

# 次毫米波與稀赫波技術 (Submillimeter-wave and THz Technology)

次毫米波與稀赫波被視為電磁頻譜上最後一個待開發的頻段，次毫米波波長範圍介於1000至100微米(頻率300 GHz – 3 THz)，稀赫波則頻率上達30 THz。由於次毫米波與稀赫波信號產生的困難、與傳播介質之強交互作用、且其在大氣中傳播時受水汽吸收之嚴重衰減，以往的應用僅侷限在電波天文觀測儀器、原子分子譜線研究，及遙感探測上。然而基於其短波長與大氣衰減之特性，已有人提出應用於寬頻高通量之短距離保密通訊之可行性。而其與傳播介質之強交互作用，特別是與大分子、有機分子及生物組織之吸收穿透特性，更被應用於非破壞性檢測、毒物毒品檢測、國境安全檢查、生物醫學影像等應用[17.1-17.4]。

## 1. 電波天文觀測與遙感探測儀器

次毫米波天文觀測與遙感探測儀器依接收機之型態，可分為輻射熱定器(bolometer)及差頻式接收機(heterodyne receiver)。輻射熱定器涉及之學科與本學門關連性小，在此不予討論。次毫米波及稀赫波差頻式接收機以超導—絕緣—超導(SIS)混頻器及超導熱電子輻射熱定混頻器(HEB mixer, hot-electron bolometer mixer)為基礎，接收機雜訊溫度可達到量子極限之數倍。目前國際學術界在接收機技術上之挑戰，在於更高頻率(>6 THz)下達到更低之接收機雜訊溫度及更寬之中頻頻寬。

## 2. 偵測器技術

承上所述，在天文與遙感探測之嚴格規格要求，接收機主要以兩種低溫超導混頻器為基礎。一般應用之偵測器，則以極高截止頻率之砷化鎵蕭特基二極體混頻器為基礎。近年來由於奈米尺寸磷化銦異質接面電晶體(HBT, HEMT)元件的發展，電晶體之截止頻率已達600 GHz，350 GHz次毫米波積體電路低雜訊放大器已有開發成功之例子，可用於室溫次毫米波偵測器之靈敏度提昇。另一項次毫米波偵測器技術則是由高速場效電晶體(HEMT)元件通道之量子化二維電子流與電磁波之間的共振吸收。此一現象已有理論預測及實驗驗證，惟尚無進一步之工程技術開發。

## 3. 信號源技術

信號源是次毫米波與稀赫波技術在元件層級最關鍵的部份。過去關於次毫米波與稀赫波信號產生技術有稀赫障礙(Terahertz Gap)，主因是由於傳統光電方式(雷射)及電子振盪器元件自紅外線往下及微波毫米波往上推進，均無法產生次毫米波與稀赫波信號。過去只能用兩種方式解決這個難題：一種是以毫米波振盪器與砷化鎵蕭特基二極體倍頻器串級以產生次毫米波，另一種則是以成對差頻紅外線雷射鎖相後饋入光混頻器降頻，二者均只能產生至多數百微瓦等級功率。最近

之技術突破為次毫米波積體電路功率放大器之開發，使倍頻器串級輸出之300 GHz信號可以進一步放大至毫瓦等級。然而其關鍵技術為500 GHz以上截止頻率之奈米級磷化銦異質接面場效電晶體。

#### 4. 生物與醫學影像[17.4]

生物與醫學影像應用主要是利用次毫米波與稀赫波對生物組織的吸收特性。如前所述，次毫米波與稀赫波受水汽吸收之嚴重衰減，及各種有機生物分子皆有其特有之次毫米波與稀赫波吸收譜線。生醫大分子的共振頻率隨分子變大而降低，其頻率共振範圍由數個THz可降至數百GHz。由於生醫分子普遍帶電，因此其共振頻率會與電磁波耦合，也可藉由THz-GHz高頻電磁波的共振反應而從事辨認。由於不同的生醫分子在結構上均有差異，因此不同分子均可在高頻電磁波上展現其獨特的特徵譜線。

目前主要之應用有：(1)用於生物製藥及螢光標記技術之抗生物素蛋白-生物素反應(avidin-biotin binding)量測，(2)去氧合醣核酸折疊合成之量測，(3)生物組織辨識，(4)病毒檢測，及(5)顯微成相。

#### 5. 毒物毒品與爆炸物檢測

各種化合物在次毫米波與稀赫波頻段之吸收光譜，其主要機制是分子的轉動及振動。毒物、毒品與爆炸物之分子的轉動及振動，基本上異於一般化學性質穩定之分子，而有較為明顯而尖銳之吸收譜帶或譜線，基於此一差異可以建立各種已知毒物毒品與爆炸物之次毫米波與稀赫波頻段吸收特性資料庫。基於類似之原理，此一技術亦可用於污染物化學成份分析。

#### 6. 通信應用

雖然次毫米波與稀赫波在大氣中傳播時受水汽吸收之嚴重衰減，然而其自由空間之近似光學傳播特性，恰可應用於需要保密之太空中衛星間通訊，及地面中短距離通訊。

此外，發展高頻微波、毫米波與次毫米波各相關元件將有助於從事非侵入式分子檢測與影像，發展重點在建立各式毫米波、次毫米波與微波生物晶片和高速影像系統。其關鍵元件包含：

- (1) 可與生物晶片結合之微型化毫米波源、次毫米波源。
- (2) 高速、高敏感度、寬頻的毫米波源、次毫米波源偵測器。
- (3) 由於CPW結構在與生物晶片結合上有其方便與優越性，因此需發展基於平面金屬波導結構並考慮生物晶片特性之濾波器，天線，天線陣列，及相位控制元件。

- (4) 可傳送長距離( $\gg 1$  m)之金屬波導與介電波導(或稱為毫米波與次毫米波光纖)，與各式波導與光纖主被動元件，如耦合器，放大器等。
- (5) 可從事毫米波與次毫米波影像之各式掃描相關元件。
- (6) 波導與光纖分子感測器。

## 參考文獻

- [17.1] P. H. Siegel, “Terahertz technology,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 50, no. 3, pp. 910–928, Mar. 2002.
- [17.2] I. Hosako, N. Sekine, M. Patrashin, S. Saito, K. Fukunaga, Y. Kasai, P. Baron, T. Seta, J. Mendrok, S. Ochiai, and H. Yasuda, “At the dawn of a new era in terahertz technology,” *Proc. IEEE*, vol.95, no. 8, pp.1611–1623, Aug. 2007.
- [17.3] M. Shur, “Terahertz technology: devices and applications,” in *Proc. ESSCIRC 2005*, pp. 13–21, Sept. 2005.
- [17.4] P. H. Siegel, “Terahertz technology in biology and medicine,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol.52, no. 10, pp. 2438–2447, Oct. 2004.