

特殊人工電磁材料在微波電路及天線上之應用 (Exotic Electromagnetic Material and its Applications in Electromagnetic Engineering)

天然介質材料的電氣特性主要是由材料中分子及原子與外加電磁場交互作用時，電偶極或多電荷對所衍生之電磁場，通常在巨觀上我們可以利用介電係數 (electric permittivity) 與磁導率 (magnetic permeability) 來描述該介質材料之電氣特性。1948 年貝爾實驗室的 Winston E. Kock 首先提出人造介質材料 (artificial dielectric) 的概念 [14.1]，他利用堆疊金屬平行板波導結構來取代介質透鏡，用以改變天線之遠場輻射。之後他又在低介電常數的介質中置入週期性排列之金屬來設計特殊之等效介電常數，由於週期大小與操作電磁波波長相近，因此容易實現該結構之設計。Walter Rotman [14.2] 提出在介質中加入金屬柱陣列，當入射電磁波電場方向與金屬柱平行時，該結構呈現類似“電漿 (plasma)”效應。當分析該結構之晶格特性後發現其色散關係可以用該介質具有負介電常數 (negative permittivity) 來等效。該結構也曾被用於合成近零折射率介質 (near-zero refractive index medium) 作為空間波束分歧器 (spatial beam splitter) 之設計。至於負導磁率材料之設計，近年來有研究團隊設計一種稱為 SRR (Split-ring resonator) 的結構 [14.3]，該 SRR 陣列成功展現其等效導磁率於微波頻段為負數之特性。

有了等效負介電常數與等效負導磁率介質之後，如果能夠結合這兩種結構同時操作於相同之頻段內，那麼就能夠實現 Veselago 在 1967 年所預測電磁波在此類特殊介質中所呈現之奇特傳播特性 [14.4]。Shelby 及其研究團隊隨後便結合金屬線及 SRR 陣列設計出在微波頻段中實數部份的介電常數與導磁率同時為負號之結構，同時以實驗驗證其負折射 (negative refraction) 之特性 [14.5]。自此之後，便有相當多類似結構被發表在國際文獻上，目前此類研究有待突破的是：

1. 如何設計寬頻結構。
2. 由於介電常數與導磁率之虛部代表能量耗損於該結構中，因此如何降低虛部是該結構能否實用化之關鍵因素。

綜合上述之幾種典型的結構我們可以得知，該類電磁人工介質材料主要是使用一般傳統之介質材料配合印刷金屬導線繞線所製作而成，其電磁特性非由其材料化學特性所貢獻，而是由其外加電磁場與結構所產生之電磁耦合效應來決定。該類結構之負折射現象可以用來實現平面透鏡，並可用於天線罩之波束整形。

除了介質材料的開發之外，相同的原理但應用於微波電路上的設計也被提出，從歷史的觀點來看，S. Ramo 等作者 [14.6] 曾經提出對於非傳統式傳輸線 (unconventional transmission line) 的分析，並且發現該結構中存在返波 (Backward wave)，也就是相速度與群速度反向的波。其實以電路理論的觀點，傳統的傳輸線對應到低通濾波器，而非傳統傳輸線則對應到高通濾波器，如果串接這兩種電

路並適當選取電容電感元件參數，我們將可以互相補償相位(非傳統傳輸線具有負傳播常數)，而獲得整體(或平均)傳播常數為零之特殊現象。此一現象可以用於設計縮小化傳輸線被動元件、縮小化天線以及返洩露波天線(backward leaky-wave antenna)等[14.7, 14.8]。由於此類電路在低頻時可以用印刷式傳輸線上加入傳統電容電感元件來實現，但在高頻時僅能使用傳輸線等效電容電感(例如 interdigital capacitor and meander line inductor)來製作，因此該類研究有待突破的研究重點與前一項研究工作相同：一是增加其操作頻寬，二是減少整體傳輸線或天線結構之耗損。

參考文獻

- [14.1] W. E. Kock, "Metallic delay lenses," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 27, pp. 58-82, Jan. 1948
- [14.2] W. Rotman, "Plasma simulation by artificial dielectrics and parallel-plate media," *IRE Trans. Antennas Propag.*, vol. AP-10, no. 1, pp. 82-85, Jan. 1962.
- [14.3] J. B. Pendry, A. J. Holden, D. J. Robbins, and W. J. Stewart, "Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2075-2084, Nov. 1999.
- [14.4] V. G. Veselago, "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of μ and ϵ ," *Sov. Phys. Usp.*, vol. 10, no. 4, pp. 509-514, Jan.-Feb. 1968 (translation based on the original Russian document, dated 1967)
- [14.5] R. A. Shelby, D. R. Smith, and S. Schultz, "Experimental verification of a negative index of refraction," *Science*, vol. 292, pp. 77-79, Apr. 6, 2001.
- [14.6] S. Ramo, J. R. Whinnery, and T. Van Duzer, *Fields and Waves in Communication Electronics*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Toronto, 1994.
- [14.7] G. V. Eleftheriades, A. K. Iyer, and P. C. Kremer, "Planar negative refractive index media using periodically L-C loaded transmission lines," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 50, no. 12, pp. 2702-2712, Dec. 2002
- [14.8] C. Caloz, H. Okabe, H. Iwai, and T. Itoh, "Transmission line approach of left-handed materials," in *USNC/URSI National Radio Science Meeting Digest*, San Antonio, TX, p. 39, June 16-21, 2002.