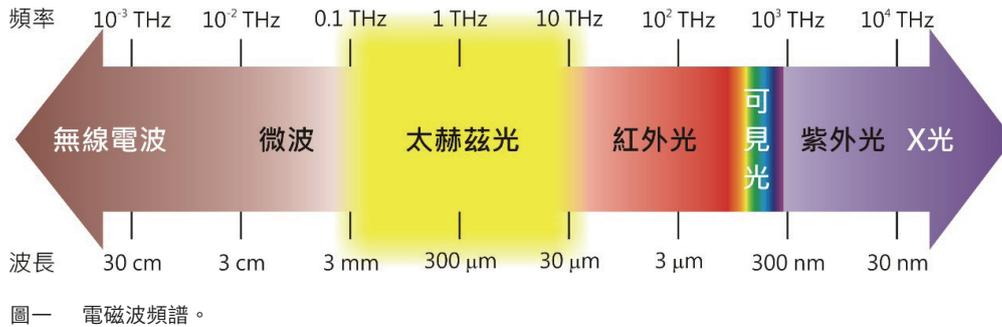


鮮為人知的太赫茲光源

李安平、周明昌 博士
國家同步輻射研究中心 線型加速器小組

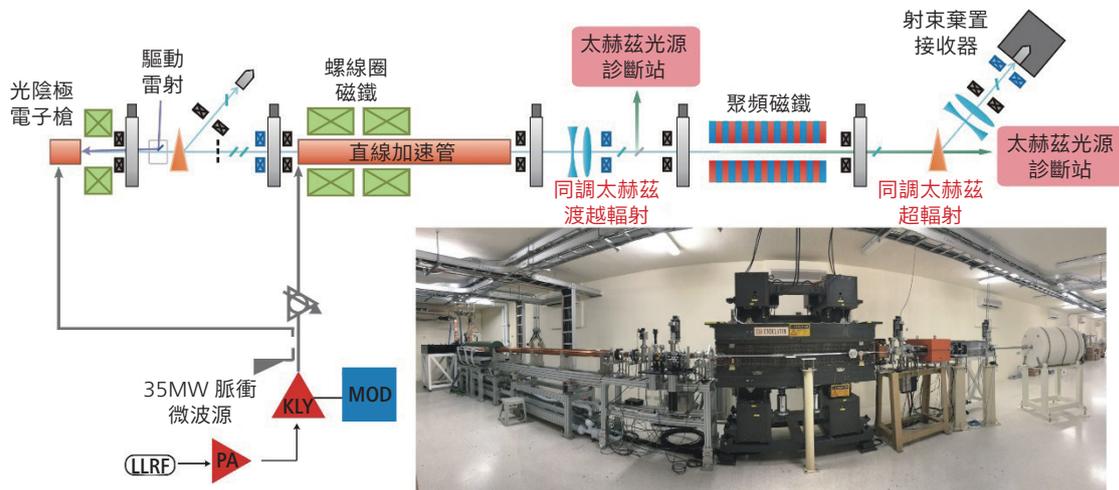


國家同步輻射研究中心的兩座加速器光源：台灣光源 (Taiwan Light Source, TLS) 與台灣光子源 (Taiwan Photon Source, TPS)，為我國規模最大的大型共用實驗設施。電子束以近乎光速的速度在環型加速器中繞圈進而產生高亮度光源，其波長涵蓋硬 X 光、軟 X 光、紫外光與紅外光，得以應用於各科學領域的尖端研究。而波長介於紅外光與微波之間的太赫茲 (Terahertz, THz) 光源在物理、化學、材料、生醫影像等科學研究，乃至於海關安檢、未來 6G 無線通訊等領域亦是相當重要且具高需求的獨特光源，因此如何有效的產生和探測太赫茲光源是一個重要的課題。

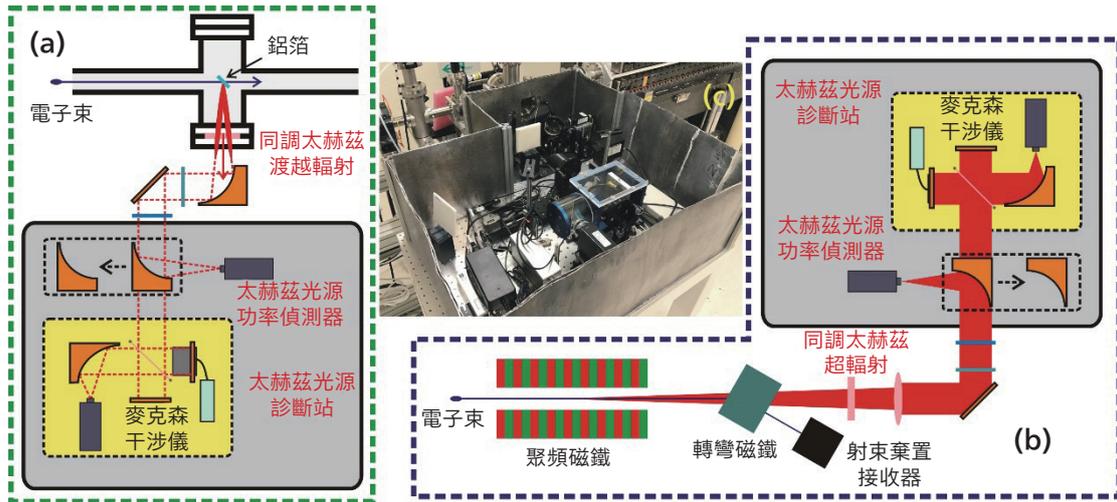
太赫茲光源，或稱 THz 波、兆赫茲輻射，係指震盪頻率落在 10^{12} Hz 附近，其頻率範圍包含 0.1 ~ 10 THz 的電磁波，對應的波長是 3 mm 到 30 μm (圖一)。目前產生高能量的太赫茲光源大致可分為二類，一種是使用雷射的方式，例如將高能量雷射打在非線性晶體經由光整流或是非線

性差頻的方式來產生。另外亦可通過雷射光游離氣體的方式產生太赫茲光源，或是使用加速器，利用高能電子束通過週期性磁場產生同步輻射的機制，獲得高能量的太赫茲光源。

近年來本中心發展利用加速器技術建立一套太赫茲波段的同調超輻射光源 (coherent superradiant THz radiation)，或稱同調聚頻磁鐵輻射 (coherent undulator radiation)。有別於 TPS 和 TLS 的環型加速器結構，同調超輻射太赫茲光源是由一套高亮度光注射器系統與一座週期性的磁鐵陣列即所謂的聚頻磁鐵組成 (圖二)。座落於同步輻射研究中心加速器測試區內的高亮度光注射器由一套配置以超快紫外光雷射激發光陰極射頻電子槍 (Laser-driven Photo-cathode RF Gun) 以及一支 5.2 公尺，S 波段的等梯度射頻行波直線加速管 (S-band Constant Gradient RF Traveling-wave Linear Accelerating Structure) 所組成。另外有一組 Canon 公司製造的調速管 (Klystron) 以及自行組



圖二 高亮度注射器與同調太赫茲光源系統。



圖三 太赫茲光源診斷系統示意圖：(a) 同調太赫茲渡越輻射；(b) 同調太赫茲超輻射；(c) 太赫茲診斷站照片。

裝的高電壓脈衝調制器所構成的高功率微波系統，提供 35 百萬瓦 (MW) 電磁波能量分別給電子槍與直線加速管加速電子。聚頻磁鐵是由中心磁鐵組同仁自行設計製造的一座 18 個周期、10 公分周期長度、總長約 2.2 公尺長的平面式磁鐵陣列，利用一種稱之為射頻電子束團壓縮的技術，再藉由調控電子束團進入直線加速管的相位，可同時將電子束團長度壓縮至數十微米（等同時間上約數百飛秒）且將電子能量加速至數十個百萬電子伏特 (MeV)。將此飛秒等級的電子束團注入聚頻磁鐵內，可發射出同調太赫茲光源，成為亮度極高的太赫茲光源。

為了診斷太赫茲光源的特性，我們建置了一套太赫茲光源診斷系統。其中除了太赫茲光源能量外，也包含了利用干涉儀系統解析太赫茲光源頻譜，更可在量測過程中獲得電子束長的資訊。將飛秒長度的電子束團通過金屬薄片時所產生太赫茲波段的同調渡越輻射 (Coherent Transition Radiation, CTR) 送入麥克森干涉儀 (圖三 (a))，透過 CTR 自相產生的干涉訊號進行傅立葉轉換後，可得到該輻射的頻譜分佈。此外也可從干涉訊號的資料中，提取出電子束束團長度

的資訊。同樣的也可使用此方式來獲得太赫茲超輻射的頻譜 (圖三 (b))。目前高亮度光注射器系統可產生能量約 17 MeV，束長約 500 飛秒的超短電子束。經過聚頻磁鐵後可產生中心頻率為 0.6 THz、脈衝能量約 18 μ J 的同調太赫茲超輻射。

基於加速器技術產生的超輻射太赫茲光源是一種可調波長的光源，和傳統雷射藉由原子中束縛電子經受激輻射放大作用產生同調光的機制不同。超輻射太赫茲光源的發光介質是高能電子束，輸出波長可以透過調整電子束和電磁輻射交互作用的共振條件而改變。由於超輻射太赫茲光源具有超短時間尺度以及更好的時間同調性，使其在超快凝態物理、應用化學等領域有極高的應用價值，亦有機會可用於半導體、量子材料及生醫等領域的研究。國際上已有一些同步加速器設施進行建造以加速器來產生高品質的太赫茲光源，並提供給有需求的研究用戶使用。本中心目前除了提升太赫茲光源的性能與穩定性外，也正進行將加速器測試區改建為太赫茲光束線使用者設施，期許不久後能提供高品質高穩定性的太赫茲光源供用戶使用。

會議/課程

■ 2024 AFAD 亞洲加速器及偵測器論壇
Asian Forum for Accelerators and Detectors 2024 (AFAD2024)
(2024 年 4 月 17 日至 19 日)



■ 2024 小角度散射國際會議
XIX edition of the International Small-Angle Scattering Conference (SAS2024)
(2024 年 11 月 3 日至 8 日)

