

# 國立交通大學

機械工程研究所

碩士論文

離子高分子金屬複合材料制動器之電壓

與位移關係之研究



A Study on the Relationship between  
Voltage and Displacement of an IPMC  
Actuator

研究生：陳益臻

指導教授：陳大潘 教授

中華民國九十三年十月

離子高分子金屬複合材料制動器之電壓與位移關係之研究

A Study on the Relationship between Voltage and  
Displacement of an IPMC Actuator

研究生：陳益臻

Student： Yi-Jen Chen

指導教授：陳大潘

Advisor： Da-Pan Chen

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Mechanical Engineering  
College of Engineering

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of

Master of Science

in

Mechanical Engineering

October 2004

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十三年十月

# 離子高分子金屬複合材料制動器之電壓與位移關係之研究

研究生：陳益臻

指導教授：陳大潘 博士

國立交通大學機械工程學系（研究所）碩士班

## 摘 要

本論文以實驗與有限單元分析的方式，對於離子高分子金屬複合材料 (IPMC) 的致動情形加以研究。在研究中包含實際的 IPMC 製程，以實驗的方式歸納出製程中如何改善成品品質的要點，並且進行 IPMC 實際電致動性能的實驗，找出在不同製程與條件下對於電致動性能的影響。接著以有限單元分析的方式，建立 IPMC 複合材料之模型，以及 IPMC 中金屬電極層的彈性模數的建立，然後以此有限單元模型來模擬 IPMC 致動方式與變形曲線的關係，進而可以利用模擬來預測不同條件之 IPMC 的致動性能。最後以有限單元分析的方式，模擬 IPMC 應用於尿道人造括約肌的情形，期望對於此方面的設計與未來進一步的研究有所貢獻。

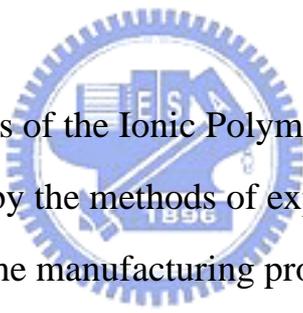
# A Study on the Relationship between Voltage and Displacement of an IPMC Actuator

Student: Yi-Jen Chen

Advisor: Dr. Da-Pan Chen

Department (Institute) of Mechanical Engineering  
National Chiao Tung University

## Abstract



The actuated responses of the Ionic Polymer-Metal Composites (IPMC) were studied in this thesis by the methods of experiments and Finite Element Analysis. Studies on how the manufacturing processes effects the performance of the IPMC were included. The actuation tests were executed in order to find out the difference of the IPMC's under different conditions and manufacturing processes. And the Finite Element models of IPMC were established, as well as the Elastic Modulus of the electrode layers of these models. The predictions of the actuation performance of the IPMC's under different conditions could be made by these models. And finally, a study on an application of the IPMC – the Artificial Urinary Sphincter was devoted by the Finite Element Method, with the hope of finding some clues for the designs and further researches of this novel application.

## 誌 謝

首先我要感謝指導教授陳大潘教授，兩年來對我的指導與督促，在研究的路程上如一盞明燈一般，導引著正確的方向，使得慢動作的我也可以順利的完成所有的研究。

再來感謝我身邊所有的兄弟朋友們，讓在異鄉求學的我也可以感受到溫暖，以及兩年以來所有的關照，但願友誼長存。

最後要感謝我的父母親，求學生涯一路走來在背後的支持與鼓勵，讓我可以無憂無慮的專心於課業。而我就像是個還在學飛的雛鳥一樣，帶著希望與勇氣，從現在起，將要往未來飛去，期盼在不久的將來，大家可以分享我成功的果實，謝謝大家。

# 目 錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	ii
誌謝	.....	iii
目錄	.....	iv
表目錄	.....	vi
圖目錄	.....	vii
一、	緒論.....	1
二、	IPMC 之基本性質 .....	3
2-1	IPMC 之簡介 .....	3
2-2	IPMC 之微觀反應.....	7
2-2-1	微觀下之 IPMC 剛性模型.....	7
2-2-2	微觀下 IPMC 之致動.....	10
三、	IPMC 之製程 .....	11
3-1	高分子薄膜的製程.....	11
3-2	金屬電極的製程.....	17
四、	IPMC 之材料特性與性能試驗 .....	20
4-1	IPMC 之材料特性試驗 .....	20
4-2	IPMC 之性能試驗 .....	27
4-2-1	IPMC 之端點位移試驗 .....	28
4-2-2	IPMC 之端點出力試驗 .....	33
五、	IPMC 之有限單元分析 .....	37
5-1	IPMC 之有限單元模型 .....	37

5-2	IPMC 之拉伸模擬與分析 .....	40
5-3	IPMC 之彎曲模擬與分析 .....	45
六、	尿道人造括約肌之有限單元分析.....	49
七、	結論.....	57
參考文獻	.....	59



## 表 目 錄

表 4-1	不同厚度的 IPMC 之平均質量增加量·····	21
表 4-2	不同電壓下各 IPMC 試片之端點位移·····	30



## 圖 目 錄

圖 2-1	全氟化聚合物之單體化學式	4
圖 2-2	IPMC 於各個階段之變形曲線	5
圖 2-3	IPMC 內部離子轉移示意圖	5
圖 2-4	IPMC 之橫切面 SEM 照片	6
圖 3-1	未添加 DMF 所成型之薄膜	12
圖 3-2	成型後的高分子薄膜中出現白色之沉澱物	13
圖 3-3	成型失敗破裂之高分子薄膜	14
圖 3-4	熱處理後之高分子薄膜	15
圖 3-5	完成的高分子薄膜	16
圖 3-6	完成還原的白金金屬光澤	18
圖 4-1	IPMC 於不同金屬電極製程次數下之單位面積質量增加量	22
圖 4-2	薄膜厚度量測方式	23
圖 4-3	IPMC 於不同金屬電極製程次數下之厚度變化	23
圖 4-4	IPMC 於不同金屬電極製程次數下之表面電阻變化	24
圖 4-5	拉伸試驗之試片尺寸	25
圖 4-6	IPMC 於不同金屬電極製程次數下之楊氏係數	26
圖 4-7	IPMC 試片尺寸	27
圖 4-8	被具有電極的夾具夾持的 IPMC	27
圖 4-9	IPMC 試片放置傾斜而造成彎曲	28
圖 4-10	IPMC 形變位移量測以方格紙為背景	29
圖 4-11	回捲 1	31
圖 4-12	回捲 2	31
圖 4-13	回捲 3	31
圖 4-14	不同厚度之 IPMC 試片於不同電壓下之端點位移	32
圖 4-15	Force Gauge 之探針將 IPMC 頂回初始位置	33
圖 4-16	Force Gauge 應保持水平穩定放置	34
圖 4-17	Force Gauge 量測的結果	35

圖 5-1	IPMC 之三層結構 .....	38
圖 5-2	IPMC 之 2D 有限單元網格模型 .....	38
圖 5-3	模擬白金層滲入高分子層之樹狀結構 .....	39
圖 5-4	不同厚度之白金電極層 .....	39
圖 5-5	以式(5-3)求得之 IPMC 複合材料楊氏係數 .....	42
圖 5-6	拉伸模擬的方式 .....	43
圖 5-7	以新的白金楊氏係數代入有限單元模擬與實驗結果之比較 .....	44
圖 5-8	懸臂樑兩側之均佈力來模擬均佈力矩 .....	46
圖 5-9	受到均佈力矩之懸臂樑模型變形後之曲線 .....	47
圖 5-10	IPMC 之彎曲模擬結果 .....	48
圖 6-1	尿道人造括約肌舊的設計 .....	49
圖 6-2	尿道人造括約肌之設計 .....	51
圖 6-3	SMA Cuff 尺寸 .....	52
圖 6-4	半圓形彎樑 .....	52
圖 6-5	以上半部之 SMA Cuff 來建立有限單元模型 .....	53
圖 6-6	施加在 SMA Cuff 上之力矩沿著極座標之 $\theta$ 軸線性變化 .....	53
圖 6-7	三層之 IPMC 施加在 SMA Cuff 上之分佈力矩 .....	54
圖 6-8	SMA Cuff 上半部之有限單元網格 .....	55
圖 6-9	SMA Cuff 有限單元模擬結果 .....	56