

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

柱面週期性波導之特性研究及其作為微波防漏結構之應用

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2213-E-018-002-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立彰化師範大學電子工程學系

計畫主持人：李清和

計畫參與人員：賴錦瑞 徐健明 黃惠絹

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 11 月 3 日

柱面週期性波導之特性研究及其作為微波防漏結構之應用
(Analysis of Cylindrical Periodic Structures and Their
Application as a Microwave Leakage Prevention Device)

計畫類別：✓ 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 91 - 2213 - E - 018 - 002 -

執行期間：91 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

計畫主持人：李清和

共同主持人：

計畫參與人員：賴錦瑞 徐健明 黃惠絹

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：✓ 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立彰化師範大學 電子工程學系

中 華 民 國 92 年 10 月 31 日

柱面週期性波導之特性研究及其作為微波防漏結構之應用

(Analysis of Cylindrical Periodic Structures and Their Application as a Microwave Leakage Prevention Device)

計畫編號：NSC 91 - 2213 - E - 018 - 002

執行期限：91 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

主持人：李清和 國立彰化師範大學 電子工程學系

E-mail: iecher@cc.ncue.edu.tw

計畫參與人員：賴錦瑞 徐健明 黃惠絹

中文摘要

本計畫針對新型柱面式多層皺摺週期性結構之傳播特性作研究，所處理之柱面週期性皺摺結構的層數、厚度及介電質係數在理論上可以任定。我們以兩種方法、分兩部份來進行解析。在第一部份中，我們以波模匹配法搭配 Floquet 原理來分析具一維皺摺、中空之柱面週期性結構的傳播特性；所探討之結構包括皺摺為階梯狀及其變形如工字形、十字型乃至極限形狀之三角形等，研究項目則包括結構之週期、皺摺層之厚度、寬度與材質對傳播特性之影響等。

第二部份中我們採用有限元素法、並以現有軟體來進行模擬。除了作數值解析外，我們亦將探討以其作為微波阻波器之設計，以作為工業用微波加熱爐進出口防漏組件之用。預期本研究之成果將可作為設計新型非平面式微波濾波器或截止波導之有用之參考。

關鍵詞：柱面週期性結構、波模匹配法、Floquet 原理、有限元素法、微波阻波器

Abstract

In this project, the propagation characteristics of a cylindrical periodic structure will be investigated. The structure has periodical corrugation in the cladding and empty in the center. Furthermore, the corrugation may be of arbitrary shape and thickness, and could be one-dimensional or two-dimensional. The outermost layer of the cylindrical periodic structure is shielded by a perfect

conductor. We will divide this project into two parts, and use two different approaches for analysis. In the first part, mode-matching technique (MMT) in conjunction with the Floquet's theory are utilized for theoretical analysis. The considered structures include those with corrugations of staircase shape, "I"-shape, "+"-shape, and the limiting geometry of triangle shape. The effects of structure period, the corrugation width and depth, and the material parameters on the dispersion behavior will be investigated.

In the second part, we apply the finite-element method for analysis, and use existing software for numerical solution. Besides the theoretical analysis, the corrugated cylindrical periodic structure are designed to serve as a wave-leakage prevention device in the entry and exit ports of an industrial microwave oven. We will examine the attenuating effects due to the corrugation shape, structure period and total length as the wave is propagating through the waveguide choke. Results obtained in this research are expected to serve as useful references for researchers and designers working in this field.

Keywords: Cylindrical periodic structure, mode-matching method, Floquet's theory, finite-element method, waveguide choke

1. 前言

週期性結構由於具有頻率選擇特性，因此在微波、毫米波及光波等頻段都有廣泛的應用[1-3]。柱面週期性結構

之頻率選擇特性或濾波特性和在過去已有學者及研究人員從事研究 [4-7]。常用的解析方法包括 coupled-integral-equation technique (CIET) [5]，波模匹配法(mode-matching method) [6]，以及有限元素法(finite-element method, FEM) [7, pp. 8-11] 等。而在所探討的結構方面，文獻[4]中提及的圓柱表面波導，結構較為簡單，它只有中心金屬圓柱與週期性綳褶(periodical corrugation)，沒有外面的介質塗層(coating) 而文獻[5]中所考慮的圓形導波管結構，外面皆有遮蔽金屬圓柱，其內則在管壁上有週期性金屬綳褶，或是中心有週期性介質綳褶；這些綳褶的形狀都是規則的矩形，其變化較少。

本計畫所探討的柱面週期性結構，其最外層為遮蔽金屬圓柱，往內則為綳褶之多層導體或介質，綳褶的形狀可以是任意的；中心處則為空氣層。同時，週期性綳褶可以是一維(即沿著軸向(z -方向))或較複雜的二維(即同時沿著軸向與方位角(ϕ))方向)結構。目前，這樣的結構較少人研究，相關文獻亦較少見。我們以兩種方法來分別進行研究，其一為波模匹配法、配合 Floquet 原理及來解析柱面週期性結構之傳播特性；另一解析法為有限元素法，此部份我們主要將利用現有軟體來進行模擬與數值計算，且主要針對較複雜之二維綳褶柱面週期性結構做分析。另外，實作部份將尋求工研院能資所之協助，以將實測數據與理論分析結果做一比較。

2. 研究目的

對於本計畫中之研究項目，我們希望不僅是以解析與數值計算的方法，來分析其傳播特性，同時還能針對其傳播特性背後的物理機制進行深入的探討。而除了基本結構之分析外，我們也將探討各種柱面週期性結構於微波防漏方面之應用設計(此部份將依循 Van Koughnett 之設計準則來設計)。預期本計畫所得的結果，將可做為設計微波濾波電路時的有用參考。

3. 結果與討論

本節中我們將列出一些代表性的結果，所研究之圓形截面週期性波導管，其尺寸悉依循 Van Koughnett 之設計準則來做初步之設計，以使其在 2.45 GHz 附近具有截止特性。首先，我們以一半徑為 45 mm、長度為 150 mm 之圓柱波導管為例來模擬此空管之傳播特性，如圖 1 所示。由圖 1 之 S 參數圖可知，當工作頻率於 2.45 GHz 附近時傳輸係數(S_{21})幾乎等於 1，換句話說，電磁波幾乎沒有衰減地在管中傳播。其次，我們在不改變波導管截面大小之情況下，於圓形波導管之內壁加入矩形截面週期性皺褶結構，結構尺寸如 2 (a)、(b) 所示。由圖 2(c)之結果可知，當頻率於 2.45 GHz 時 S_{21} 衰減量超過 80 dB，故呈現良好的阻波效果。此外我們發現此種結構之 stopband bandwidth 有過於狹窄的缺點存在。

除了矩形截面週期性皺褶結構外，我們亦研究以階梯形週期性皺褶結構來設計圓形導波管(此處實即當作阻波器)，其結構如圖 3(a) (b)所示。由圖 3(c)之模擬結果可知，當頻率於 2.45 GHz 附近時，其衰減量亦可達到 80 dB 左右。此外，比較圖 2(c)和圖 3(c)之 S 參數圖可發現，此週期性階梯形皺褶結構所產生的 stopband bandwidth 有加大的效果。另外，我們亦以另一種排列方式來設計週期性階梯形皺褶結構阻波器，如圖 4(a)、(b)所示。由圖 4(c)之模擬結果可知，此結構除了在 2.45 GHz 達到預期的衰減外，其 stopband bandwidth 亦有加大的趨勢。除了階梯形皺褶結構以外，以三角形之皺褶結構亦可設計阻波器，如圖 5(a)、(b)所示。我們由圖 5(c)之模擬結果可知，此結構於 2.45 GHz 附近之衰減情形相當明顯，但最大衰減量卻不如週期性階梯形皺褶結構。

本研究中曾以圓柱波導管設計成之阻波器與矩形截面者做比較，發現在頻率於 2.45 GHz 附近前者之 S_{21} 衰減現象

相當明顯，但其會有 stopband-bandwidth 過於狹窄的缺點，這個問題往後可再進一步研究探討並改進之。

4. 成果自評

雖然在本精簡報告中，限於篇幅我們僅示出代表性之成果，然本研究在原計畫書中所規劃之研究項目皆已大致完成。事實上除了圓形週期性皺褶結構導波管外，我們亦研究了矩形截面者，且實際製作一矩形週期性皺褶結構導波管作為阻波器用，實測結果證明效果相當良好。本研究成果除可作為設計新型非平面式微波濾波器之有用參考外，所探討之截止波導特性亦可實際用作為工業用微波加熱爐進出口防漏組件。

References

- [1] J. D. Kraus, *Antennas*, 2nd ed., New York: McGraw-Hill, 1988.
- [2] B. E. Munk, *Frequency Selective Surfaces --- Theory and Design*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- [3] D. L. Lee, *Electromagnetic Principles of Integrated Optics*. New York: Wiley, 1986.
- [4] R. E. Collin, *Field Theory of Guided Waves*, 2nd ed., New York: IEEE Press, 1991.
- [5] S. Amari, R. Vahldieck, J. Bornemann, and P. Leuchtmann, "Spectrum of corrugated and periodically loaded waveguides from classical matrix eigenvalues," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 48, pp. 453–460, Mar. 2000.
- [6] J. Esteban and J. M. Rebollar, "Characterization of corrugated waveguides by modal analysis," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 39, no. 10, pp. 937–943, June 1991.
- [7] T Itoh, G. Pelosi, and P. P. Silvester, Eds., *Finite Element Software for Microwave Engineering*. New

York:Wiley, 1996.

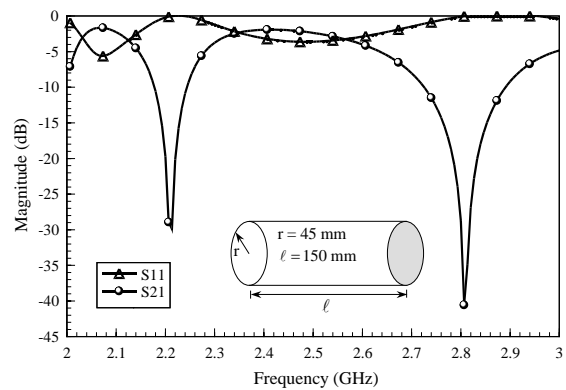


圖 1、圓形截面波導管模擬分析所得之 S 參數圖。

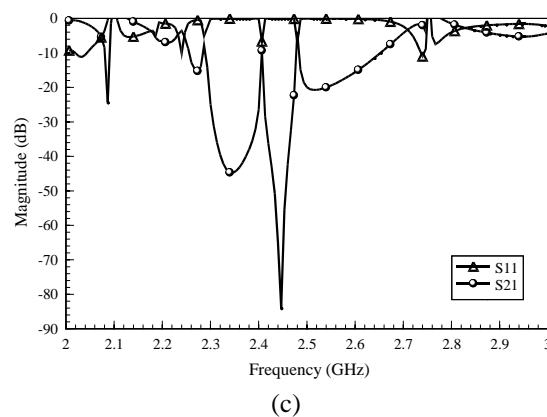
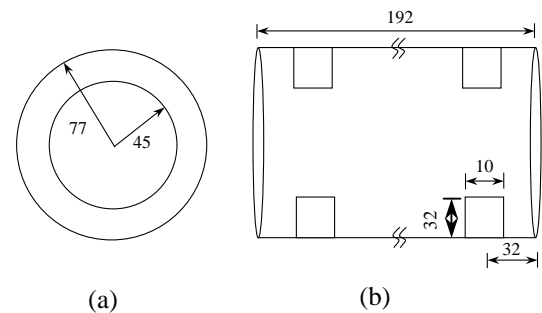


圖 2、(a)圓形截面導波管由開口看進去之正視圖，(b)縱向剖面圖，(c)模擬所得的 S 參數圖。

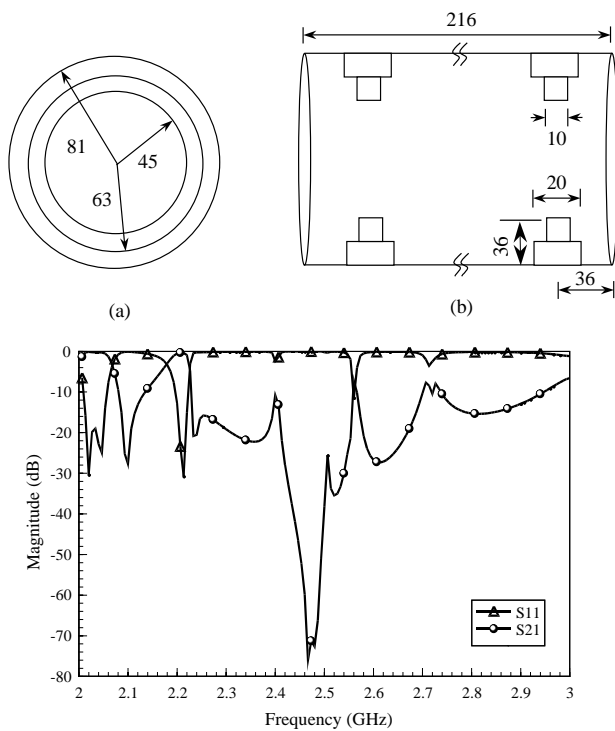


圖 3、(a)階梯形週期性皺褶結構圓形截面導波管由開口看進去之正視圖，(b)縱向剖面圖，(c)利用 HFSS 模擬所得的 S 參數圖

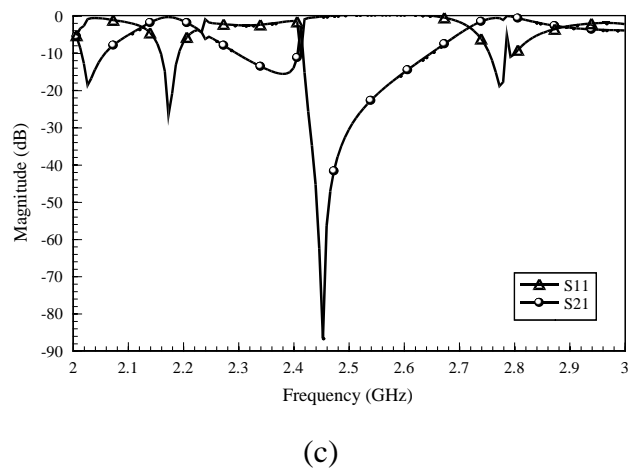
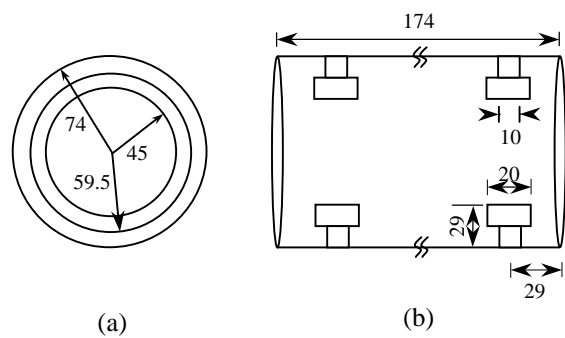


圖 4、(a)階梯形週期性皺褶結構圓形截面導波管由開口看進去之正視圖，(b)縱向剖面圖，(c)模擬所得的 S 參數圖。

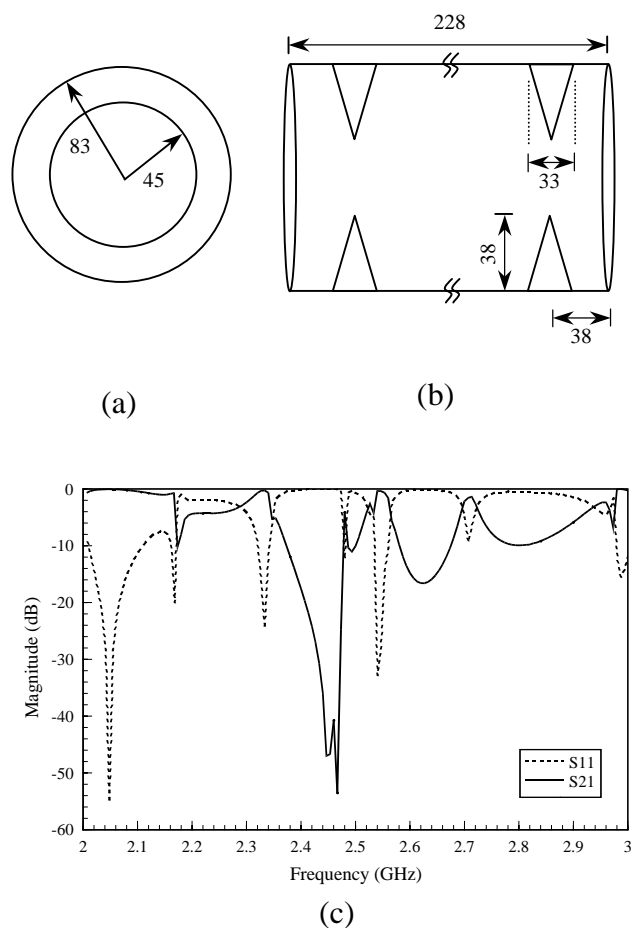


圖 5、(a)週期性三角形皺褶結構圓形截面阻波器由開口看進去之正視圖，(b)縱向剖面圖，(c)模擬所得的 S 參數圖。

可供推廣之研發成果資料表

可申請專利

✓ 可技術移轉

日期：92年10月31日

國科會補助計畫	計畫名稱：柱面週期性波導之特性研究及其作為微波防漏結構之應用 計畫主持人：李清和 計畫編號：NSC 91 - 2213 - E - 018 - 002 學門領域：電信學們
技術/創作名稱	工業用微波加熱爐物料進出口防漏阻波器
發明人/創作人	李清和
技術說明	<p>中文：於導波管內加上週期性皺褶結構，可以在橫截面較傳統空管為大之情況下仍呈現良好之阻波特性。而此可應用於工業用微波加熱爐作為進出爐口防漏組件，如此待熱物之體積將較不受限。此外，藉由改變皺褶結構之形狀以可改善阻波器之衰減特性。</p> <p>英文：With the periodical corrugated structure, the waveguide choke can be designed to have a larger port cross-section while retaining good wave attenuation characteristic. This improvement can be utilized in fabricating feeding waveguide choke for industrial microwave heating system to prevent microwave energy from leaking out of the applicator. Besides, the technique proposed in this work also provide an improvement in attenuation by using adequate corrugation structures.</p>
可利用之產業及可開發之產品	需要用到微波加熱之產業，例如製紙業、食品加工業、陶瓷燒結、玻璃業、布料製造業等。
技術特點	以內加週期性皺褶結構來改善導波管之阻波特性，並在不影響阻波特性之情況下增加導波管之橫截面，以容許較大之待熱物加工。
推廣及運用的價值	可提供工業用微波加熱爐設計及製造廠商實用之技術以改良產品或進行新產品之設計。

1. 每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。
2. 本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。
3. 本表若不敷使用，請自行影印使用