时需具备一定的通量( $\sim 10^5$  photons/(mm<sup>2</sup>·s))和必要的束斑尺寸 $\sim 1$  cm(在样品处)。对于后者,其目的是在辐射时 LCS 光源可覆盖整个样品(芯片)。

#### 3.2 如何能满足二者的需要

我们的研究表明,SINAP-III 作为一种定标源用于航天的 X/ $\gamma$  探测器进行能量标定,以及作为一种辐射源研究用于航天的电子器件的辐射机理和抗

辐射加固评估,具有巨大的潜力。SINAP-III 是怎样满足航天领域对定标源(或辐照源)的要求的呢?

(1)在光源的能量调节方面,拟通过一个高真空、可旋转靶室来大范围调节激光入射角(激光斜入射布局),从而使散射光子在其有效能区内实现能量连续可调。斜入射布局将导致散射光子的产额相对于背散射布局模式将下降 1~2 个数量级,但这对定标过程并不会产生太大影响。必须说明的是,尽管有 Ohgaki 等<sup>[50]</sup>人从理论分析和模拟计算上分析了通过改变入射角来调节 LCS 光子能量的优势,但迄今为止,国际上还没有任何一个从事 LCS 研究的实验室真正掌握这一技术,以及实现能量可调的 LCS 光源。我们也只是在 SINAP-I 和 SINAP-II 中开展了激光与电子大角度(44°)碰撞实验,初步验证了不同激光入射角对散射光子能量的调节<sup>[45-46]</sup>。因此,在已有的一些经验和基础上,进一步提出通过一个高真空、可旋转靶室来达到改变激光入射角的方案,并期望通过此项目的实施来掌握的此技术,率先在国际上实现能量连续可调的 LCS 光源,从而取得一些开创性的成果。此方法对能量可精确调节,调节能力是 10~20(最大调节能量点与最小调节能量点的比)(见图 1)。

(2)在能量覆盖范围方面,原则上 LCS 光源可覆盖产生从 ultra-violet (EUV)<sup>[51]</sup>至 GeV  $\gamma$  波段<sup>[49]</sup>。根据已有电子束的能量和选取的激光器波长,SINAP-III 的能量覆盖范围可从几十 keV 至略小于 1 MeV,因此它将非常适用于对用于航天的硬 X 和低能  $\gamma$  探测器的定标。

(3)在单色性方面,虽然 LCS 能谱不是完全单色的,但其好处是在能谱的高能端有一个陡直的康普顿边沿(Compton edge)(见图 3)。有文献报导,利用康普顿边沿可反推得到参与碰撞的电子束能量和能散的精度高达  $10^{-5}$ 。此外,在散射光子能量较低的情况下,国际通用的准直法<sup>[11]</sup>可帮助 LCS 光源(如 HI $\gamma$ S 装置)实现好于 5%(BW)的单色性。

(4)在探测器单光子测量方面,已在 SINAP-I 和 SINAP-II 中通过降低散射光子产额至小于或等于 1 photon/collision,从而使探测器处于单光子测量状态,顺利获得了 LCS 的能谱。因此,在 SINAP-III 中实现探测器定标时的单光子测量将不再是一个难处理的技术问题。另外,在电子束的能量、激光输出波长和激光入射角等参数相对稳定和束流准

直位置不变的情况下, LCS 过程产生的光子能谱峰位将是固定的。这避免了能量定标过程中, 能谱峰移动对定标造成干扰。

(5) 如果进一步提高 SINAP-III 的流强(已有的模拟表明, 在正常加速器和激光器运行的情况下, SINAP-III 的流强达到  $10^5$  photons/(mm<sup>2</sup> · s) 是可行的。), 光源将可用于航天的电子器件辐射机理研究和抗辐射加固评估。它主要利用 LCS 光源(如 SINAP-III)产生的不同能量的 X 或  $\gamma$  射线对元器件材料(主要是半导体硅)的辐射效应、机理等进行研究, 从而准确预估空间辐射环境下半导体材料参数特征的退化曲线, 为航天卫星的抗辐射加固提供可靠的实验数据和技术支持。

当然, LCS 过程将伴随有少量电子韧致辐射产生, 作为一类噪声对实验测量将带来一定的影响而不能被忽略。尽管如此, 通过上述分析 SINAP-III 有望同时具备能量连续可调、良好单色性和能谱峰单一等性能, 则可成为一种理想的 X/ $\gamma$  源用于航天领域内的探测器定标和抗辐射评估等应用研究。

## 4 结束语

总之, SINAP-III 的构想有很高的可行性。它的最终实施不仅为国际上 sub-MeV~MeV LCS 光源及其应用研究开拓崭新的前景, 而且为 SINAP-III 最终成为一个基础(光核物理)和应用(用于航天的探测器定标和电子器件的辐射机理和抗辐射加固评估)研究相结合的多功能的  $\gamma$  源实验平台提供理论基础和技术储备。

## 参考文献 (References):

- [1] SUN Kexu, YI Rongqing, JIANG Shaoen, *et al.* High Energy Physics and Nuclear Physics, 2004, **28**: 205(in Chinese). (孙可煦, 易荣清, 江少恩, 等. 高能物理与核物理, 2004, **28**: 205.)
- [2] BEOWN W J, ANDERSON S G, BARTY C P J, *et al.* Rhys Rev ST Accel Beams, 2004, **7**: 060702.
- [3] SUN C, WU Y K, Department of Physics, *et al.* A Semi-analytical Algorithm For Modelling Compton  $\gamma$ -ray[C]// Proceedings of IPAC'10. Kyoto: Science Council of Japan, 2009: 265.
- [4] MILBURN R H. Phys Rev Lett, 1963, **10**: 75.
- [5] MATONE G, PICOZZA P, PROSPERI D, *et al.* Lect Notes Phys, 1977, **62**: 149.
- [6] GIBSON D J, ANDERSON S G, BARTY C P J, *et al.* Physics of Plasmas, 2004, **11**: 2857.
- [7] PRIEBE, G, FILIPPETTO D, WILLIAMS O, *et al.* Nucl Instr and Meth A, 2009, **608**: s109.
- [8] VARIOLA A, BRASILE J P, BRUNI C, *et al.* Nucl Instr and Meth A, 2009, **608**: s83.
- [9] WILLIAMS O, ANDONIAN G, BABZIEN M, *et al.* Nucl Instr and Meth A, 2009, **608**: s18.
- [10] GRAVES W S, BEOWN W, KAERTNER F X, *et al.* Nucl Instr and Meth A, 2009, **608**: s103.
- [11] CHOUFFANI K, WELLS D, HARMON F, *et al.* Nucl Instr and Meth A, 2002, **495**: 95.
- [12] LITVINENKO V N, BURNHAM B, EMAMIAN M, *et al.* Phys Rev Lett, 1997, **78**: 4569.
- [13] LI D, IMASAKI K, AOKI M, MIYAMOTO S, *et al.* Nucl Instr and Meth A, 2004, **528**: 516.
- [14] KASHIWAGI S, KURODA R, OSHIMA T, *et al.* Journal of Applied Physics, 2005, **98**: 123302.
- [15] NAKANO T, AHN J K, FUJIWARA M, *et al.* Nucl Phys A, 2001, **684**: 71.
- [16] BABZIEN M, BEN-ZVIL L, KUSCHE K, *et al.* Phys Rev Lett, 2006, **96**: 054802.
- [17] SPRANGLE P, TING A, ESAREY E, FISHER A. J, *et al.* Appl Phys, 1992, **72**: 5032.
- [18] A Year of Exceptional[EB/OL]. [2011-09-20]. <https://www.llnl.gov/annual08/>.
- [19] A Year of Exceptional[EB/OL]. [2011-09-20]. <https://www.llnl.gov/annual09/>.
- [20] KAWASE K, ARIMOTO Y, FUJIWARA M, *et al.* Nucl Instr and Meth A, 2008, **592**: 154.
- [21] KURODA R, TOYOKAWA H, SEI N, *et al.* Int J Mod Phys B, 2007, **21**: 488.
- [22] Ikeura-Sekiguchi H, Kuroda R, Yasumoto M, *et al.* Appl Phys Lett, 2008, **92**: 131107.
- [23] YAMADA K, KURODA R, TOYAKAWA H, *et al.* Nucl Instr and Meth A, 2009, **608**: s7.
- [24] KIKUZAWA N, HAJIMA R, NISHIMORI N, *et al.* Applied Physics Express, 2009, **2**: 036502.
- [25] HAJIMA R, HAYAKAWA T, KIKUZAWA N, *et al.* J Nucl Sci Tech, 2008, **45**: 441.
- [26] JOSHI C J, CORKUM P B. Phys Today, 1995, **48**: 36.
- [27] HARADA A, KATAOKA K. Science, 1999, **283**: 65.
- [28] Triangle Universities Nuclear Laboratory[EB/OL]. [2011-09-20]. <http://www.tunl.duke.edu/higs/review>.
- [29] UTSUNOMIYA H, GORIELY S, KONDO T, *et al.* Phys Rev Lett, 2008, **100**: 162502.
- [30] GOKO S, UTSUNOMIYA H, GORIELY S, *et al.* Phys Rev Lett, 2006, **96**: 192501.
- [31] CHEN SZU-YUAN, MAKSIMCHUK A, UMSTADTER D, *et al.* Nature, 1998, **396**: 653.

- [32] SCHOENLEIN R W, LEEMANS W P, CHIN A H, *et al.* Science, 1996, **274**: 236.
- [33] UTSUNOMIYA H, GORIELY S, KONDO T, *et al.* Phys Rev Lett, 2008, **100**: 162502.
- [34] GOKO S, UTSUNOMIYA H, GORIELY S, *et al.* Phys Rev Lett, 2006, **96**: 192501.
- [35] PIETRALLA N, BERANT Z, LITVINEVKO V N, *et al.* Phys Rev Lett, 2002, **88**: 012502.
- [36] IKEURA-SEKIGUCHI H, KURODA R, YASUMOTO M, *et al.* Appl Phys Lett, 2008, **92**: 131107.
- [37] JOSHI C J, CORKUM P B. Phys Today, 1995, **48**: 36.
- [38] BULA C, MCDONALD K T, PREBYS E J, *et al.* Phys Rev Lett, 1996, **76**: 3116.
- [39] TAKAHASI M, MIZUKI J. Phys Rev Lett, 2006, **96**: 055560.
- [40] ZHENG Xiaochao, XIAO Yuan, RUAN Cunjun, *et al.* High Power Laser and Particle Beams, 1999, **11**: 272(in Chinese). (郑晓超, 肖渊, 阮存军, 等. 强激光与粒子束, 1999, 11: 272.)
- [41] ZHAO Yu, Research into Theories and Experiments of LCS Source[D]. Beijing: Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, 2001(in Chinese). (赵宇. 激光康普顿散射光源的理论和实验研究[D]. 北京:中国科学院高能物理研究所, 2001.)
- [42] DING Yuantao, ZHAO Kui, QUAN Shengwen, *et al.* High Power Laser and Particle Beams, 2004, **16**: 667(in Chinese). (丁原涛, 赵夔, 全胜文, 等. 强激光与粒子束, 2004, 16: 667.)
- [43] GUO Wei, GU Jianhui, CAI Xiangzhou, *et al.* High Power Laser and Particle Beams, 2002, **14**: 787(in Chinese). (郭威, 顾嘉辉, 蔡翔舟, 等. 强激光与粒子束, 2002, 14: 787.)
- [44] DU Yingchao, HUANG Wenhui, HUA Jianfei, *et al.* Chinese Physics C, 2008, **32**: 75(in Chinese). (杜应超, 黄文会, 华剑飞, 等, 中国物理 C, 2008, 32: 75.)
- [45] LUO W, XU W, PAN Q Y, *et al.* Rev of Sci Instr, 2010, **81**: 013304.
- [46] LUO W, XU W, Pan Q Y, *et al.* Applied Physics B, 2010, **101**, 761.
- [47] PAN Q Y, XU W, LUO W, *et al.* Synchrotron Radiation News, 2009, **22**: 11.
- [48] 上海激光伽马光源[EB/OL]. [2011-9-20]. <http://www.sinap.ac.cn/slegs/indexslegs.htm>.
- [49] NAKANO T. Eur Phys J A, 2004, **19**: 239.
- [50] OHGAKI H, KODA S, IWASAKI Y, *et al.* J Nucl Sci and Tech, 2007, **44**: 698.
- [51] KASHIWAGI S, KATO R, ISOYAMA G, *et al.* Radiation Physics and Chemistry, 2009, **78**: 1112.
- [52] TANG C X, HUANG W H, LI R K, *et al.* Nucl Instr and Meth A, 2009, **608**: s70.

## Adjustable LCS $\gamma$ Source SINAP-III

XU Wang<sup>1)</sup>, LUO Wen, HUANG Bo-song, AN Zhen-dong, LI Yong-jiang, YANG Li-feng,

FAN Gong-tao, YAN Zhe, XU Ben-ji, CAI Xiao-lu, PAN Qiang-yan, FAN Guang-wei

(Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

**Abstract:** The X/ $\gamma$  detectors in the field of national stratagem, such as astronomical technology, have very broad and important application. These detectors, however, will play their role properly only after accurate calibrations in effective energy region. For the shortage of continuously adjustable and quasi-monochromatic  $\gamma$  source in China, it is impossible for the detector employed in aerospace to achieve an accurate calibration so that development of such detector has encountered a big obstacle (or a bottleneck). Therefore, we propose to upgrade the original LCS device to an adjustable photon energy by changing incident angle of laser beam, monochromatic, and polarized sub-MeV $\sim$ MeV LCS  $\gamma$  source(SINAP-III), in order to explore the new applications of LCS  $\gamma$  source in aerospace as well as to establish a platform for a multi-functional of  $\gamma$  source.

**Key words:** LCS  $\gamma$  source; adjustable energy; detector calibration for aerospace; rotatable target chamber

Received date: 12 Sep. 2011; Revised date: 4 Jun. 2012

Foundation item: National Natural Science Foundation of China(26010701)

1) XU Wang, E-mail: xuwang@sinap.ac.cn