

工業工程專題

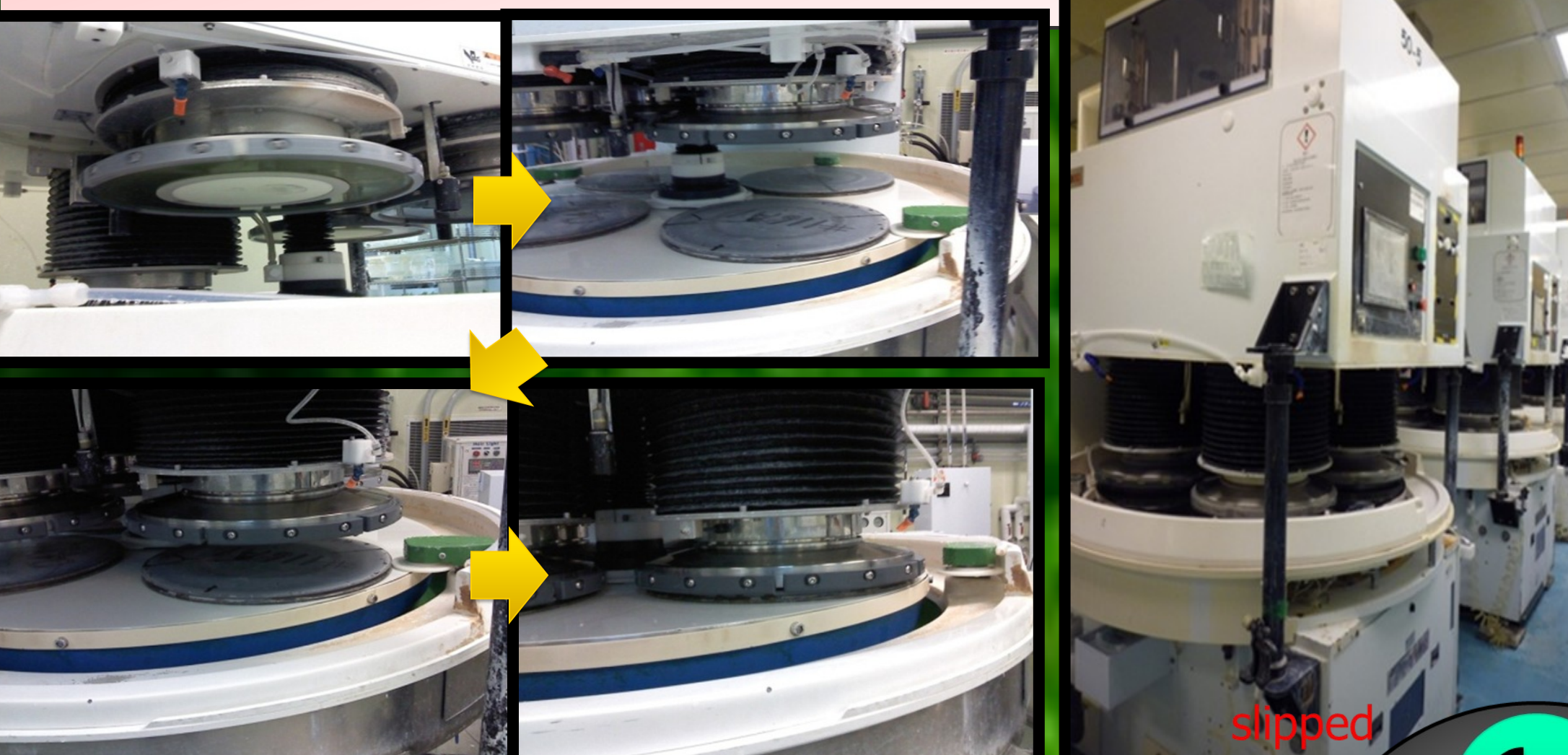
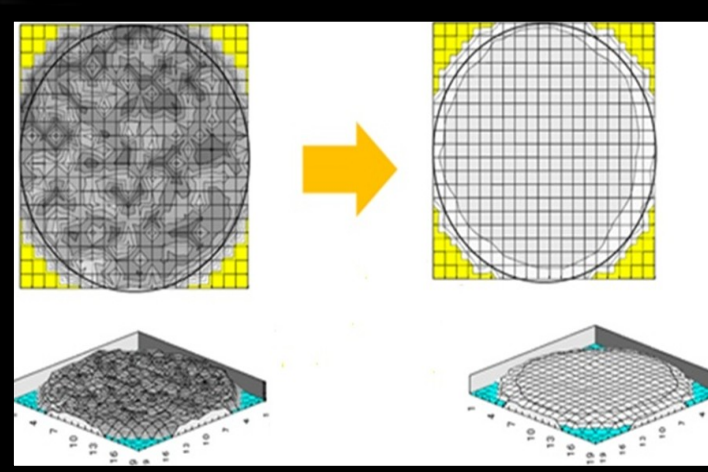
晶圓破片避免機構：離心真空

裝置創新之雛型實作

一、研究背景與動機

1. 化學機械拋光 Chemical Mechanical Polishing CMP

CMP 晶圓製程重要的步驟之一，目的在於將晶圓片加工至所需要的**厚度**與**表面平坦度**，並同時去除前方製成殘留下來的磨損、汙跡或坑洞，右圖為全厚度變異分析 Total Thickness Variation TTV，是一常用的檢測晶圓品質方法。



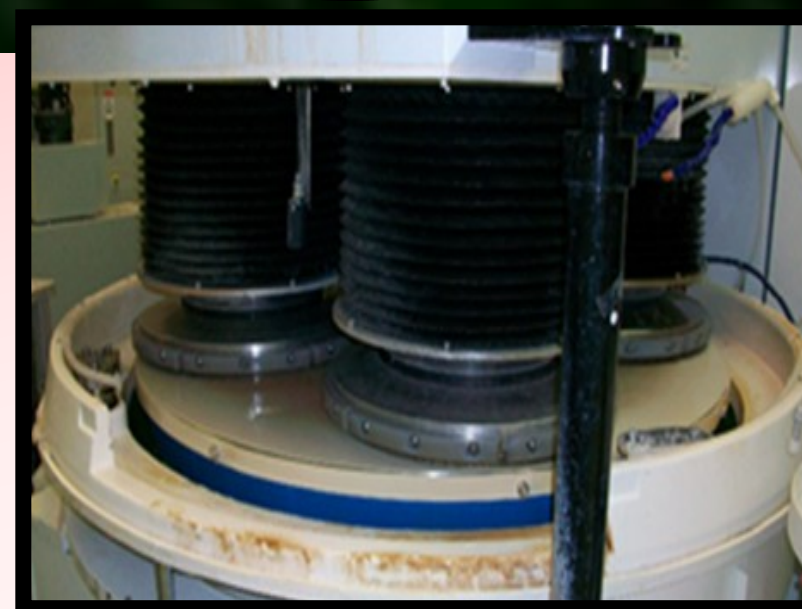
2. 晶圓破片問題

A. 載具內的絨毛層與晶圓之間的吸力不足，無法固定晶圓，導致晶圓沿著載具旋轉切線方向飛出。

B. 晶圓下方的拋光墊有時會產生一個瞬間拉力，將晶圓扯離載具，使晶圓沿著拋光墊的旋轉切線方向飛出。

3. 破片成本分析

每次破片，都會造成龐大損失，**單次破片成本為 964 美元**，工廠每個月發生 30 至 40 次破片，月平均 35 次，每年因為破片造成的成本有 **404880 美元**，是筆龐大的數字，因此本專題想針對晶圓在拋光時發生的破片問題進行改善。

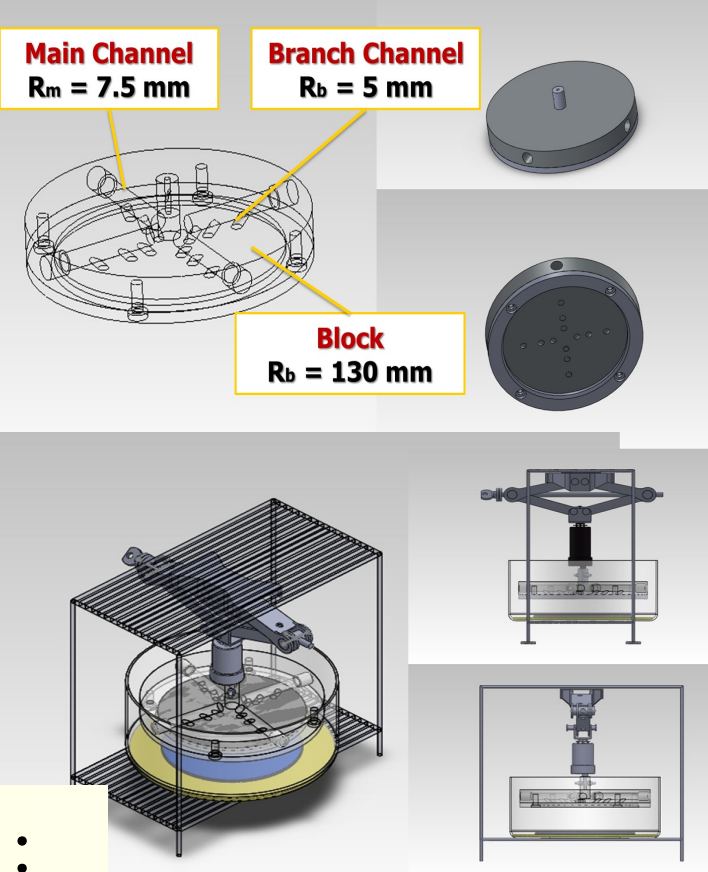


三、雛型製作與實驗

1. 實驗設計與建模

- 目的：A. 證實改良載具可旋轉產生真空
B. 證實產生的真空能吸住晶圓
C. 找出能產生真空的最小轉速

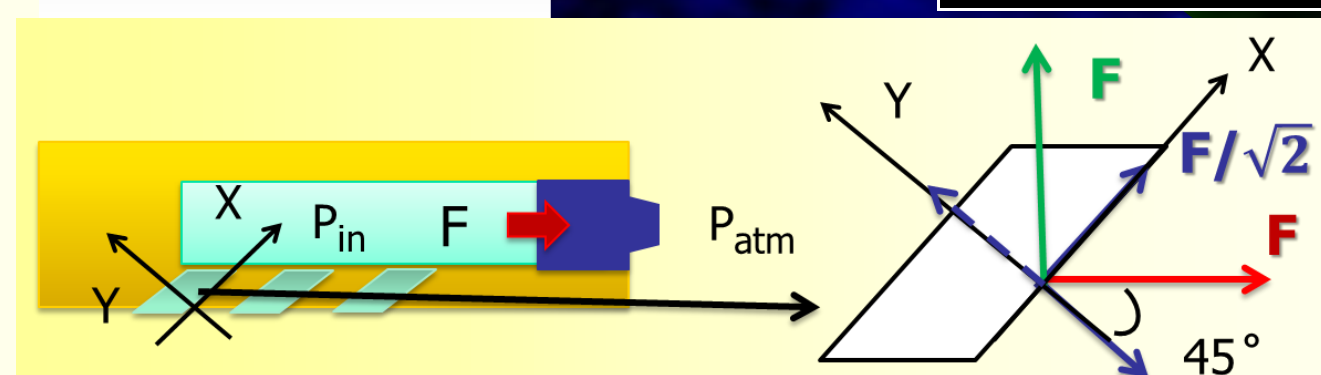
- 步驟：a. 改良載具雛形設計與製作(運用 SolidWorks 建模)
b. 觀察不同轉速下晶圓吸附狀況，尋找最小所需轉速



2. 實驗假設與參數計算

A. 起始狀態(載具內外壓力一樣，副孔道內注滿水)，啟動轉速計算：

副孔道內拋光液向上移動到主孔道的動能 $\geq$ 需要移動拋光液的位能
 $\int_0^{0.01} F_d/2 \, dh \geq \int_0^{0.01} m \cdot g \, dh$ ，求得啟動轉速 $\omega \geq 24 \text{ rpm}$



B. 穩定狀態(吸住晶圓，並且穩定的維持絨毛與晶圓之間的真空)

離心力 $\geq$ 單向閘上的壓力

$$F_c \geq (P_{atm} - P_{in}) \cdot A_c$$

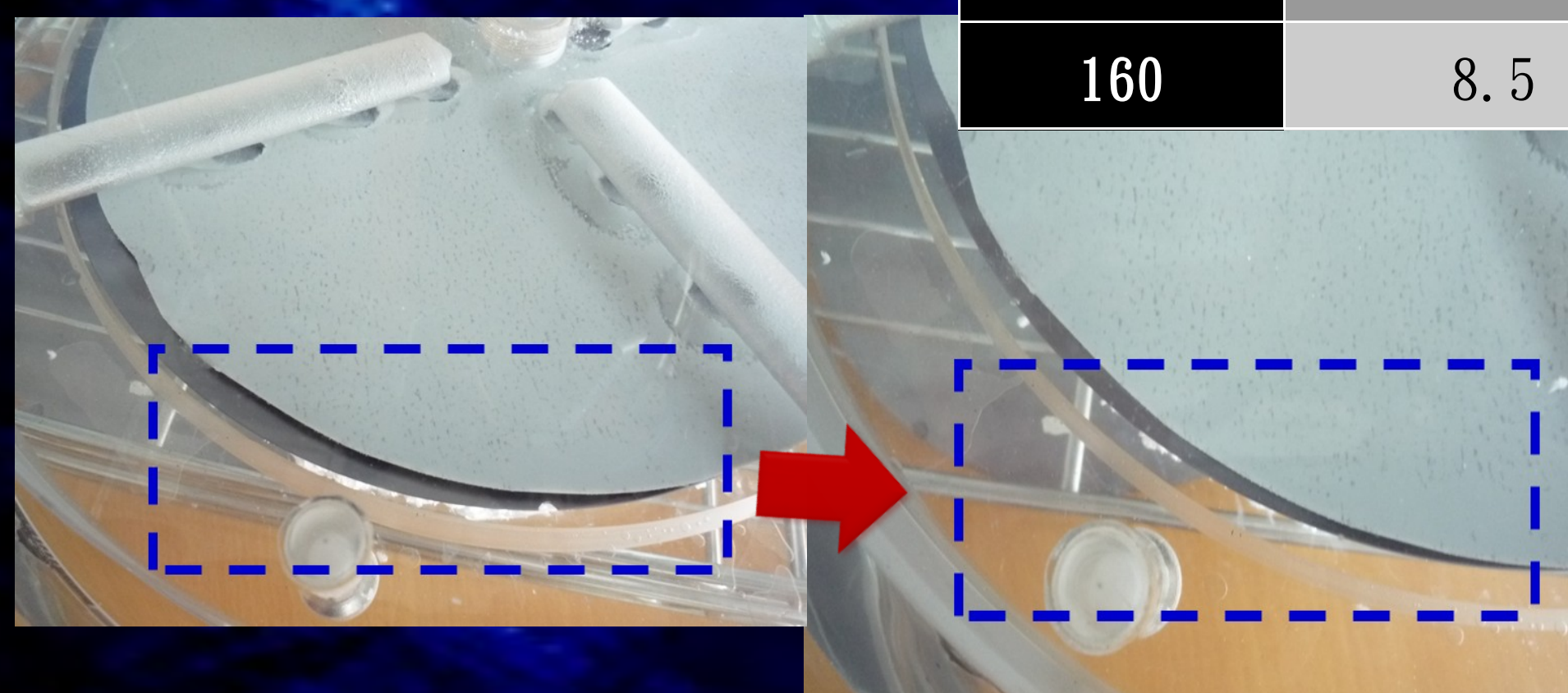
$$F_c = m_s \cdot \omega^2 \cdot R_b = \int_{0.02}^{0.13} ((1/4) \cdot 1000 \cdot R_m^2 \cdot \pi \cdot \omega^2 \cdot R_b) dR_b$$
$$= 0.000363 \cdot \omega^2 \geq (P_{atm} - P_{in}) \cdot A_c$$

$(P_{atm} - \text{所需內壓}) \cdot \text{晶圓面積} = \text{晶圓重力}$ ，**所需內壓 = 101311**

轉速 rpm	大氣阻擋壓 Pa	大氣阻擋力 N	現有離心力 N	可滿足內壓
24.00	101325.00	7.95	0.11	99884.96
35.00	101325.00	7.95	0.24	98262.42
50.00	101325.00	7.95	0.49	95074.83

3. 實驗觀察與實證分析

真空產生前，可明顯的看到由絨毛層貼紙形成的**陰影投射在晶圓上**，如左圖；而右圖為拋光 15 秒後，停機觀察的結果，因**晶圓緊密吸附在載具上**，**陰影消失**，**證實拋光時離心力產生的真空能將晶圓吸住**，停機後晶圓吸附在載具上的時間如下表，轉速越快，離心力越大，形成的真空越強，晶圓吸附的時間越久。實驗發現所需最小轉速為 35rpm，比計算多了 1.5 倍，因此訂安全係數為 1.5，以之計算工廠實際的所需轉速。



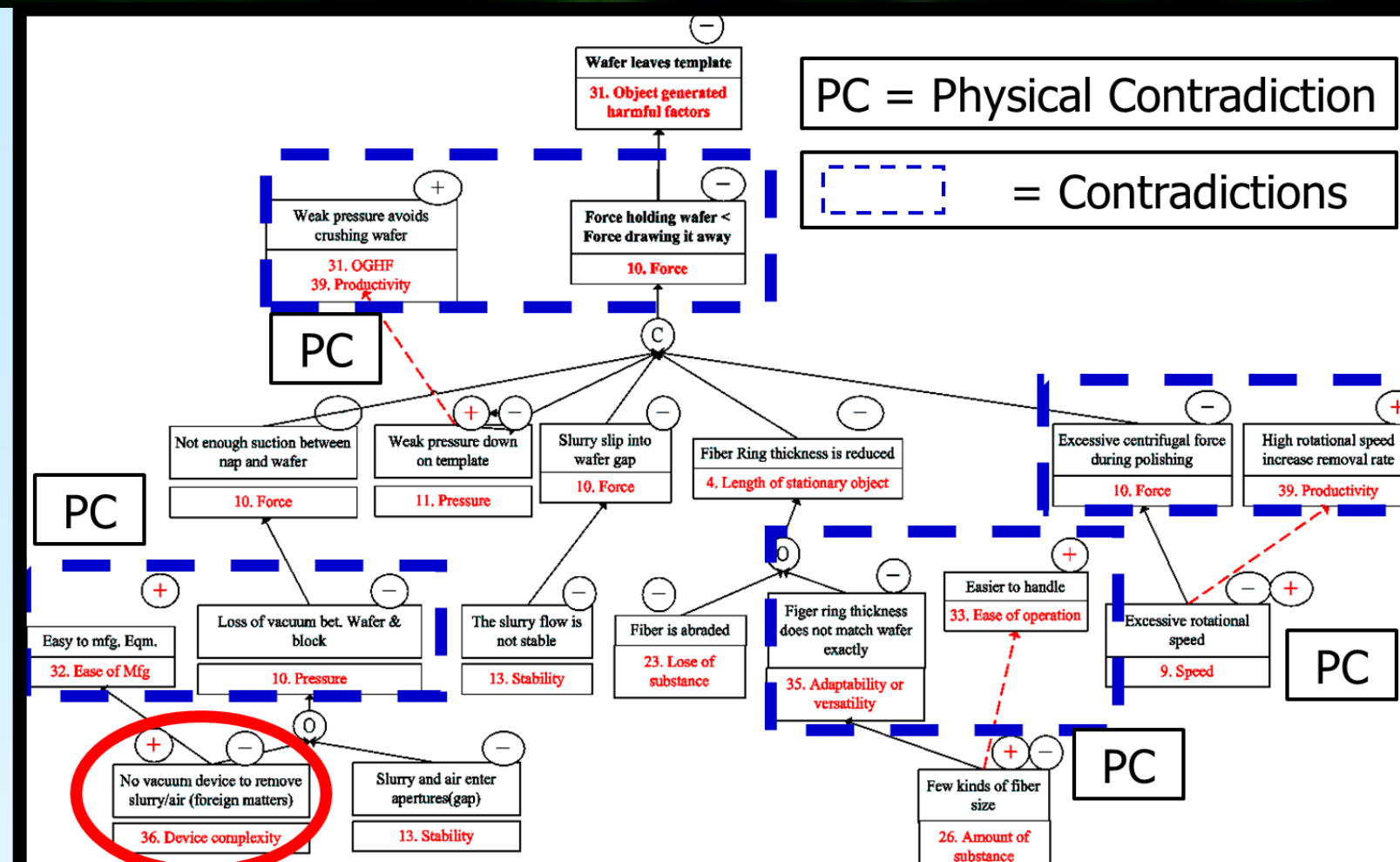
指導教授：許棟樑 學生：張心恆

二、以萃智(TRIZ)系統方式分析與解決問題

1. 因果衝突鍊分析 Cause-Effect and Contradiction Chain

從結果推導原因，找出矛盾。從「晶圓離開載具」的結果，到根本原因「缺乏現有設備能提供足夠的真空吸力」。

沒有足夠的真空吸力是因為在拋光時，**空氣與拋光液**會不斷的進入晶圓與絨毛層之間，破壞起始時由毛細現象形成的真空，本專題針對「**形成真空**」進行分析，並以此改善晶圓破片問題。



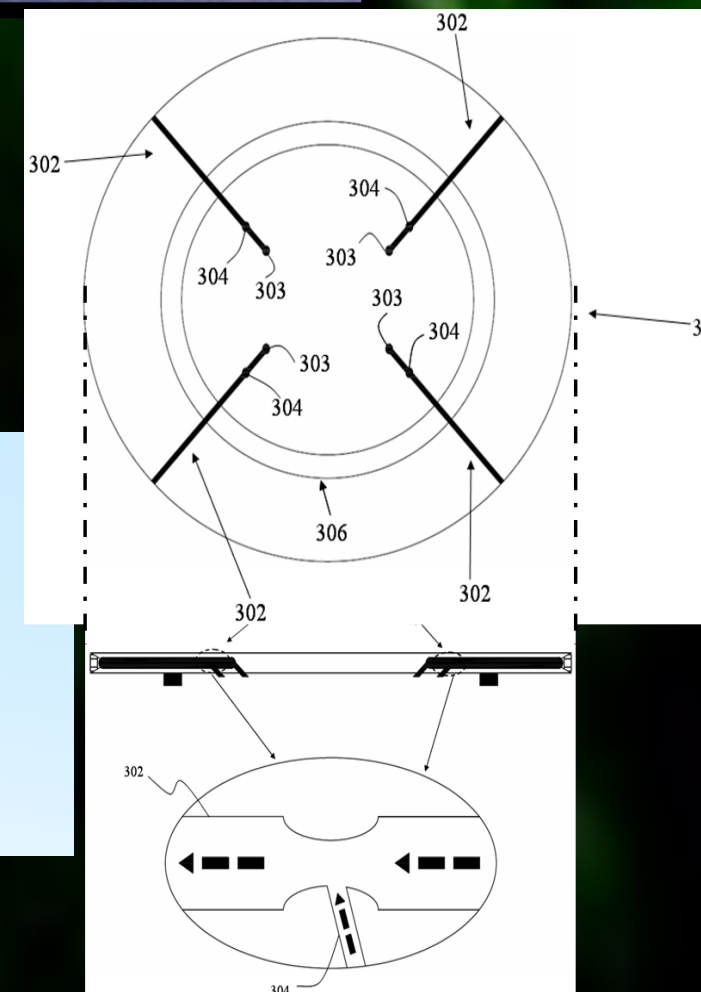
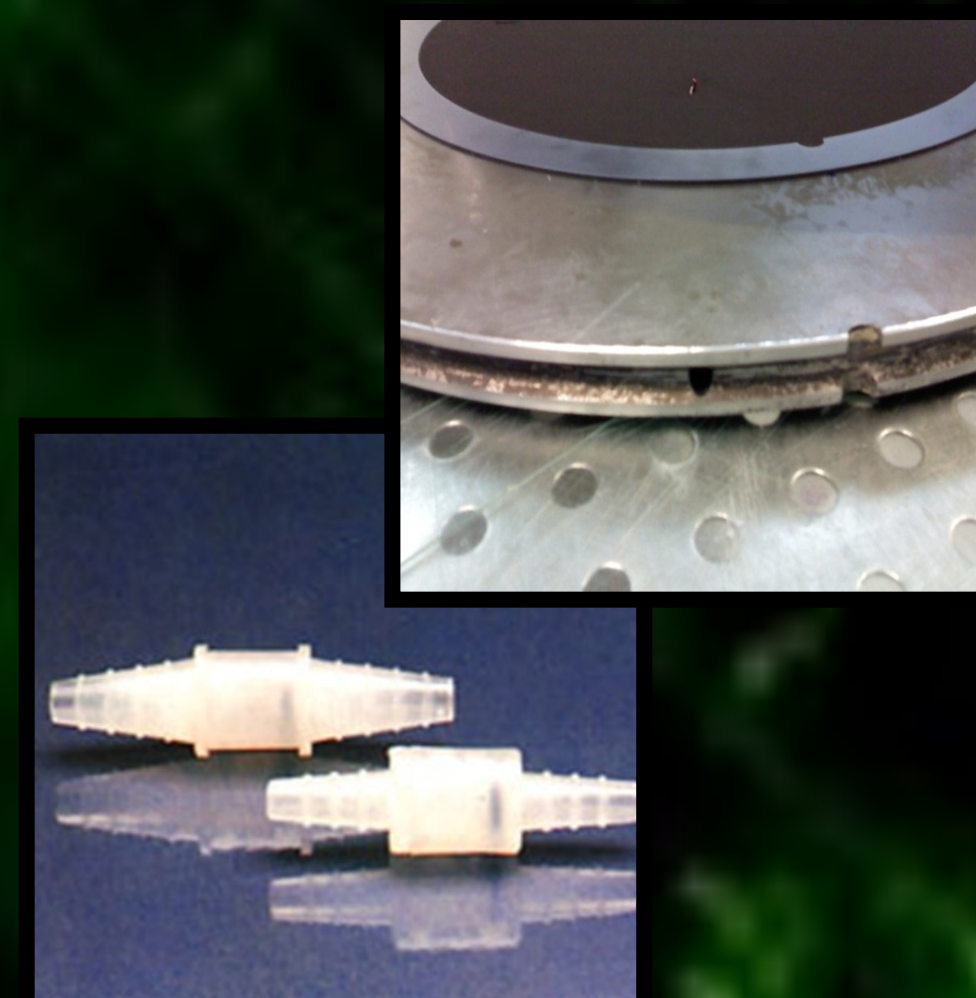
2. 功能-屬性-效果知識庫 Function-Attribute-Effect Knowledge Base

需求效果輸入：**移除、氣體/液體**

資料庫相關功能與屬性輸出：**離心力、伯努利定理、吸附**

3. 資源搜尋表格 Resource Searching Table

資源	資源問題	資源狀態	可行方法
晶圓	如何讓 晶圓 提供真空？	旋轉	不能改變
絨毛層	如何讓 絨毛層 提供真空？	旋轉	絨毛層太小
載具	如何讓 載具 提供真空？	旋轉	通道產生離心力
玻璃纖維層	如何讓 玻璃纖維層 提供真空？	旋轉	玻璃纖維層太薄



4. 解決方法與專利

利用**拋光旋轉的離心力**將空氣與拋光液從孔道帶離絨毛層與晶圓之間，也就是在載具上鑽孔，孔道分為主孔道與副孔道，其口徑設計參考**伯努利定律**，每個主孔道口外都加裝**一單向閘(Check Valve)**避免空氣、液體回流。

5. 中央真空管與離心力解法比較

比較項目	拉中央真空線產生真空	使用離心力產生真空
完成容易度	困難 。中央線通過零件都會受影響。	容易 ，只要在現有的載具上鑽孔。
使用能量	需要額外能量 產生真空	使用現有旋轉能量， 不用外加能量 。
真空洩漏	轉動時零件間隙可能破壞真空。	不必考慮。旋轉時離心力就會存在。
成本	昂貴 ，長真空線、真空設備費用。	便宜 ，僅需要鑽孔費用與單向閘成本。

轉速(rpm)	吸附時間(sec)
25	0
35(MIN)	3.5
50	4
100	5
130	7.5
160	8.5

四、系統評估與結論

晶圓廠機台轉速為 35 到 55 rpm，**廠內載具直徑為實驗載具兩倍**，重新計算轉速：**所需轉速為 14 rpm**，可被現有轉速滿足，將現有載具鑽孔並加裝單向閘，扣掉各項成本，**每年可省下近四十萬美元**。

由萃智手法找到的真空-離心力改善方法經過實驗證實，對於晶圓破片問題可以有良好的改善，相較於傳統的真空管線，此解法不需要投入額外的昂貴設備或能源，只需要在載具上鑽孔及安裝單向閘，且真空吸附機制隨著旋轉啟動，亦隨著旋轉停止，不會造成人員操作上的麻煩，非常適合用於受破片問題困擾的晶圓研磨廠。

101 年度 工業工程專題

清華大學工業工程與工程管理學系

