

BFEL 装置短电子束团相干同步辐射 产生理论计算与实验设计*

朱俊彪 李永贵 谢家麟

(中国科学院高能物理研究所 100080)

摘要 分析和数值计算了利用 BFEL 装置的 30MeV 射频直线加速器提供的 4ps 电子束团产生的宽带连续的强相干同步辐射. 由讨论可知, 该束团可直接用以产生毫米波段相干同步辐射; 通过压缩束团宽度至 1ps 甚至亚 ps, 可获得宽带连续(覆盖远红外—毫米波段)的强相干辐射. 由于这种辐射位于相干辐射的珍稀或空白区, 因而具有极高的应用价值. 在该波长范围内, 相干辐射功率约为非相干辐射的 10^8 — 10^9 倍. 依赖于所选的波长范围和接收角, 辐射功率在几百微瓦至毫瓦量级. 最后给出辐射产生和束团测量的实验构想.

关键词 短与超短电子束团 强相干同步辐射源 远红外—毫米波宽带连续谱

1 引言

在磁场中运动的相对论性电子束团沿其圆形轨道切向发射所谓同步辐射(SR), 其特征是连续谱、高亮度、高方向性、高偏振度、典型的脉冲时间结构. 然而 SR 不是相干光, 在远红外端强度极低. 早期研究^[1]表明, 当电子束团长度近于或小于辐射波长时, 则它们发射兼有相干辐射和同步辐射特征的辐射, 所谓相干同步辐射(CSR). 1982 年 Michel 预言^[2], 利用储存环束团电子束可以产生远红外 CSR 增强效应, 其强度与束团电子数成正比. Michel 预言引起各国科学家的极大兴趣, 因为束团电子数在储存环中高达 10^9 — 10^{12} . 为检验该预言, 在 Daresbury 的 SRS 环上, Yarwood^[3]在 0.1—1mm 波长范围内观测 CSR 增强效应, 但只给出可能存在的结论; 在 BESSY 束团长度为 30mm 的环上, Schweizer^[4]在 0.01—0.667mm 波长范围内没有观测到任何 CSR 增强; 在 BNL 的 NSLS 束团长度为 300mm 的环上, Williams^[5]在 0.025—0.4mm 波长范围内相继得到否定的答案; 即使在 Cornell 大学的 20mm 束团长度的环上, Blum^[6]也没有探测到 CSR. 失败的原因后来发现是储存环电子束团长度(几厘米至几十厘米)太长和真空室传导壁对辐射波的抑制效应.

1998-12-07 收稿

* 国家自然科学基金(19875066), 国家高技术激光技术领域资助项目和高能所所长基金

实验上首次成功地观测到 CSR 不是在储存环上,而是在射频直线电子加速器(RF Linac). Tohoku 大学的 Nakazato 意识到, RF Linac 提供的电子束团长度比储存环短得多,仅几个毫米,更易观测到 CSR. 1989 年, Nakazato 和他的同事们首次在 Tohoku 大学 300MeV RF Linac 上成功地观测到 CSR 增强效应^[7]. 束能180MeV、束团长度2.5mm、束团电子数 1×10^6 的电子束穿过0.247T 弯铁磁场发射出波长范围覆盖0.4—2.2mm 的强 CSR, 辐射强度约为非 CSR 强度的 N_e 倍,与束流强度成二次方关系. 继而,他们又测得该束团的 CSR 谱^[8]和束团序列中相继束团之间的相干效应^[9]. CSR 波长范围覆盖0.16—3.5mm,由测出的束团分布推出束团长度为0.25mm,短于由加速器特性估计的束团长度2mm. CSR 增强也为 Cornell 大学的 Blum 及其同事们使用其 300MeV RF Linac 提供的2mm 电子束团所证实^[10]. 可见,利用短电子束团可产生覆盖亚毫米波至毫米波段的相干辐射源,辐射强度依束团电子数的不同而有5—12个数量级的增长.在上述波谱区,这种宽带连续的强相干辐射源在光物理,光化学领域具有极其广泛的应用价值.

CSR 的产生和测量与短(~ 1 ps)、超短电子束团(< 1 ps)的产生、诊断和应用紧密相关. 依据测量的 CSR 强度分布可推出产生它的微束团宽度提供了一种测量电子束团长度的新方法. 鉴于时间分辨方法如条纹相机的对亚 ps 束团分辨力不足、使用繁杂与售价昂贵,1991 年, Barry 建议应用超短激光脉冲测量技术——频率分辨的自相关技术测量相干渡越辐射(CTR)来诊断亚 ps 电子束团宽度^[11]. Stanford 大学 Wiedemann 研究组,在其 SUNSHINE 装置产生了迄今为止最短的电子束团(100fs),并利用研制的远红外 Michelson 干涉仪,通过测量 CTR 的干涉图成功地诊断该电子束团的宽度^[12, 13].

北京自由电子激光(BFEL)装置由热阴极微波枪、磁束团压缩系统、30MeV RF linac 和波荡器构成^[14, 15]. 其 ~ 4 ps 的束团电子束是潜在的远红外—毫米波相干电磁辐射源, BFEL 装置 ps 电子束团参数及其它相关参数如表 1 所示. 本文首先讨论 CSR 产生的辐射波长范围,据此估计在 BFEL 装置 ps 束团产生的辐射范围;然后从理论上数值计算高斯束团分布和矩形束团分布相应的 CSR 功率;最后给出实现远红外—毫米波 CSR 产生与束团宽度测量的实验示意图.

表 1 BFEL 装置 ps 电子束团相关特性

能 量	10—30MeV	微脉冲:	
发 射 度	$< 30\text{mm} \cdot \text{mrad}$	峰值电流	10—20A
能 散	$< 1\%$	脉冲宽度	3—4ps
宏脉冲:		束团电子数	$(6.3—12.5) \times 10^8$
脉冲宽度	$(3—4) \times 10^{-6}\text{s}$	射频频率	2856MHz
平均电流	110—220mA	其 它:	
重复频率	3.125Hz	弯铁磁隙	18mm
		弯铁场强	0.24T
		临界波长	$3.1 \times 10^{-6}\text{m}$

2 辐射波长范围

2.1 束团形状因子影响

令 $E_j(\lambda) \exp[i2\pi x_j/\lambda]$ 为距离微束团 R 处观测点测量的场强, 其中 $x_j = R + r_j$, R 为束团中第 j 个电子距束团中心的矢, r_j 是第 j 个电子距离观测点的矢量, 则按照相干同步辐射理论, 沿圆形轨道运动的 N_e 个束团电子沿轨道切线方向发射的, 而在观测点测得波长为 λ 的 CSR 强度如下:

$$P_{\text{CSR}}(\lambda, \sigma_L) \approx \left| \sum_{j=1}^{N_e} E_j(k) \exp(ik_j r) \right|^2 =$$

$$N_e P_e(k) + P_e(k) \sum_{j=1}^{N_e} \exp(ik_j (r_j - r_i) \cdot \mathbf{n}) =$$

$$P_{\text{ISR}}(\lambda) [1 + (N_e - 1) f(\lambda, \sigma_L)], \quad (1)$$

$$\text{式中,} \quad f(\lambda, \sigma_L) = \left| \int dz S(z) \exp\left(i \frac{2\pi}{\lambda} \sigma_L z\right) \right|^2, \quad (2)$$

称为归一化束团形状因子, 它是辐射波长 λ 和束团纵向长度 σ_L 的函数, 是束团电子密度分布函数 $S(z)$ 的付氏变换. $P_{\text{ISR}}(\lambda) (= N_e P_e(\lambda))$ 是单束团内 N_e 个电子发射的非相干 SR (ISR) 强度, $P_e(\lambda)$ 是单电子发射的 SR 强度. 由 (1) 式可见, 1) CSR 强度与束团电子数 N_e 的平方, 即与束流强度的平方成正比; 而 ISR 强度与束团电子数 N_e 的一次方成正比. N_e 在射频直线加速器和存储环中分别高达 $10^5 - 10^9$ 和 $10^8 - 10^{12}$. 可见 CSR 强度较之 ISR 强得多. 2) CSR 强度与归一化束团形状因子 $f(\lambda, \sigma_L)$ 成正比. $f(\lambda, \sigma_L)$ 的值变化范围为 0—1, 若 $f(\lambda, \sigma_L)$ 近似等于 0, 则 CSR 强度变成 ISR 强度.

由束团形状因子 $f(\sigma_L, \lambda)$ 和电子密度分布函数 $S(z)$ 可估计 CSR 的辐射波长范围. 假定电子密度分布函数呈高斯分布, $f(\lambda, \sigma_L) = \exp[-(2\pi\sigma_L/\lambda)^2]$. 当 $\lambda = \sigma_L$ 时, $f(\lambda = \sigma_L) < 10^{-8}$, CSR 增长近似等于 0; 而当 $\lambda = \sqrt{2\pi}\sigma_L$ 时, $f(\lambda = \sqrt{2\pi}\sigma_L) \approx 10^{-3}$, CSR 增长可测. 故规定可测 CSR 强度对应的辐射波长在短波端应满足条件:

$$\sqrt{2\pi}\sigma_L \leq \lambda. \quad (3)$$

2.2 真空室壁的屏蔽效应

偶极磁铁内用以传输电子束的真空室的传导壁对 CSR 的长波有很强的抑制作用. 实验表明, 在辐射波长大于等效束团长度 $\sqrt{2\pi}\sigma_L$ 的波谱范围内, CSR 强度远比理论预言 ($\propto 1/\lambda^{1/3}$) 下降得快. 沿磁极方向上, 真空波导内 TE 模的截止波长条件 $k_c h = \pi$ 可用来估计在其内尚可传输的波长最长的 CSR, 即磁极内真空室上、下金属板间距 h 至少允许所产生的辐射传输半个波长. 按照 Jackson 同步辐射理论, 对应于该固定波长的辐射的扩散角为 $\theta_c \approx (3c/\omega\rho)^{1/3} = \gamma^{-1}(\omega_c/\omega)^{1/3}$. 其中 ρ 为电子在磁场中的轨道半径, $\omega_c = 3\gamma^3(c/\rho)$ 是临界频率. 对于任何扩散角, 频率超过 ω_c 的辐射均可忽略. 由于相对论能量因

子 γ 相当大, 可知远红外-毫米波 CSR 的发射角相当大. 合并波导截止条件与低频角扩散公式可得真空室对其内传输的低频 CSR 的屏蔽条件:

$$\lambda \leq 2h \sqrt{h/\rho}. \quad (4)$$

合并(3)和(4)可得, 在弯铁内真空室中可传输的电子束团发射的 CSR 的波长范围是:

$$\sqrt{2\pi\sigma_L} \leq \lambda \leq 2h \sqrt{h/\rho}. \quad (5)$$

依据公式(5)和表1给出的BFEL射频直线加速器提供的电子束团和偶极磁铁工作特性, CSR范围是: $3\text{mm} \leq \lambda \leq 12.5\text{mm}$.

3 相干辐射功率估算

当辐射波长短于束团长度时, 微束团发射非相干辐射, 即同步辐射, 其功率简单地是单电子辐射功率的 N_e 倍, $P_{\text{ISR}}(\lambda, \sigma_L) = N_e P_e$. SR 具有极宽的光谱范围, 光能量主要集中在短波区, 辐射谱通常以临界波长 $\lambda_c (= 4\pi\rho/3\gamma^3)$ 表征, 临界波长 λ_c 两侧的能量相等. 对BFEL, $\lambda_c \approx 3.10 \times 10^{-6}\text{m}$. Schwinger 方程给出在磁场中沿半径为 ρ 的圆形轨道运动的、平均束流强度 I 的电子束在所有垂直角 ψ 内、每单位水平扩散角 θ 内、每单位波长内发射的 SR 功率为^[16]:

$$P_{\text{ISR}}(\lambda) = \frac{3^{5/2} ec\gamma^7}{160\pi^2 \rho^2} I y^3 \left[\int_y^\infty K_{5/3}(\eta) d\eta \right], \quad (6)$$

式中, $y = \lambda_c/\lambda$, $K_{5/3}(\eta)$ 是分数阶变型 Bessel 函数, $P_{\text{INC}}(\lambda)$ 单位是 $\text{W}/\text{mm} \cdot \text{mrad}\theta$. 方括号中的项称为普适函数, 普适函数常常按 $\omega/\omega_c \ll 1$, $\omega/\omega_c \gg 1$ 近似展式使用^[17]. 为使所讨论问题足够精确, 将利用无穷级数将普适函数展开如下^[18]:

$$\int_y^\infty K_\nu(\eta) d\eta = h \left\{ \frac{e^{-y}}{2} + \sum_{m=1}^\infty e^{-y \cosh(mh)} \frac{\cosh(\nu mh)}{\cosh(mh)} \right\}, \quad (7)$$

式中, ν 为 Bessel 函数的分数阶次. 电子束团产生的 CSR 强度和由此推得的该束团的脉冲宽度与束团形状因子 $f(\lambda, \sigma_L)$, 或者束团电子分布 $S(z)$ 有关. 对高斯型电子束团分布:

$$S(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_L}} \exp[-(z^2/2\sigma_L^2)], \quad (8a)$$

$$f(\lambda, \sigma_L) = \exp[-(2\pi\sigma_L/\lambda)^2], \quad (8b)$$

对矩形或者均匀电子束团分布:

$$S(z) = \begin{cases} 1/2\sigma, & \text{for } |z| \leq \sigma_L, \\ 0, & \text{for others,} \end{cases} \quad (9a)$$

$$f(\lambda, \sigma_L) = [\sin(2\pi\sigma_L/\lambda)/(2\pi\sigma_L/\lambda)], \quad (9b)$$

对高斯束团分布和矩形束团分布, 其等效束团长度分别是 $\sigma_{\text{eff}} = \sqrt{2\pi}\sigma_L$, $\sigma_{\text{eff}} = 2\sigma_L$.

将 ISR 功率(6)式和束团形状因子 $f(\lambda, \sigma_L)$ (8b)式和(9b)式分别代入(1)式, 利用数值计算求得 BFEL 装置电子束团从特征波长——毫米波范围内发射的 CSR 功率和 ISR 功率随辐射波长变化的曲线如图1和图2所示. 对 $\sigma_L = 1.2\text{mm}$, $I_a = 1.55 \times 10^{-6}\text{A}$,

$N_e = 6.3 \times 10^8$, 和 $\sigma_L = 1.2 \text{mm}$, $I_a = 3.1 \times 10^{-6} \text{A}$, $N_e = 1.25 \times 10^9$ 两种束团, 分别对应于微脉冲的最小和最大峰值束流强度 10A 和 20A. 由图都可以看出: 1) 辐射波长略大于有效束团长度时, CSR 功率急剧增长为最大值; 此后在相当宽的范围内随波长缓慢下降; 2) 在上述波段范围(毫米波段)内, CSR 功率近似为 ISR 功率的 N_e 倍, 即束团电子数倍; 3) 当辐射波长小于有效束团长度, 相干辐射增强效应消失. 4) 提高束团电流可增强 CSR 功率.

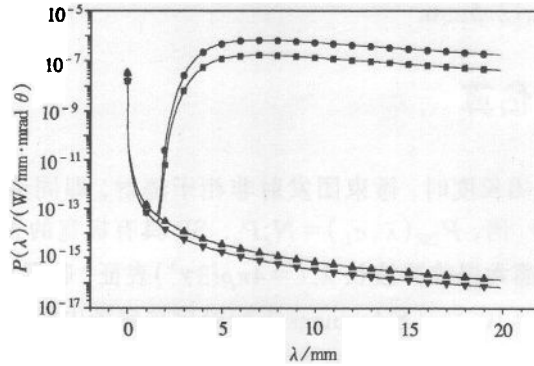


图1 4ps 高斯束团发射的 CSR 和非 CSR 功率与辐射波长和束流的关系
上两条曲线对应 $3.1 \mu\text{A}$ 和 $1.55 \mu\text{A}$ 束团的 CSR, 下两条是相应的非 CSR.

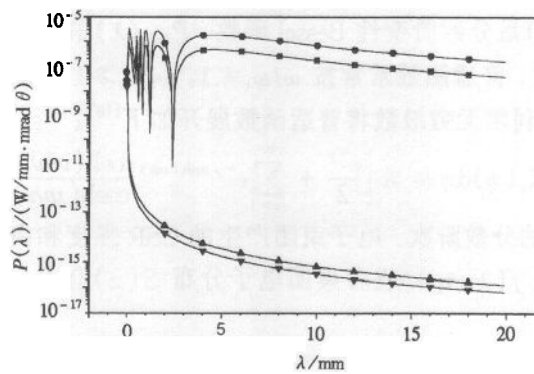


图2 4ps 矩形束团发射的 CSR 和非 CSR 功率与辐射波长和束流的关系
上两条曲线对应 $3.1 \mu\text{A}$ 和 $1.55 \mu\text{A}$ 束团的 CSR, 下两条是相应的非 CSR.

利用微束团磁压缩器(即 α 磁铁)的束团压缩功能可将微脉冲宽度压缩至更短(3, 2, 1ps)、甚至超短($< 1 \text{ps}$)束团. 在 α 磁铁内, 电子轨道特性适于束团过压缩, 能量高的电子比能量低的电子运行更长的路径. 因此, 与在射频枪出口相反, 在 α 磁铁出口, 低能电子在前, 高能电子在后. 这种速度分布可能导致在 CSR 产生点产生最短束团. 将 4ps 的高斯和矩形密度分布的束团压缩成 3, 2, 1ps 的短电子束团发射的 CSR 功率随束团宽度和辐射波长变化的关系如图 3 和图 4 所示. 由图可见, 1) 压缩束团宽度至 1ps 或者亚 ps, 辐射功率最大值向短波端方向延伸入远红外区, 即短束团可产生强相干远红外辐射; 2) 压缩束团宽度有利于增强 CSR 输出功率, 即束团越短, CSR 峰值功率越高. 远红外谱区至

今仍是强相干光源的空白区,利用超短束团产生的宽带连续的强相干远红外辐射源,必将在生命科学、材料科学、光谱学等许多领域开拓新的研究领域.上述计算中,真空室传导壁对 CSR 在长波端的抑制效应未纳入考虑;若考虑,则可利用(5)式将 CSR 长波端对应波长之后削去.

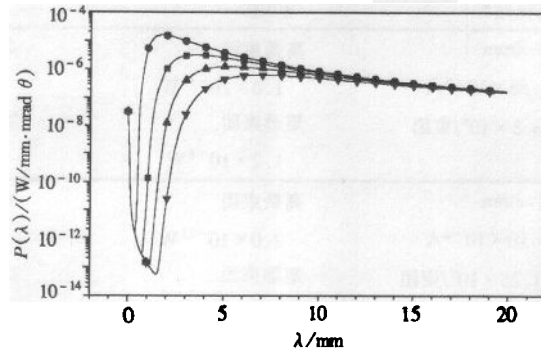


图 3 压缩了的束团发射的 CSR 功率与束团宽度和辐射波长的关系
图中曲线自上而下分别对应束流 $3.1\mu\text{A}$ 脉宽 1, 2, 3, 4ps 的高斯束团.

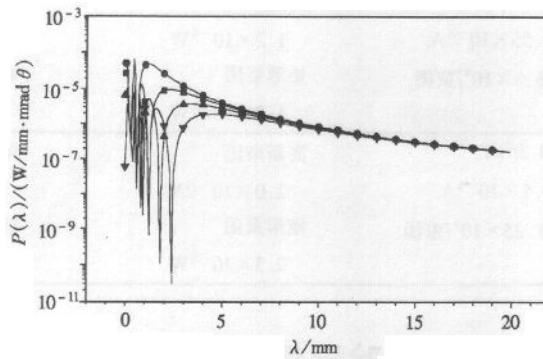


图 4 压缩了的束团发射的 CSR 功率与束团宽度和辐射波长的关系
图中曲线自上而下分别对应束流 $3.1\mu\text{A}$ 脉宽 1, 2, 3, 4ps 的矩形束团.

在 $0.0031\text{--}10\text{mm}$ 波长范围内和 200mrad 的水平接收角范围内,数值计算出相干同步辐射和非相干同步辐射总功率如表 2 和表 3 所示.两表内的数据仍是对平均束流强度分别为 $I_a = 1.55 \times 10^{-6}\text{A}$, $N_e = 6.3 \times 10^8$ 和 $I_a = 3.1 \times 10^{-6}\text{A}$, $N_e = 1.25 \times 10^9$ 的两种束团,区别是表 2 计算得是 4ps 的未压缩束团,而表 3 则是对被压缩成 1ps 的短束团.计算结果表明:1)均匀束团分布的电子束团发射的 CSR 强度比高斯束团分布强,4ps 时强度比近似为 4,而 1ps 时强度比近似为 2;2)压缩后的束团比未压缩的束团产生的 CSR 功率强得多,近似增长 1 个数量级.

对比图 1 和图 2 及图 3 和图 4 发现,矩形束团在辐射波长短于束团长度时有强度起伏很大的辐射,原因是矩形束团分布对应的形状因子是具有振荡特性的 sinc 函数.而当辐射波长长于束团长度时,其振荡特性被 CSR 增强效应所调制.另外,基于普适函数特性, Schwinger 公式(6)在临界波长附近具有极值.图 1—图 4 的数值计算范围正是从临

界波长 $3.1 \times 10^{-3} \text{mm}$ (第一数据点) 至微波 (20mm). 由图可见, 远红外或毫米波端 CSR 增强效应大于中红外端 ISR 强度. 还应当指出, 利用上述精确展式的数值计算结果与利用在 $\omega/\omega_c \ll 1$ 条件下所得的 ISR 近似公式^[19] 的计算结果基本一致.

表2 4ps束团发射的ISR和CSR功率(计算值)

束团特性	ICSR	CSR
束团1	高斯束团	高斯束团
	$1.0 \times 10^{-11} \text{W}$	$153 \times 10^{-6} \text{W}$
	矩形束团	矩形束团
	$1.2 \times 10^{-8} \text{W}$	$660 \times 10^{-6} \text{W}$
束团2	高斯束团	高斯束团
	$2.0 \times 10^{-11} \text{W}$	$612 \times 10^{-6} \text{W}$
	矩形束团	矩形束团
	$2.5 \times 10^{-8} \text{W}$	$2.63 \times 10^{-3} \text{W}$

表3 1ps束团发射的ISR和CSR功率(计算值)

束团特性	ICSR	CSR
束团1	高斯束团	高斯束团
	$1.2 \times 10^{-8} \text{W}$	$2.27 \times 10^{-3} \text{W}$
	矩形束团	矩形束团
	$1.2 \times 10^{-8} \text{W}$	$5.57 \times 10^{-3} \text{W}$
束团2	高斯束团	高斯束团
	$2.0 \times 10^{-11} \text{W}$	$9.04 \times 10^{-3} \text{W}$
	矩形束团	矩形束团
	$2.5 \times 10^{-8} \text{W}$	$22.2 \times 10^{-3} \text{W}$

4 辐射产生与束团测量实验设想

利用BFEL装置的短电子束团远红外和毫米波CSR产生与束团宽度测量实验示意图如图5所示. BFEL装置的短电子束源由热阴极微波电子枪、磁束团压缩系统和30MeV直线加速器构成. 微波腔内热阴极发射的电子束, 在速调管馈送的2856MHz射频功率激励下, 形成 $4 \times 10^{-6} \text{s}$ 宏脉冲包络下相宽约 20° , 相距约350ps, 约 4×2856 个微脉冲串. 大多数电子集中在每个微束团的高能端, 低能电子拖得尾巴很长. 为有效压缩脉宽, 将束团注入兼有脉宽压缩和动量分析作用的 α 磁铁内, 脉宽被压缩到约4ps, 脉冲电流10—20A, 束团电子数约 $(6.3—12.5) \times 10^8$. 之后, 射入3m长的加速管加速至~30MeV. 出射的相对论性电子束团注入 45° 偏转磁场以产生CSR, 弯铁内真空室隙距19mm, 电子束规道半径150mm. 相干同步辐射沿规道切线射出, 特征波长 $\lambda_c \approx 3.104 \times 10^{-6} \text{m}$. 当辐射波长 $\lambda \gg \lambda_c$. 即在远红外区或毫米波区时, 低频辐射的水平发射角 ($\approx 0.7816[\lambda/\rho]^{1/3}$) 比垂直发射角 ($\approx 1/\gamma$) 大得多. 如对应于亚毫米波至毫米波辐射, 发射角约从60—300mrad. 在距发射点约400mm处, 使用一偏轴抛物面镜收集约200mrad内

产生的辐射. 辐射经面镜变成平行辐射又经低传输损耗的紫铜波导管引至实验室进行测量. 实验分两步进行. 初期实验使用设计的远红外聚光锥将辐射注入宽波带、高响应、低噪声热释电探测器测量其辐射强度. 进一步的实验是利用光学自相关方法诊断电子束团宽度. 利用设计的工作在长波长的迈克尔逊干涉仪测出 CSR 强度作为干涉仪动镜移动距离的函数, 即 CSR 干涉图. 干涉图中央主极大的 $FWHM$ 近似为束团的平均长度. 进而由所得的干涉图籍助付氏变换计算出电子束团的辐射谱.

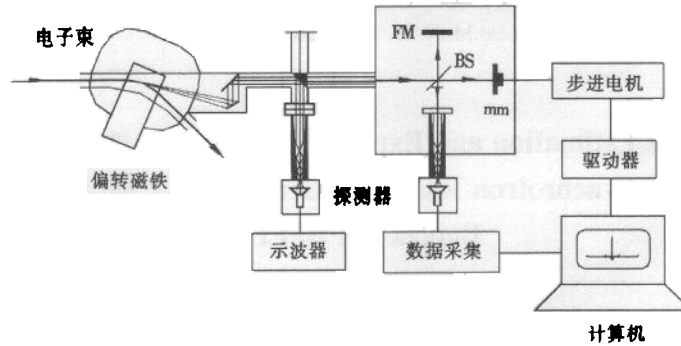


图 5 利用 BFEL 装置的短电子束团远红外和毫米波 CSR 产生与束团宽度测量实验示意图

5 结论

分析和数值计算了利用 BFEL 装置的 30MeV 射频直线加速器提供的 4ps 电子束团产生宽带连续的强相干同步辐射, 假定束团分别呈高斯和矩形束团分布. 由讨论可知, 该束团可直接用以产生毫米波段(3mm—12mm)相干同步辐射; 通过压缩束团宽度至 1ps 甚至亚 ps, 可获得宽带连续(覆盖远红外——毫米波段)、强相干辐射. 在该波长范围内, 相干辐射功率约为非相干辐射的 10^8 — 10^9 倍. 依赖于所选的束团分布、波长范围和收集角, CSR 功率在几百微瓦至几十毫瓦量级. 最后给出 CSR 产生和束团宽度测量的实验设计示意图.

参考文献(References)

- 1 Nodvick J S, Saxon D S. Phys. Rev., 1954, **96**:180—184
- 2 Michel F C. Phys. Rev. Lett., 1982, **48**:580—583
- 3 Yarwood J, Scuttleworth J, Hasted J B et al. Nature, 1984, **312**:742—744
- 4 Schweizer E, Nagel J, Braun et al. Nucl. Instr. and Meth. A, 1985, **239**:630—634
- 5 Williams G, Hirschmugl C, Kneeder E et al. Phys. Rev. Lett., 1989, **62**:261—263
- 6 Blum E B, Siemann R, Auston D et al. Nucl. Instr. and Meth. A, 1983, **207**:321—325
- 7 Nakazato T, Oyamada M, Niimura N et al. Phys. Rev. Lett., 1989, **63**:1245—1248
- 8 Ishi K, Shibata Y, Takahashi T et al. Phys. Rev A, 1991, **43**(10):5597—5604
- 9 Shibata Y, Takahashi T, Ishi K et al. Phys. Rev. A, 1991, **44**(6):R3445—R3448
- 10 Blum E B, Happek U, Sievers V. Nucl. Instr. and Meth. A, 1991, **307**:568—576
- 11 Barry W. CEBAF Preprint No. PR-91-012, SURA, Newport News, VA, 1991
- 12 Wiedemann H. Observation of Coherent Radiation from Sub-ps Electron Bunches, In: Blum E B, Murphy J B ed.

- Micro Bunch Workshop, AIP306, New York: AIP Press, 1996, 293—306
- 13 Lihn H C, Bocek D, Kung P et al. Phys. Rev. E, 1996, 53(6):6413—6418
- 14 XIE JiaLing et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1994, 18:763
(谢家麟等. 高能物理与核物理, 1994, 18:763)
- 15 XIE JiaLing et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1994, 18:572
(谢家麟等. 高能物理与核物理, 1994, 18:572)
- 16 Green G K. NLSL - BNL Report 50522, 1976, 1—61
- 17 Wiedemann H. Particle Accelerator Physics, Vol. 1 Berlin: Springer - Verlag, 1993
- 18 Kostroun V O. Nucl. Instr. and Meth., 1980, 172:371—374
- 19 Murphy J B, Krinsky S. Nucl. Instr. and Meth. A, 1994, 346:571—577

Theoretical Estimation and Experimental Design of High Intensity Coherent Synchrotron Radiation Generated by Short Electron Bunches at BFEL *

ZHU JunBiao LI YongGui XIE JiaLin

(Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract Broad band continuous and high intensity coherent synchrotron radiation (SR) emitted from the 4ps electron bunches provided by the 30MeV linac of BFEL setup is analyzed and numerically calculated. High intensity coherent SRs in the mm-wave region and in the far-IR to mm-wave region can be obtained respectively by directly using these bunches and by compressing their pulse widths to 1ps or sub-ps. The later as a coherent source of radiation is of high value in applications because it is within the wavelength region where the coherent radiation source is lacked. The CSR power is enhanced by a factor of 10^8 — 10^9 , approximately the number of electrons per bunch, compared to incoherent SR. The coherent SR power is within hundreds micro-watts to milli-watts dependent upon the chosen wavelength and gathering angle regions. Experimental designs on CSR generation and bunch length measurement are presented.

Key words short and ultra-short electron bunch, high coherent synchrotron radiation source, far-infrared to mm - wave spectrum

Received 7 December 1998

* Project supported by National Nature Science Foundation of China (19875066), National High Technology—Laser Technology Field Program, and Director Foundation of Institute of High Energy Physics