

應用聲射訊號於藍寶石晶圓研磨之砂輪狀態監測

Characterization of Grinding Wheel Condition in Sapphire Wafer Processing by Acoustic Emission Signals

林玉堃^{1*}、陳佳盟¹、趙克傑¹、鄭貴元²

¹ 工研院機械所 先進製造技術組 微奈米成型設備技術部

² 工研院機械所 先進製造技術組 微奈米成型設備技術部 經理

摘要：本文分析磨削藍寶石晶圓所發出的聲射訊號，定義出高精度硬脆材料薄化設備（立式磨輪加工機）的砂輪特性。我們研究了研磨時聲射訊號的頻率成份，以定義不同結合度的三個砂輪其頻帶特徵。利用頻帶進行均方根 (RMS) 與功率比 (ROP) 統計，計算不同結合度及表面狀態變化的訊號差異。分析結果顯示，透過功率比統計方法，能有效辨別砂輪結合度差異，而聲射訊號中頻帶 600~900 kHz 含有大部分藍寶石與砂輪間的研磨信息，利用離散小波變換和均方根統計，能成功描述磨削過程中砂輪表面狀態的轉變，本篇研究之成果將應用在智慧研磨監測系統中。

Abstract : The properties of grinding wheel condition for hard and brittle material thinning equipment such as vertical wheel grinder can be estimated based on analysis of acoustic emission (AE) signals during grinding process. In this paper, a study on the frequency content of the raw AE signals was carried out to determine the features of frequency bands from three grinding wheels with different grades. The signal characteristics of the surface condition change affected by different wheel grades were obtained from root mean square (RMS) and ratio of power (ROP) statistics at frequency bands selected from AE spectra. The results indicate that the proposed methodology can distinguish different grades of grinding wheel condition from each raw AE signals segment using the ROP statistics. Thus, based on AE spectra analysis, the raw AE signals contain most of grinding information at the frequency bands of 600~900 kHz. Discrete wavelet transform and RMS statistics are able to describe the change of grinding-wheel-surface condition during grinding process. These findings would be able to apply in particular application, such as in an intelligent grinding monitoring system.

關鍵詞：聲射訊號、狀態監測、砂輪表面狀態

Keywords : Acoustic emission signal, Condition monitoring, Grinding wheel condition

前言

晶圓薄化技術在光電半導體產業中一直扮演著重要的地位，無論是在前段基板磊晶或蝕刻前的薄化與平坦化處理，或是後段晶圓半成品背面薄化及拋光等製程，都需要精密研磨加工機來完成 [1]。垂直式輪磨加工機廣泛應用於高硬度平面

材料，如碳化矽、藍寶石、陶瓷、水晶等工件 [2]，搭配鱗片式鑽石砂輪，能達到快速減薄與平坦化的效果 [3]，其砂輪相對於加工件傾斜之角度，將影響整體研磨平坦度、表面品質及邊裂狀況，為薄化技術重要關鍵因子 [4][5]。

研磨的過程非常複雜且多變，而其加工品質仰賴於許多條件的相互配合，如製程參數、加工

機剛性、工件材料及研磨砂輪等 [6]，其中又以砂輪為最關鍵之變因，但由於砂輪是以大量多角型的微小磨料顆粒與結合劑混和後，再經由壓製、成形、燒結而成，因此砂輪的品質與許多因素息息相關 [7]，且在研磨過程中，砂輪的狀態會隨著製程不斷的變化，進而導致直接量測砂輪的狀態困難。

砂輪的選用需考慮磨料、粒度、結合度、組織及製法等，其選用條件取決於被研磨材料的特性。針對硬脆材料而言，砂輪除了應具備好的銳度與硬度條件之外，更為重要的是當磨料顆粒鈍化後，是否能有效進行自銳效應 (Self-sharpening Effect)，使砂輪保持良好的銳度狀態以維持磨削能力 [8]。若砂輪失去自銳性，即失去磨削能力，將可能造成加工精度不佳、晶圓表面燒傷、邊緣裂片、砂輪顫振與斷裂等狀況 [9]。

研磨過程中，砂輪表面的銳、鈍狀態 (Wheel State: Sharp and Dull) 與主軸電流負載變化相依，銳狀態代表具有良好的磨削能力，研磨時主軸負載較低 [10]；當砂輪表面漸漸變鈍時，磨削阻力變大會伴隨著主軸負載漸漸升高。若磨削過程中，砂輪能保持其自銳性，則主軸負載將維持於一定值直到加工結束 [11][12]。反之，當砂輪失去磨削能力又持續進行研磨，將導致工件與砂輪損毀，所以監控主軸電流負載為研磨監測最普遍方法之一 [13]，但電流負載所能呈現的資訊相當有限，僅能將其視為保護砂輪與工件的方式 [14][15]。

聲射訊號為材料受應力而變形或破裂時，因局部能量快速釋放，而產生的不連續固體聲波 (Acoustic Waves) 或稱彈性波 (Elastic Waves)[16]，此彈性波頻率一般超過 20 kHz，且不同材料所產生的訊號特徵皆不相同，但因其高頻不易受加工製程雜訊所影響之特性，再加上聲射訊號屬於非破壞性檢測，故在許多研究中，均利用聲射傳感器擷取砂輪與工件接觸的聲射訊號，作為監測砂輪狀態的方式 [17]。此外，亦能藉由訊號處理與機械學習等方法，找出加工缺陷與訊號特徵之間的關連 [18][19]。

聲射傳感器的訊號擷取頻率範圍選擇係依據感測的材料與環境來進行挑選 [20]，而其接收訊號方式可分為三種類型，分別是接觸傳導、空氣傳導與冷卻水傳導。以垂直式磨輪加工機來說，因研磨時主軸與工作旋轉軸將同時轉動，故需使用非接觸式的量測方式，其中空氣傳導類型需要變更設備才可進行安裝，而冷卻水傳導則僅需將冷卻水導向研磨工作區，即可透過冷卻水作為訊號傳遞的介質，同時還能達到冷卻的作用。

聲射訊號分析與特徵萃取

聲射訊號中包含大量的訊息，必須透過訊號分析技術來萃取出關鍵資訊並量化，以了解砂輪狀態變化情形及研磨過程是否發生異常 [21][22]。

1. 均方根計算 (Root Mean Square)

根據文獻 [23][24]，透過計算聲射原始訊號的均方根值 (AE_{RMS})，能反應出諸多製程狀態的變化，如判斷砂輪的振動、砂輪燒傷、砂輪磨耗、理想削銳深度等，其方程式表示如下：

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N v_i^2}, \quad (1)$$

其中 v_i 是聲射訊號的電壓值， N 為執行均方根計算的資料尺寸。

2. 功率比 (Ration of Power)

功率比是一種用於計算在功率頻譜上不同頻帶比率的統計方法 [25][26]，透過此方法，可以計算出特徵頻帶上的功率佔全段頻譜的功率比率，其公式如下表示：

$$ROP = \frac{\sum_{k=n_1}^{n_2} |X_k|^2}{\sum_{k=0}^{N-1} |X_k|^2} \quad (2)$$

公式中分母項為全段功率頻譜，其中 N 為訊號區塊的長度；分子項為欲觀察的特徵頻帶功率， n_1 到 n_2 為特徵頻帶的範圍，而 X_k 代表訊號經過離散傅立葉轉換 (DWT) 後的第 k 個的輸出值。

更完整的內容

詳見 ■ 機械工業雜誌 ■ · 426 期 · 107 年 9 月號

機械工業雜誌 · 每期 **220** 元 · 一年 12 期 **2200** 元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

匯款帳號：兆豐國際商業銀行新竹分行(代號 017)，帳號/ 203-07-02288-0

訂書專線：03-591-9339

傳 真：03-582-2011

機械工業雜誌 · 官方網站：www.automan.tw

機械工業雜誌 · 信箱：jmi@itri.org.tw