

世界上最小的同步加速器在日本研制成功

| 发展简史 | 基本原理 | MIRRORCLE-6X | MIRRORCLE-6S | MIRRORCLE-20SX |

同步加速器产生的光是许多科技领域里极其强大的研究工具。同步加速器的光一度被认为是寄生的损耗，而现在该光却成为建造许多同步加速器的理由。然而，在同步加速器光中发现的巨大效用却带有明显的缺陷，即建造大型同步加速器的费用极为昂贵，加速器庞大的体积意味着科学家们必须到拥有这种大型设备的地方去排队等候使用X射线来做实验。因此利用这种光的渴望受到抑制。



科学家们早在理论上证明加速器的体积是可以缩小的（刊登在2005年出版的《自然》杂志），日本立命馆大学的Shiga光子生产实验室（Shiga Photon Production Laboratory）经过15年的努力，成功研制出一种小型的、可以放入实验室的微型同步加速器光源——MIRRORCLE-6X，并已经开始在市场上出售。光子生产实验室准备将MIRRORCLE-6X的性能提高到一个更高的水平，并将其系列产品推向市场。

MIRRORCLE-6X的储存环直径为60厘米，整套机器很容易放入实验室，使用新型的电子注入技术，它能产生能量达到几百万电子伏特的X射线。直径在几十米到数百米的大型同步加速器一般也产生出这个数量级的X射线。通过几个新颖的创新，MIRRORCLE-6X达到异常性能，同步光的生产效率非常高，而且有效地利用空间。MIRRORCLE-6X发射出对许多应用理想的宽带X射线。值得注意的是与常规X射线成像相比它的相衬成像能力，生物软组织随时可以看到，到同时可以将金属、塑料和橡胶部件成像的非破坏性试验。

MIRRORCLE-6X的迷人之处在于用与大型加速器相比，较低的费用就可获得同步加速器的光。每台MIRRORCLE-6X的销售价格为250万美元，虽然绝大多数实验室短期内仍难以承受，但参与了这台机器研制的Hironari Yamada教授说，从半导体制造商到制药公司的许多私人公司都在排队购买这一设备。世界上最小的同步加速器前途光明。

光子生产实验室发展简史 [▶ Back](#)

1989年 - 提出光子储存环概念

1989年 - 建造了第一个超导圆形储存环，被Hironari Yamada博士（右图）称为土AURORA。成功的建造鼓舞科学家们继续开展这一领域里的研究。

1996年 - Hironari Yamada 博士开发新的微型同步加速器理论，并提出建造专门生产硬X射线的台式同步加速器。潜在的商业可能性出现，建议成立光子生产实验室。

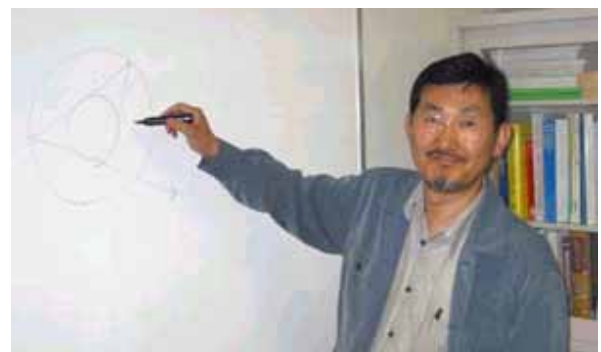


1997年 - 为将率先发明的MIRRORCLE技术商品化，光子生产实验室（左图）成立。

2000年 - 在日本立命馆大学Hironari Yamada博士的指导下，Yamada实验室建造了MIRRORCLE-20。12月，首次运行。

2003年 - 在日本立命馆大学Hironari Yamada博士的指导下，Yamada实验室建造了世界上最小的同步加速器，即台式MIRRORCLE-6X。12月，首次运行。

2004年 - 12月，首次在光子储存环中观测到激光，这一观测是根据Hironari Yamada 教授和Andrey Kleev博士发展的



理论进行的。

2005年 - 第一台MIRRORCLE-20SX装置率先将X射线光刻用于半导体工业。

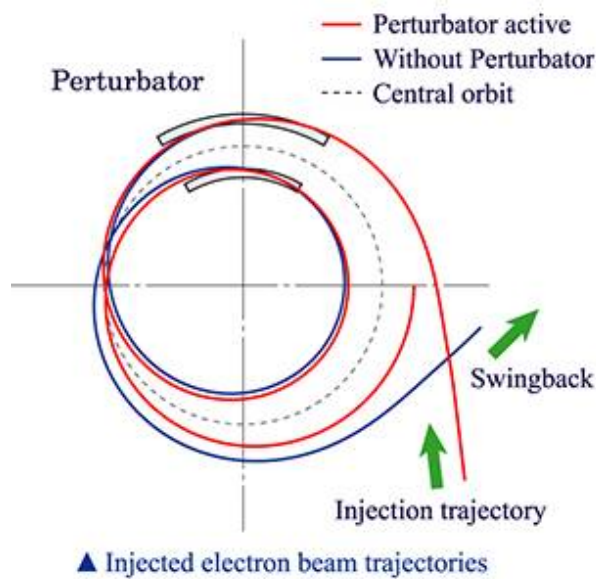
将来 - MIRRORCLE 技术继续发展并重新界定在实验室里可做什么。

MIRRORCLE同步加速器的原理 [▶ Back](#)

MIRRORCLE同步加速器有两个基本部件，一个古典的电子加速器和一个储存环。电子加速器发射电子并将其加速到设计水平，然后将它们注入储存环。根据MIRRORCLE同步加速器的配置，运转电子中的一个靶产生X射线，或者轨道周围的一个桶形反射镜收集远红外同步辐射。

电子加速器运行

MIRRORCLE技术概念简单，从任何意义上来说，电子加速器发射和加速电子并非非同寻常。在由脉冲速调管驱动的高频腔内强磁场的影响下，一台典型的发射机释放出电子。当电子重复穿过高频腔并被加速时，电子加速器的等磁场环境使电子在更大的轨道里运转。一旦电子达到电子加速器的设计水平，相当于电子运行的最大轨道，它们进入一个引出道并被注入到储存环。



储存环运行

MIRRORCLE技术储存环采用独特的技术解决小直径储存环的挑战。储存环采用常规磁铁在电子轨道整个周围形成磁场，因此电子轨道是个完整的圆。磁场提供促成理想轨道的聚焦行动。

不像通用同步加速器的束流寿命以小时或天衡量，储存环中的电子寿命相当短。但是，这的确不是一个像通用同步加速器中可应用的参数，因为电子加速器在不断向储存环里注入电子。

可能最重要的是在储存环中采用一种称为扰动器的设备，帮助把电子聚集在稳定的圆形轨道里。扰动器暂时更改电子轨道小弧的磁场，以便可以接收注入的电子。扰动器设计允许朝理论更改磁场同时不干扰理论轨道中的已有电子。扰动器形成轨道，以便引入电子能最后采用稳定圆形轨道。

储存环还有一个高频腔为电子提供补偿能量，以便它们在运转时保持设计的能量。为了使储存环有效运行，精心使电子加速器的注入过程、扰动器的运行和高频腔同步。最后储存环形成一个在稳定罩中运转电子的盘。

MIRRORCLE X-射线输出

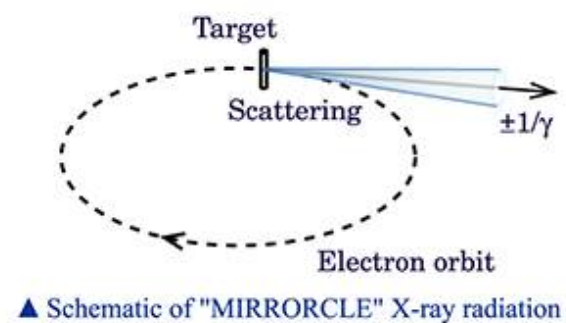
MIRRORCLE通过将微靶精心放入储存环里沿轨道运行电子的轨道来X射线。一些电子影响靶原子，并发射出韧致辐射X射线。电子轨道、靶原子的大小和位置最后形成广泛的对撞局面，最后发射出宽带X射线。

因为几何学和产生小的二次散射薄靶的原因，这些X射线以完全定义好的锥形束流模式发射出来。储存环上的3个X射线出口允许在实验的配置上具有机动性。

MIRRORCLE的X射线质量和亮度极高，因为发射点很小。在许多情况下，亮度可与安装的大的同步加速器设施如SPRING-8相比。锥形束流X射线还具有高级的空间相干性。MIRRORCLE靶的运行与典型的X射线光源如X射线管和直线加速器有很大不同，区别在于微型靶不吸收大量的能量，因此没有加热问题。此外，电子在储存环中的再循环导致X射线的高转换效率。MIRRORCLE产品提供不同靶的配置和功率水平。

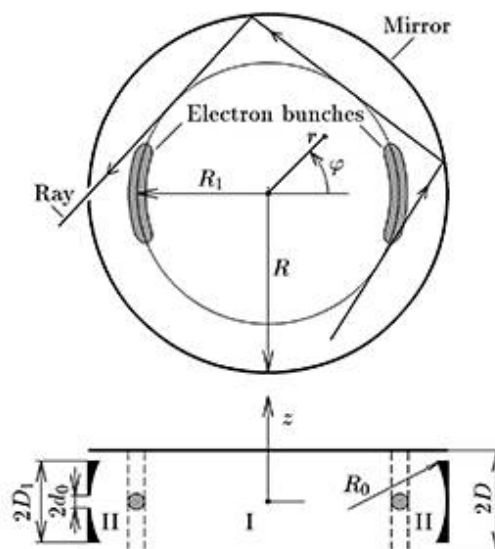
MIRRORCLE 远红外辐射 (FIR) 输出

一些MIRRORCLE产品的配置包括光子储存环 (PhSR)。这是个极为精密的桶形反射镜，在电子轨道周围有个反射内面。

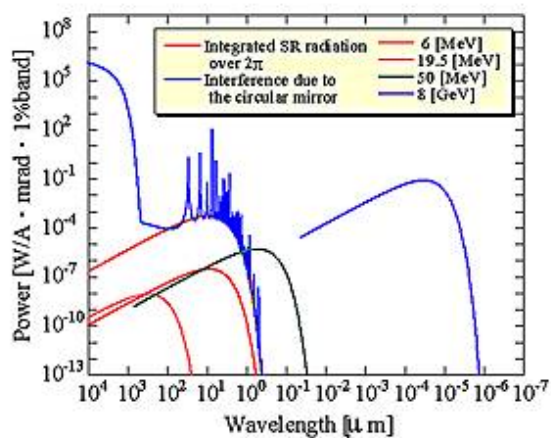




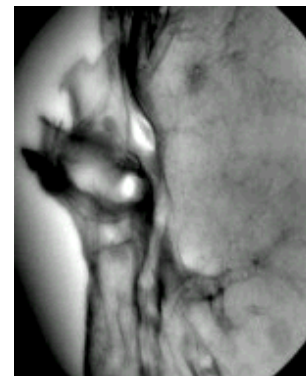
PhSR收集电子轨道整个周围的同步辐射，反射镜中的一个孔允许收集到的辐射逃逸。一个特殊形状的第二反射镜将辐射从孔引导到其他反射镜，后者将辐射引导到储存环上的输出出口。



光子储存环的一个关键特点是将收集到的辐射反射回到沿轨道运行的电子中。在某些情况下，这个配置引起激光并使远红外线辐射输出增加几个数量级。



MIRRORCLE-6X简介 ▶ [Back](#)



MIRRORCLE-6X是世界上最小的同步加速器，小到可以安装在工业和实验室的环境里，但功率又大到足以满足许多对X射线的需要。它利用6 MeV电子与钨微靶对撞通过韧致辐射产生亮的宽带X射线。标准尺寸1微米的靶可减少到开展应用所需要的0.1微米，并以新的性能价格比水平，使拥有一台这样的同步加速器成为现实。MIRRORCLE-6X是个产品，随时可满足客户的需要。（右上图为MIRRORCLE-6X 获得的肺成像）

MIRRORCLE-6X参数

同步加速器类型	弱聚焦精密圆形机器
电子能量	6 MeV
外径	60 cm
电子轨道半径	15 cm
RF频率	2.45 GHz
连续波速调管功率	10 kW
谐波	8
重量	~0.5 t
临界波长	300 μm
带光学反射镜的红外线功率	可选择
束流寿命	10 - 20 ms
注入方法	1/2 整数共振
注入重复率	400 Hz
注入器类型	古典电子加速器
电子能量	6 MeV
峰值电流	100 mA
外径	60 cm
重量	~0.5 t
X射线发射配置	韧致辐射1 μm Φ 靶 可选0.1 μm Φ 靶
X射线能区	10 keV - 6 MeV
X射线积分功率	$> 10^{14}$ 光子通亮/s/0.1% λ
亮度	$> 10^{10}$ 光子/秒/mrad ² /0.1% λ
辉度	$> 10^{16}$ 光子/秒/mrad ² /mm ² /0.1% λ
辐照场	85 mrad
总功率	~150 kVA
控制系统	自动备用和运行 远程监视和诊断 紧急情况关机系统
标准价格	大约2500万美元

MIRRORCLE-6S简介 ▶ **Back**

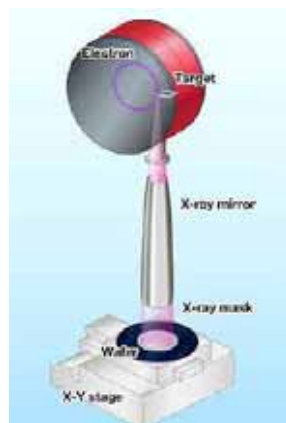
MIRRORCLE-6S为软X射线型MIRRORCLE-6X。实体上类似，它采用特殊靶获得所需结果。

MIRRORCLE-6S参数

同步加速器类型	弱聚焦精密圆形机器
电子能量	6 MeV
外径	60 cm
电子轨道半径	15 cm
RF频率	2.45 GHz
连续波速调管功率	10 kW
谐波	8
重量	~0.5 t
临界波长	300 μ m
带光学反射镜的红外线功率	可选择
束流寿命	10 - 20 ms
注入方法	1/2整数共振
注入重复率	400 Hz
注入器类型	古典电子加速器
电子能量	6 MeV
峰值电流	100 mA
外径	60 cm
重量	~0.5 t
X射线发射配置	晶体靶或波带片靶
X射线能量范围	10 keV - 30 KeV
X射线积分功率	$> 10^{14}$ 光子通亮/秒/0.1% λ
亮度	$> 10^{14}$ 光子/秒/mrad ² /0.1% λ
辉度	$> 10^{16}$ 光子/秒/mrad ² /mm ² /0.1% λ
辐照场	10 mrad
总功率	~150 kVA
控制系统	自动备用和运行 远程监视和诊断 紧急情况关机系统
标准价格	大约270万美元

MIRRORCLE-20SX简介 ▶ **Back**

MIRRORCLE-20SX的目标之一是满足半导体工业对利用X射线进行光刻的需要。下一步要生产更小的集成电路就要从极度的紫外线转为X射线。但许多X射线源并不具备满足这一要求高功率应用的能力。MIRRORCLE-20SX可在25mm×25mm区域发送所需要的功率。



MIRRORCLE-20SX参数

同步加速器类型	弱聚焦精密圆形机器
电子能量	20 MeV
外径	<80 cm
电子轨道半径	15 cm
RF频率	2.45 GHz
连续波速调管功率	10 kW
谐波	8
重量	~2 t
临界波长	8 μ m
带光学反射镜的红外线功率	1 mW/1%谱带@ 8mm
束流寿命	10 - 20 ms
注入方法	1/2整数共振
注入重复率	400 Hz
注入器类型	古典电子加速器
电子能量	20 MeV
峰值电流	100 mA
外径	1.3 m
重量	~1.75 t
X射线发射配置	相干穿越辐射10叠薄膜
X射线能量范围	1 keV - 5 KeV
X射线积分功率	> 50 mW/cm ²
亮度	N/A
辉度	N/A
辐照场	1英寸 ²
总功率	~200 kVA
控制系统	自动备用和运行 远程监视和诊断 紧急情况关机系统
标准价格	大约300万美元

► Back

高能所科研处制作，内容由侯儒成译自Shiga Photon Production Laboratory网及2005年3月3日出版的《自然》杂志

Webmaster@www.ihep.ac.cn
 本主页由高能物理研究所办公室、计算中心维护
 北京市918信箱 邮政编码：100049
 电话：(010)88235007 (010) 88236027
 IE5.0浏览器，800X600分辨率
 数据最后更新日期 05-03-21