

微波量測 (Microwave Measurement)

微波量測在以往微波工程領域均扮演事後驗證與支援的角色，雖然成功的設計需仰賴在製程技術、元件模型、電路設計與模擬軟體上投注的大量資源；然而，微波量測技術實質上參與、聯繫、強化上述四種技術的發展；尤以近年來於微波、毫米波、THz等頻段之微波光子、射頻、高速數位、混合訊號等應用上，因為複雜度的提高，許多借助量測結果的模型直接使用在設計流程中，因此，微波量測在未來無線通訊技術的發展上，將成為不可或缺的一環。以下建議之研究方向，係參考兩個著名的微波量測發展機構MTT-11(<http://www.mtt-archives.org/~mtt11/>)與ARFTG (<http://www.arftg.org/>)近期推展之研究主題，與目前國內學界研究方向綜合整理而成。

1. 微波/毫米波/THz/光波之電路元件與系統量測技術

基於高頻/高速/光電系統晶片整合之需求，涵蓋微波、毫米波、THz、光波等頻段關鍵元件之線性、非線性、雜訊等參數量測與模型建立。建議研究主題如下：

- (1) 主動元件之線性、非線性及雜訊量測與模型化技術。
- (2) 負載拉移(Load Pull)與非線性向量網路分析儀(NVNA)之量測技術。
- (3) 毫米波及THz收發機之連續波、雜訊指數與數位調變測試技術。
- (4) 毫米波及THz訊號源之量測技術，包括相位雜訊[8.1]與調變特性量測等。
- (5) 毫米波及THz光子(mm-wave/THz Photonics)訊號特性量測技術。

2. 多埠向量網路分析儀之量測技術[8.2-8.5]

關於向量網路分析儀量測技術，主要歸納為同軸型(Coaxial)與晶圓上(On-wafer)等兩種類別，近年來著重於量測不準確性之研究[8.6]，此研究在毫米波頻段尤為重要。隨著頻率增加，鏽線與封裝效應對電路特性影響日趨嚴重，因此平衡式(差動式)電路設計成為一可行的解決方案。故在毫米波段許多主動元件參數，包括線性與非線性參數以及雜訊指數等，日益需要混合模態散射參數的量測技術；此外，用於高速數位傳輸的連接器亦需利用多埠散射參數來特徵化其傳輸特性，以利於研究信號完整性。建議研究主題如下：

- (1) 向量網路分析儀之量測準確性與可追溯性(traceability)研究。
- (2) 向量網路分析儀之多埠校準技術。
- (3) 線性與非線性元件之混合模態散射參數量測技術。
- (4) 向量網路分析儀量測校準技術於信號完整性之應用。

(5) 向量網路分析儀量測校準技術於毫米波/THz/光波之應用。

3. 三維積體電路之量測技術

完整的積體電路包括晶片、封裝及電路板，當頻率越高時，三者之間的異質整合設計越加重要。尤其是晶片、封裝、電路板彼此間之互連(interconnects)效應研究，由於此互連效應或者具微小等效電感、電容、電阻值，或者為三維結構，或者為多埠網路，因此不易萃取精確的模型，因此具豐富的題材，可供深入探討。此外，隨著三維積體電路製程日漸成熟，晶片堆疊結構下之三維互連效應，尤其是垂直互連效應格外受到重視，故發展相關量測技術更是具有高學術與應用價值。建議研究主題如下：

- (1) 封裝效應之量測與模型，包括完整之晶片、封裝及電路板彼此間之互連效應。
- (2) 高階矽製程基板參數萃取技術。
- (3) 後製程體積電路(Above IC process)與矽中介層(Silicon Interposer)電路元件之量測技術。
- (4) 矽穿孔等三維積體電路互連之量測與模型化技術。
- (5) 晶圓雙面下針量測與校準技術[8.7]。

4. MIMO與智慧型天線系統之量測技術

因應多重輸入/多重輸出(MIMO)系統廣泛地使用於無線寬頻通訊系統，因此MIMO天線系統量測技術遂成為一重要研究題目，尤以天線間之相互耦合對MIMO系統特性有重大影響，如何由實測驗證3D電磁模擬所預測之相互耦合特性，為此研究之重點；另外，採用相位陣列技術之智慧型天線系統，亦是值得研究的題材。建議研究主題如下：

- (1) MIMO系統所用多天線之量測技術。
- (2) 具有波束合成(Beam forming)能力之天線陣列量測技術。

5. 近場與人體區域網路之量測技術

傳統的電磁干擾/電磁相容(EMI/EMC)的量測方法已大致完備，但僅對待測物做一通過或失敗的判準，因此對於待測物之偵錯並無法提供足夠的資訊。然而近場探測(near-field probing)可掃描整個電路板或晶片，據以判定可能的EMI/EMC雜訊源。若再結合近場探測與向量網路分析儀量測技術，可發展出以非接觸式量測方法[8.8]診斷可能之EMI/EMC干擾路徑，並能對路徑之傳輸特性加以特徵化；另外，近年來因應行動醫療與健康照護等新興需求，人體區域網路(body area network)迅速崛起，如何建立電磁波於人體之傳播效應與對健康之影響，成

為未來最重要的課題。建議研究主題如下：

- (1) 用於EMI/EMC問題診斷之近場探測技術。
- (2) 人體區域網路之電磁波對於人體之傳播效應與吸收率等量測技術。

參考文獻

- [8.1] H. Gheidi and A. Banai, "Phase-noise measurement of microwave oscillators using phase-shifterless delay-line discriminator," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 58, no. 2, pp.468-477, Feb. 2010.
- [8.2] I. Rolfes and B. Schiek, "Multiport method for the measurement of the scattering parameters of N-ports," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 53, pp. 1990–1995, Jun. 2005.
- [8.3] B. Grossman, T. Ruttan, and E. Fledell, "Comparison of multiport VNA architectures – measured results," in *Proc. 66th ARFTG Conf.*, Dec. 2005.
- [8.4] J. Martens, D. Judge, and J. Bigelow, "Multi-port vector network analyzer measurements," *IEEE Microw. Mag.*, vol. 6, no. 4, pp. 72–81, Dec. 2005.
- [8.5] A. Ferrero, V. Teppati, M. Garelli, and A. Neri, "A novel calibration algorithm for a special class of multiport vector network analyzers," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 56, no. 3, pp. 693-699, Mar. 2008.
- [8.6] R. A. Ginley, "Confidence in VNA measurements," *IEEE Microw. Mag.*, vol. 8 no. 4, pp. 54-58, Aug. 2007.
- [8.7] K.-C. Lu, Y.-C. Lin, T.-S. Horng, S.-M. Wu, C.-C. Wang, C.-T. Chiu, and C.-P. Hung, "Vertical interconnect measurement techniques based on double-sided probing system and short-open-load-reciprocal calibration," in *Proc. 61st Electronic Compon. Technol. Conf.*, pp. 2130-2133. May 2011.
- [8.8] T. Zelder, B. Geck, M. Wollitzer, I. Rolfes, and H. Eul, "Contactless vector network analysis with printed loop couplers," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 56, no. 11, pp. 2628-2634, Nov. 2008