

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 子計畫三：加速規式之位置、磨擦力感測器在二維衝量馬達 伺服控制中之應用(I)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2212-E-009-025-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學機械工程學系

計畫主持人：陳宗麟

計畫參與人員：陳奕龍，黃建評

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 12 月 2 日



行政院國家科學委員會專題研究計畫年度報告  
自動化學門專題計畫

子計劃三：加速規式之位置, 摩擦力感測器在二維衝量馬達伺服控制中之應用

計畫編號： NSC 92-2212-E-009-025-

執行期限： 92年8月1日至93年7月31日

主持人： 陳宗麟

Email: tsunglin@mail.nctu.edu.tw

研究人員： 陳奕龍、黃建評

中文摘要

在本計畫中我們針對衝量馬達之摩擦力即時(Real time)觀察、控制及加速規式之位置、速度感測器進行可行性評估與實驗驗證。實驗結果顯示衝量馬達之摩擦力隨著馬達動作而變化，且衝量馬達之精密定位控制亟需摩擦力即時補償方可達成。加速規式之位置、速度感測器之量測精度已完成公式推導，實驗驗證，目前正在進行。

Abstract

We have successfully finished the evaluation of feasibilities of real-time observation of friction force in Impact-Drive-Motor (IDM) and employing accelerometers in as the velocity and position sensors for IDM. The experimental data shows that the IDM suffers seriously from the variation of friction force and thus deteriorate its positioning accuracy. The formula that can predict the standard deviation of accelerometer-based velocity and position sensors is done. The results will be verified by the experimental setup.

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 國科會專題研究計畫成果報告撰寫格式說明

### Preparation of NSC Project Reports

計畫編號：NSC 92-2212-E-009-025

執行期限：92年8月1日至93年7月30日

主持人：陳宗麟

交通大學機械工程學系

計畫參與人員：陳奕龍、黃建評 交通大學機械工程學系

#### 一、中文摘要

本計畫為總計畫”IDM定位機構微影步進機之實作”中之一子計畫。此計畫的目的在於研究使用適當的感測元件於衝量馬達(Impact-Drive-Mechanism, IDM)上,以提升衝量馬達之定位精度,進而將衝量馬達運用於晶圓步進機(Wafer stepper machine)中之致動器。

高性能衝量馬達的成功關鍵包括:精準的摩擦力機構模型,即時位置回饋控制等等。在這個計畫中,我們將在衝量馬達的滑件上黏貼加速規,用以獲得衝量馬達動作時滑件與接觸面間之正向力。獲得此訊息可對衝量馬達的摩擦力機制有更深入的了解,並可針對此摩擦力機制進行即時位置控制。

同時,加速度規式的位置感測器(Accelerometer-based position sensor)將用以量測衝量馬達動作時之位置。此一加速度規式位置感測器的特性在於它可提供相當高之解析度,但僅只於一短暫期間內。這是由於加速度規式位置感測器需經過兩次的積分運算才可獲得位置訊號。

**關鍵詞：**衝量馬達, 加速度規式位置感測器

#### Abstract

This project studies the feasibility of employing suitable sensing elements on the proposed Impact-Drive-Mechanism (IDM) drives as to improve the servo resolution of the drives and be implemented as the

actuation mechanism in wafer stepper machines.

The keys to the success of a high performance IDM drives consist of an accurate modeling of the friction mechanism, a real-time feedback system and etc. In this project, we propose employing accelerometers on the slider of the IDM drive as to better understanding of friction mechanism in an IDM drive, as well as to provide the necessary feedback signal for the real-time positioning control.

The accelerometers that'd be able to measure the acceleration of IDM drives in out-of-plane direction will be utilized for the friction modeling. Meanwhile, the accelerometer-based position sensors will be utilized to provide high position sensing resolution. However, due to the double-integration operations on the signal obtained from accelerometer-based position sensors, the high precision resolution can only last for a short period of time, and thus suitable signal processing techniques and another position sensor, which only needs to have coarse sensing resolution, have to be incorporated in the system.

**Keywords:** Impact Drive Mechanism (IDM), Accelerometer-based position sensor, Friction mechanism modeling

#### 二、計畫緣由及目的

由壓電材料(PZT)致動器所構成的衝量馬達有許多優點,包括結構簡單,較低的驅動電壓、奈米級的步進位移,更重要的是,衝量馬達可藉由重複此步進動作而

獲得相當大的位移。一般而言，致動系統所能產生的致動距離與系統之剛性成反比、而與驅動電壓成正比。然而衡量馬達並無此限制，它可同時擁有大的致動位移、高的系統剛性和低驅動電壓。

過去的文獻資料顯示，衡量馬達必須藉由對摩擦力機制的控制[2][3]、或是伺服控制系統[4]的適當回饋，才能達到奈米級的定位精度。在此計劃中，我們將在每個衡量馬達上使用不同的加速規感測元件，此舉將有助於摩擦力機制的模擬與補償，以及衡量馬達定位系統的伺服控制。

關於衡量馬達的摩擦力機構模擬部分，我們將在衡量馬達上裝置加速規用以量測摩擦力機構中之正向力。藉由對正向力的即時觀察，我們可以對衡量馬達運動時之摩擦力進行即時補償。

由於加速規的輸出為滑件的加速度，速度與位移訊號必須經由積分運算來獲得。但是經由雙重積分所得來之位置訊號，其誤差會隨積分時間而增加，因此，加速規式位置感測器必須結合適當的訊號處理技術，才能確保其量測精確度。

### 三、研究方法

在衡量馬達的操作中，滑件與軌道表面間的正向力是決定其摩擦力大小的關鍵。然而由於馬達組裝時之誤差，衡量馬達運動時，其滑件將不可避免的上下移動，而此現象將造成滑件與軌道表面間的正向力隨之變化，進而使得摩擦力的估測變得複雜。在這個計畫中，我們打算在滑件兩端黏貼加速規，用以量測滑件上不同位置之正向力方向加速度。量測所得的數值，將可用以重現系統模態、估算正向力並且建立合適之摩擦力模型。

為了獲取得衡量馬達伺服控制時所需的回饋訊號（加速度、速度與位移），我們將在衡量馬達的滑件上黏貼加速規，用以量測其運動設定方向之相關訊息。加速

規所量測之訊號為衡量馬達之加速度，經過一次積分運算後可獲得速度訊號，二次積分運算後可獲得位置訊號。在將加速規與衡量馬達結合運用前，我們將利用高精度定位平台來驗證此方法之可行性。加速度規在運動設定方向上的加速度，速度、位移訊號將於積分運算後獲得，並將與定位平台之位移感測器輸出相互比對。

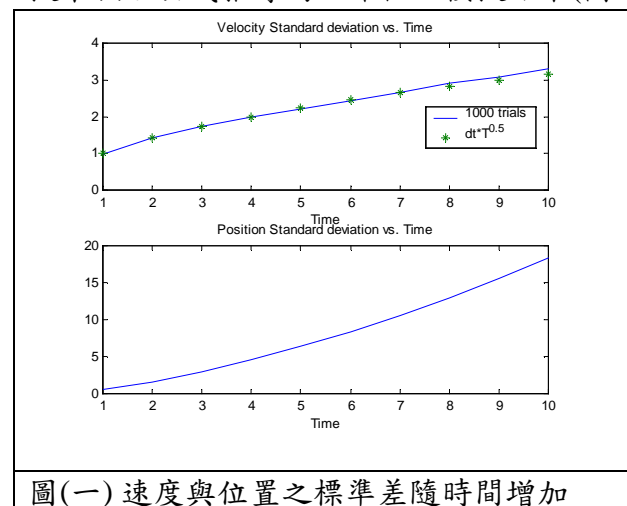
### 四、結論與成果

計劃成果包含兩部分，第一部份為加速規式位置感測器的可行性驗證。我們首先對感測器之速度及位置訊號之標準差（standard deviation）進行公式推導。這部分的推導並不常見於相關文獻中，因為一個 stationary 的隨機函數經一次積分後已不再是 stationary 的隨機函數，因此公式推導較為繁瑣，也很難獲得解析解（Analytical solution）。

$$R_{v_0 v_0}(\tau_1, \tau_2) \approx \frac{4K_B TD}{M^2} \cdot B \cdot \tau_1 \tau_2$$

$$\begin{aligned} \text{Var}(x_o) &= E(x_o^2(t)) = E\left(\int_0^t v_o(t_1) dt_1 \cdot \int_0^t v_o(t_2) dt_2\right) \\ &\approx \frac{4K_B TD}{M^2} \cdot \frac{B}{4} \cdot t^4 \end{aligned}$$

必須特別注意的是以上所得的簡要關係只適用於積分時間遠小於加速度訊號頻寬，若積分時間遠大於加速度頻寬時，一次積分後的結果將與時間程成正比，而非如上式所示與時間平方成正比。我們試圖藉由模擬來驗證公式推導的正確性。模擬結果(圖



圖(一) 速度與位置之標準差隨時間增加



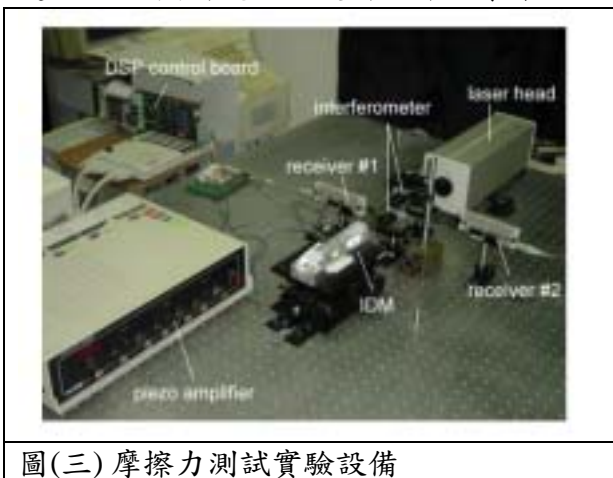
圖(二) 加速規式位置感測器實驗測試設備

(一)顯示速度訊號與  $\delta T^2 * T$  成正比。此結果與數位系統中之公式推導結果相符。然而由於電腦模擬的特性，我們無法進行連續系統的模擬，只能藉由實驗來驗證加速規式位置感測器的精準度。實驗設備如圖(二)所示。目前實驗仍在進行中。

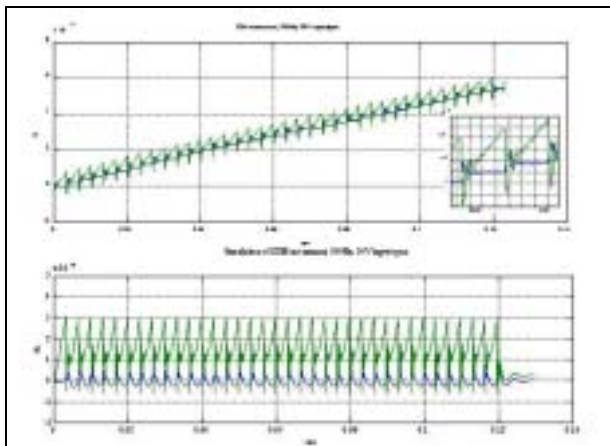
計劃成果的第二部份為摩擦力估計。圖(三)、圖(四)為摩擦力實驗設備及實驗數據。IDM 的滑塊(Slider)運動分程式可粗略描述如下，

$$\ddot{x} = -\mu g \cdot \text{sign}(\dot{x}) - \frac{m}{M+m} \ddot{x}$$

圖(四)顯示 IDM 之滑塊於 60V 或更高輸入電壓實乃按預定方式滑動，於 50V 時滑塊前後振動，並無淨位移。可能原因之一是摩擦力太小，已進入微觀摩擦力(Micro friction force)[5]。然而經由實驗數據，初步估算，摩擦力大小約為 10N，摩擦係數高達 ~7，此與滑塊運動後所估算之摩擦



圖(三) 摩擦力測試實驗設備



圖(四) IDM 位移，輸入電壓 60V, 50V

係數 0.2~0.3 相距太遠。因此，不能排除 Counter mass 於 IDM 動作時上下震動，因而造成正向力、摩擦力於 IDM 運動時的改變。粗略估算，Counter mass 與滑塊若不在同一平面上，約略 1 度的角度誤差，即可產生與與衝量馬達質量相同之正向力。因此我們將量測範圍 0.5g 之加速規黏貼於 Counter mass 上已估測正向力可能之改變。目前實驗正在進行中。

## 五、參考文獻

- [1] T. Higuchi, Y. Yamagata, K. Furutani and K. Kudoh, Precise Positioning Mechanism Utilizing Rapid Deformation of Piezoelectric Elements. IEEE, pp.222-226, 1990.
- [2] A. Lee and A. P. Pisano, Polysilicon Angular Microvibromotors. Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 1, No. 2, pp.70-76, 1992
- [3] Shih-Fu Ling, Hejun Du and Tieying Jiang, Analytical and Experimental Study on a Piezoelectric Linear Motor. Smart Mater. Struct. 7, pp.382-388, 1998
- [4] N. C. Tien, M. Daneman, O. Solgaard, K. Y. Lau and R. S. Muller, Impact-actuated Linear Microvibromotor for Micro-Optical Systems on Silicon. IEDM, pp.924-926, 1994
- [5] 鄭仲哲，利用壓電致動器之精密定位，博士論文，國立交通大學機械工程研究所