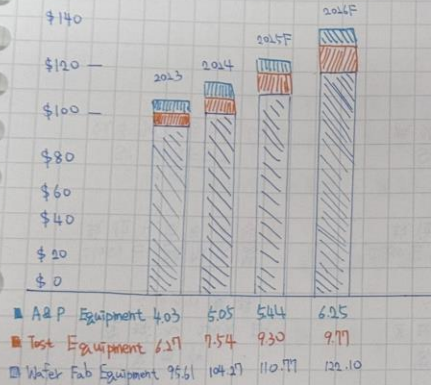


10/7 洪丹和博士 半導體電漿電源的演進，應用與設計關鍵

受惠於 AI 而持續成長的半導體設備市場

SEMI 2025 Mid-Year Total Equipment Forecast  
by Segment (US\$ Billion)



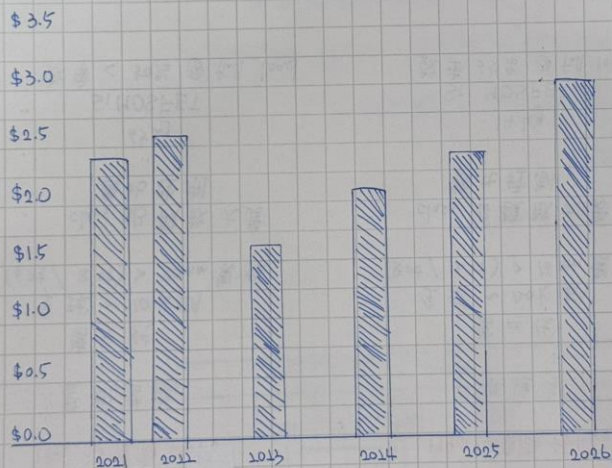
Source: SEMI Equipment Market Data Subscription (EMDS), July 2025

Total equipment includes new wafer fab, test, and assembly and packaging. Total equipment excludes wafer manufacturing equipment. Totals may not add due to rounding.

• 前 10 大半導體設備營收及電漿電源市場趨勢

前 5 大設備商都是電漿製程設備，  
高技術與高成長

\$(in billions) 半導體製程子系統電漿電源裝置



• 電源供應的世代演進與啟示

1980 ~ 原廠停修

整機替換

第一代

全球 ~ 10 K EA  
(6吋 / 8吋) > 90 nm 製程

class AB 類放大器  
類比控制

65 kg

Si MOSFET

效率 < 50% @ full load

1990 ~ 原廠停修

升級維修

第二代

全球 ~ 100 K EA  
(8吋 / 12吋) > 16 nm 製程

class E 類放大器  
類比控制

14 kg

Si MOSFET

效率 65% @ full load

2000 ~

維修保養

第三代

全球 ~ 200 K EA  
16 ~ 90 nm 製程

class E 類放大器  
數位 + 類比控制

21 kg

Si MOSFET

效率 65% @ full load

2010 ~

維修保養

第四代

全球 ~ 200 K EA  
< 16 nm 製程

class E 類放大器  
數位 + 同步 + 變頻

16 kg

Si MOSFET

效率 70% @ full load

2022 ~

保固中

第五代

全球 ~ 50 K EA  
< 3 nm 製程

class E 類放大器  
數位 + 同步 + 變頻

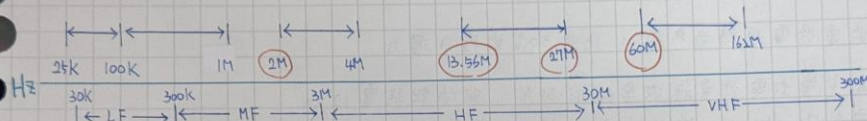
16 kg

Si MOSFET

無須 Matchbox



• 半導體電漿電源的種類與特性：



• 半導體蝕刻電漿系統 (Plasma Etching Power System)

控制方法 × RF 頻率混合 × 負載特性

△ 系統架構：RF Source (13.56 MHz) → Match Box → Chamber

控制方式：CEX Control、Pulsing Control、Mix RF Frequency

△ 控制方式解釋

- CEX Control：同頻或不同相位/角度的複雜控制
- Pulsing Control：高頻方波開關控制，穩定電漿密度
- Mix RF Frequency：Source 與 Bias 不同頻率混合 (如：13.56 MHz + 27.12 MHz)

△ 主要問題與現象

Coaxial Cable Effect (同軸線效應)  
傳輸線長度 (如 0.9m ~ 1.1m) 會影響阻抗與反射，導致電壓波動

Inductive Load (感性負載)  
電感效應造成相位延遲、功率損耗增加

Capacitive Load (容性負載)  
造成電壓振盪，需透過匹配網路調整

Matchbox 到 Chamber 的匹配  
負載變化會改變阻抗匹配狀態，需要即時調整

✧ 不同負載特性 (感性/容性) 對 RF 能量傳輸有顯著影響。

控制與匹配的協同設計是穩定電漿與提升製程良率的关键。

• 現行高頻電漿電源三大瓶頸：電力品質、效率、能耗

△ 電力品質：諧波失真率最低卡在 30%。

△ 矽元件的電漿電源轉換效率：仍有 30% 的提升潛力

△ 5kW 真空管的電漿電源效率低於 30%，啟動就耗電 12 kW

廠務供電 (17000W) = 損失 (12000W) + 輸出 (5000W)

效率 = 輸出 / 輸入 = 5000W / 17000W = 29.4%

• 電力品質問題：30% 是現行電流諧波天花板

△ 在現行電源設計中，電流諧波 (THD) 隨負載變化會造成失真問題。  
約有 30% 的情況下，電流波形已達到設計極限 (天花板)。

△ 美製一代：THD 約 70%，品質較差

美製二代/三代：改善至 20-40%

歐製二代：約 30%

陸製：最低 THD，10% 以下

△ 不同電源設計在負載變動下諧波控制能力差異明顯。  
高諧波會導致設備發熱、效率下降，甚至干擾其它機台。

• 電壓降低問題：SEMI F47 標準與實際應用差距

△ 電壓驟降會導致設備停機、控制系統重啟。  
SEMI F47 是半導體設備電壓驟降容忍度標準

△ 標準內容

電壓維持比例	時間持續	要求
80%	持續 1 秒	可接受
70%	持續 0.5 秒	可接受
50%	持續 0.2 秒	可接受
< 50%	不可接受	

△ 問題說明：

• 實際工廠環境中，電壓驟降幅度的頻率遠超出 F47 標準範圍

• 很多設備雖符合 SEMI F47，卻仍會在實際應用中停機

• 顯示標準距離「真實應用需求」仍有落差



## • 電壓壓降下電源反應問題

在以下兩種情況：

1. 電源沒有跳脫：  
波形雖有波動，但電源仍維持運作
2. 電源沒有撐住：  
壓降後電源失效或停止運作。

△ 電源設計的壓降容忍度是關鍵

改善方法已經提升電源的瞬增加電壓穩定設計

## • 電壓壓降問題

觀點對立：廠務視野 vs 設備視野

工廠電力系統與設備端感受到的壓降現象常不同

統計資料 (PIP 監測結果)

監測期間 2005/01/01 - 2005/12/26

— 事件總數：11 起

SEMI F47 為半導體製程設備電壓暫降容忍標準

— 違反 SEMI 標準事件：3 起

## • 電壓壓降事件分析

△ 實際測得事件 (例)

- 電壓壓降時間：75.8 ms，壓降幅度 - 15.8% (TPC 端)
- 電壓壓降時間：176 - 200 ms，壓降幅度 - 18.8% 至 - 10.1%

△ 壓降事件時間雖短，但對設備造成影響

△ 設備端可觀察到與工廠端不同的壓降程度

## • 電源散熱問題

美國製第 2、3 代電源沒有散熱孔，容易導致过热

△ 實例：第 2 代與第 3 代電源指板無明顯散熱設計  
第 4 代開始改善，增加散熱孔與散熱效率

△ 熱像儀監測結果：

第 1 代溫度 70-90-150 °C

第 2 代溫度 90-110 °C

熱累積導致：元件故障

重大工安隱憂

△ 散熱不良 → 熱累積 → 故障與安全問題

△ 電壓壓降 → 設備誤停機或異常

△ 改善方向：

1. 新一代電源應加強散熱設計

2. 電源應符合 SEMI F47 壓降耐受標準

3. 實務上需同步觀察「廠務電力端」與「設備端」資料

• 老舊的功率量測技術：良率的隱形殺手

• The power output from an RF generator can be measured in terms of forward and reflected power.

•  $P_{\text{forward}} = (V_f)^2 / 50 \Omega$

•  $P_{\text{reflected}} = (V_R)^2 / 50 \Omega$

VSWR > 4 就失真

