

# 網通產業報告-低軌衛星

大Mentor:薛浩瑞  
小Mentor:許哲睿

組員:尤奕欣、郭許謙、李苡慧、張琳佳、張印寬、林昀熹

# 報告大綱

- 01 | 產業鏈
- 02 | 產業概況
- 03 | 成長動能
- 04 | 投資機會
- 05 | 潛在風險
- 06 | 結論

# 結論



## 2023年至2031年全球低軌衛星市場 CAGR為33.8%

### 產業概況

- ▶ 低軌衛星符合市場高傳輸、高覆蓋率的需求，以更高寬頻、穩定的無線傳輸，且相較於5G可以克服傳統基地台設置的地形限制、擁有較廣的訊號範圍
- ▶ 2030年全球將有1.7萬枚衛星發射部署，10年CAGR有33.8%。
- ▶ 目前全球低軌衛星市場主要有三家公司，其中又以Starlink的發射衛星數量最多，對市場影響力最廣。

### 產業動能

- ▶ Space X發射技術的提升使未來3-5年低軌衛星發射成本預計快速下降至每公斤200美元，成本的降低有助於未來民營商機的發展。
- ▶ 全球偏遠地區仍有超過一半的人無法享受到網路的便利，低軌衛星對於基礎設施市場上存在商機。目前美洲及亞太地區，如中國等擁有廣闊領土的已開發國家為目前低軌衛星的主要市場。
- ▶ 太空資料中心可以解決傳統資料中心的永續問題。全球雲端服務大廠已積極搶進衛星應用領域，結盟衛星業者，提供雲端服務、地面站即服務。

# 01 產業鏈



# 低軌衛星產業鏈

## 衛星製造(本體)

天線／線束

漢翔、耀登

PCB／模組構裝

精測、華通、燿華、新復興、台光電、同欣電

太陽能

元晶

## 衛星地面設備

小型地面站  
(VSAT)

台揚、啟碁、兆赫

衛星電視接收降頻器(LNB)

天線

耀登、啟碁

GPS

聯發科、麗臺、佳邦

功率放大器

穩懋、全訊

晶片

聯發科、台積電

微波/毫米波元件

昇達科

## 衛星發射

\*台廠仍在發展中

美系公司：  
Space X、Amazon、  
Telesat

歐系公司：  
OneWeb

## 衛星服務

電視／通訊

中華電信  
(與 OneWeb 簽約)

氣象

衛星影像遙測

## 02 產業概況

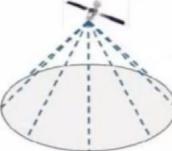
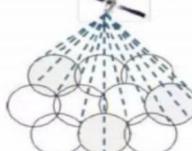


# 低軌衛星以高通量衛星的角色進入市場

**目標：迎合高傳輸量需求、高覆蓋率，實現更高頻寬、穩定性的無線傳輸**

- ▶ 點波束相對寬波束可以提供更穩定、更高頻寬的傳輸。
- ▶ 傳統衛星相較於低軌衛星離地球較遠，低軌衛星就享有較少的能量損耗，更有機會有高頻寬的傳輸。
- ▶ 低軌衛星相對於傳統衛星及高軌衛星具有成本及頻寬的優勢。

**傳統衛星與高通量衛星的差異**

公司	傳統衛星	高通量衛星
圖示		
軌道	以高軌道為主，單位衛星覆蓋區域廣，資源接近飽和。	以中低軌道為主，軌道資源豐富。

**不同衛星的差異**

種類	高軌衛星 GEO	中軌衛星 MEO	低軌衛星 LEO
用途	衛星通訊、廣播、電視、輔助定位	定位、導航	軍事、通訊、遙控、導航、氣象
成本	最高	定位、導航	軍事、通訊、遙控、導航、氣象
年限	最長	最短	最短

## 低軌衛星相較 5G 能克服地形限制且訊號覆蓋範圍較高

**相比 5G 的優勢：可以克服傳統基地台設置的地形限制、擁有較廣的訊號覆蓋範圍**

- ▶ 低軌衛星的平均汰換年限為 5 年，相對於 5G 基地台的 15~20 年可以更高頻率的更新最新的通訊技術。
- ▶ 現階段除了掌控偏遠地區及網路訊號較差區域的市場外，在有穩定網路訊號區域也能和電信業者合作，輔助現有基地台訊號的不足，也能提供電信業者在未來建制 6G 基地台時，能多一項發展方案。

**Starlink 與台灣市場的比較**

國外	Starlink	100 mbps	< 30ms	NTD 2800	可涵蓋偏遠地區、海上、空中	相對地面通訊傳輸距離較遠、訊號品質較差
		最高下載速率	延遲	費率	涵蓋	通訊品質
國內	5G 行動寬頻	1.5 Gbps	< 10ms	NTD 1399 ~ 2399	台灣平均涵蓋率達 90%	光纖傳輸速率快又穩定
	固網寬頻	1 GBps	< 10ms	NTD 599 ~ 2699	都會區及室內涵蓋佳	都會區訊號穩定、速率快

資料來源：NCC

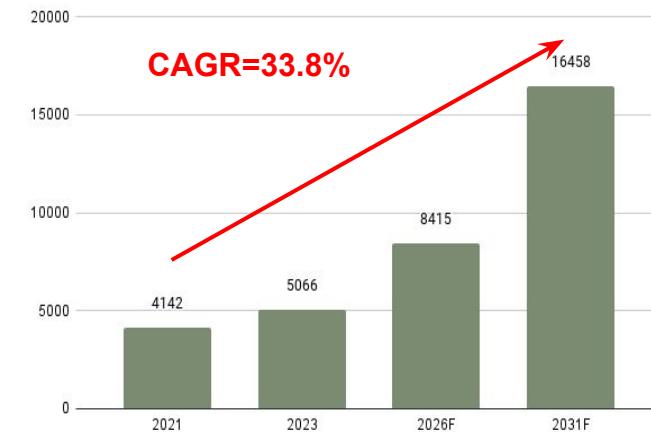
## 2030年全球將有1.7萬枚衛星發射部署，10年CAGR有33.8%

- MIC預估，低軌衛星顆數預估從2023年7,500顆，成長至2030年17,350顆，創造4,000億美元規模的產值。
- 2023年全球低軌衛星市場規模達50.7億美元，到2031年預計將達到164.6億美元，2023年至2031年複合年增長率(CAGR)為33.8%。

到2030年各公司預計發射數量(單位:顆)

企業	計畫名稱	計畫發射數量(顆)
Space X	Starlink	11,927
Amazon	Kuiper	3,236
OneWeb	Oneweb	650
Teleset	Lightspeed	512
Kepler	Kepler	140
Globalstar	Globalstar	17

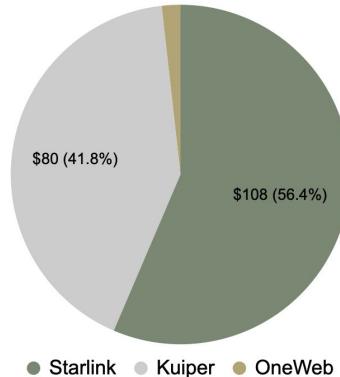
全球低軌衛星市場規模(單位:百萬元)



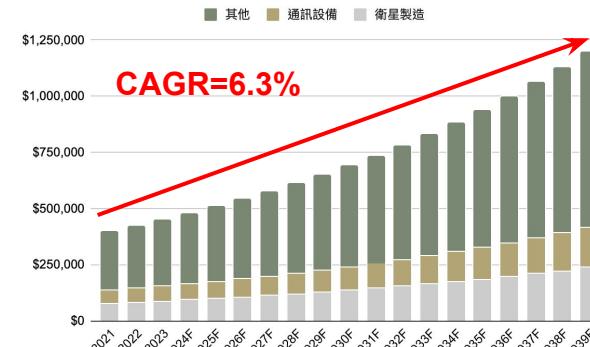
## 三大低軌衛星廠商市占概況

- ▶ Space X—Starlink星鏈: 市值最高。目前的產品線及業務範圍最完整(涵蓋歐、美、亞、非洲等偏遠地區)，客戶訂單主要為B2C。
- ▶ Amazon—Project Kuiper: 主要負責美洲、歐洲及非洲業務，客戶訂單主要為B2C。
- ▶ OneWeb: 曾因融資問題破產，目前與Eutelsat併購，且距離完成目標發射數(648顆)最接近的公司，客戶訂單主要為B2B。

三大公司市值佔比(單位:十億美元)



太空經濟產值趨勢(單位:美元)



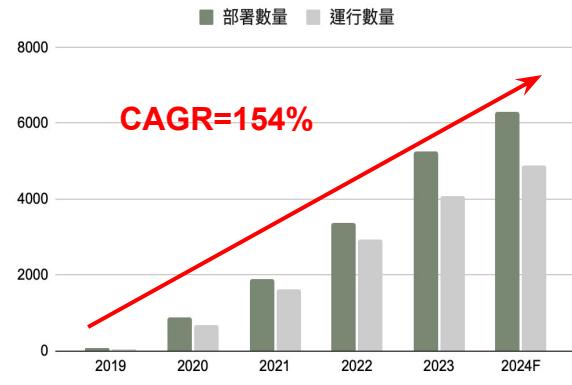
## Starlink低軌衛星的最新規格提升與 Starship(星艦)載運量的效率提升

- ▶ 追蹤星鏈至Group 6-52 (2024/04/19), Starlink共發射了6,258顆(已部署)低軌衛星。
- ▶ 根據Satelite Tracker的歷史數據, 目前軌道上最多的型號為v1.5, 且Starlink部署及運行中的低軌衛星皆逐年增長, 2019年至2024年(預計)年複合成長率為154%。
- ▶ 與Falcon-9及Falcon Heavy平均的一次載運量75顆相比, 新型火箭**Starship有效載運量一趟約 110~120顆v2.0**低軌衛星, 大大提升平均衛星部署效率。

**Starlink低軌衛星規格**

LEO型號	每顆重量	每顆平均造價(不含分攤後發射費用)	衛星特色
v1.0	260kg	US\$250,000	衛星間不可互相通訊
v1.5	306kg	US\$250,000	星間可互相通訊, 20 Gbps
v2.0 mini	740kg	NaN(數據未公佈)	星間可互相通訊, 80 Gbps
v2.0	1,250kg	NaN(數據未公佈)	星間可互相通訊, 80 Gbps

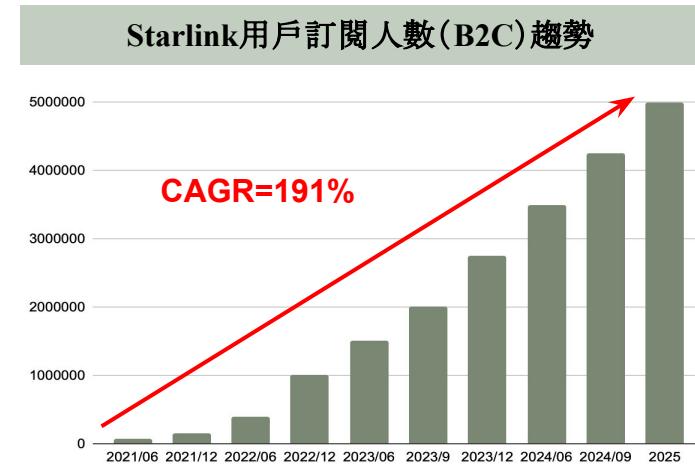
**Starlink低軌衛星發射數量**



## Starlink推出用戶端(B2C、B2B)方案，瞄準衛星網路市場的攀升需求

- 根據目前更新的數據，Starlink訂閱用戶約有200萬人，未來2025年可預期將有500萬用戶。
- Starlink用戶端方案可分為B2C及B2B。B2C方案分為四類涵蓋(居家、商用、便攜式、移動式)；B2B方案適用於航空業及航海業，目前合作廠商：夏威夷航空、airBaltic、Zipair Tokyo、JSX。
- 航空(Aviation)B2B方案：運用低軌衛星**高速低延遲傳輸訊號**，取得傳統衛星訊號的傳輸成本，將使得未來**機上網路費用的降低**。

客戶群	網路方案	每月訂閱價格	裝置費用	網路速度
B2C	Residual	\$120	\$599	25~220Mbps
	Business	\$250	\$2,500	100~220Mbps
	Roam	\$150	\$599	5~10Mbps
	Mobility	\$250	\$2,500	220Mbps
B2B	Aviation	\$12,500~\$25,000	\$150,000	350Mbps
	Maritime	\$5,500	\$10,000	100~350Mbps



## OneWeb主打B2B市場，專注電信營運商、企業、政府機關、海事、航空等

- OneWeb於2020年申請破產。法國的Eutelsat於2023年9月28日完成了與英國OneWeb的全股合併。如今新成立的公司已形成為歐洲通訊衛星集團，將把GEO和LEO合併在一起，提供更全方位的衛星服務。
- OneWeb Gen 1目前已發射**634多顆低軌衛星**，預計到 2024 年中，OneWeb衛星訊號**全球覆蓋率將達到 90%**。去年 5 月，SpaceX發射了 OneWeb Gen 2 技術演示器，使用與 150 公斤 Gen 1 太空船相同的平台。OneWeb Gen 2 衛星預計發射300 顆左右，但新一代衛星體積更大，能夠提供現在三到五倍的容量，有助於覆蓋高需求地區。

**OneWeb 覆蓋範圍**



**OneWeb 全球客戶**

北美洲	Connecta Satellite Solutions	阿拉斯加等提供OneWeb服務的地區客戶可體驗到每秒高達195兆位元的下載速度和32Mbps的傳速度，延遲為70毫秒。
歐洲	義大利電信、Orange、德國電信	主要為B2B商業模式。
亞洲	Hanwha、中華電信	Hanwha: OneWeb的B2B衛星服務，客戶將每天24小時的服務。 中華電信: 取得OneWeb獨家代理權，國內佈建700個及國外3個LEO衛星終端熱點。
印度	OneWeb India	獲得印度政府機構IN-SPACe核准衛星寬頻服務。

## Kuiper system 擁有 AWS 優勢，主打 B2C 商業模式

- ▶ 2023年10月發射2顆衛星，最終目標為營運由 3,236 顆衛星組成的星座，預計2024年將發射360顆，2025年發射約1000顆低軌衛星。現階段主要為B2C商業模式主打家庭用戶，分布範圍在美洲、歐洲、非洲與日本。
- ▶ Kuiper 專案將提供與 AWS (Amazon Web Services) 的私人連接，為商業和政府客戶提供服務，在物流與雲端運算平台方面擁有顯著優勢。利用 AWS 的基礎設施、資源和經驗，進行衛星通訊系統的開發和管理，並在天線和 AWS 之間提供點對點 (P2P) 通信。
- ▶ Amazon Prime 在全球擁有超過2億廣泛的營運網絡和客戶基礎，為 Kuiper 提供市場機會與基礎設施優勢。

Kuiper system 全球客戶			Kuiper system 客戶端天線		
美洲	Verizon	擴展 Verizon 4G/LTE 和 5G 數據網絡	輕薄型	網速 100 Mbps	經濟型家用需求或有移動和物聯網需求的企業與政府用途。
歐洲	Vodafone	主要為B2C商業模式	家用型	網速 400 Mbps	商用客戶端
非洲	Vodacom	主要為B2C商業模式	企業型	網速 1 Gbps	高頻寬需求的企業、政府和電信應用設計
日本	日本電信電話 (NTT)、SKY Perfect JSAT	NTT: 主要為B2C商業模式 SKY Perfect JSAT: 主要為B2B商業模式			

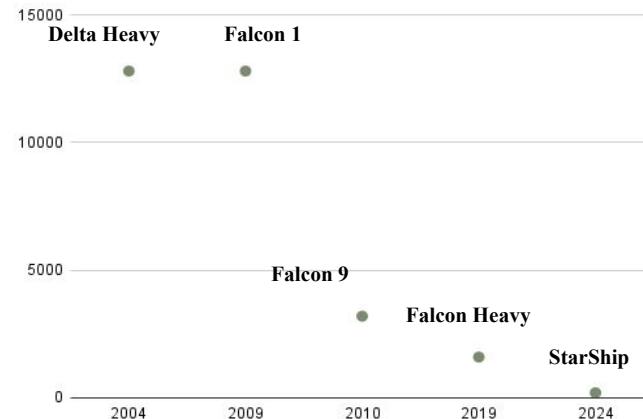
## 03 產業動能



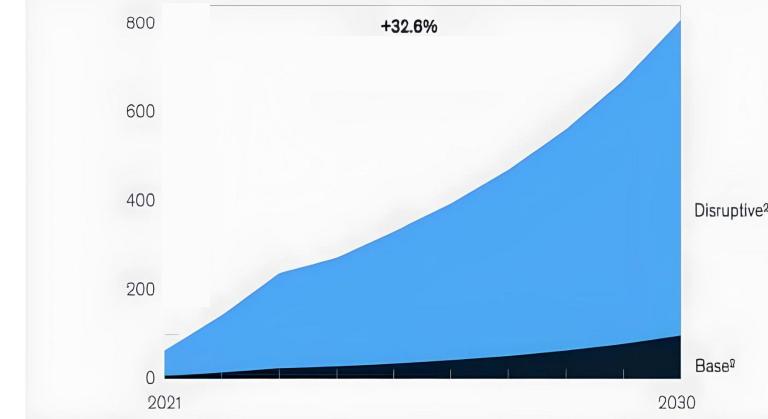
## 低軌衛星未來發射成本降低，刺激衛星商用通訊市場成長

- SpaceX不斷發展可回收、載更多衛星的大型火箭，讓低軌衛星火箭的發射成本從每公斤8.5萬美元，下降至900美元，未來3~5年，預計快速下降到每公斤200美元。在快速製造與發射成本減低因素下，推升低軌衛星的民營商機。
- McKinsey報告指出如果有效降低衛星發射成本，未來商用衛星市場以CAGR32.6%成長至2030年。

2000年後每公斤火箭發射成本

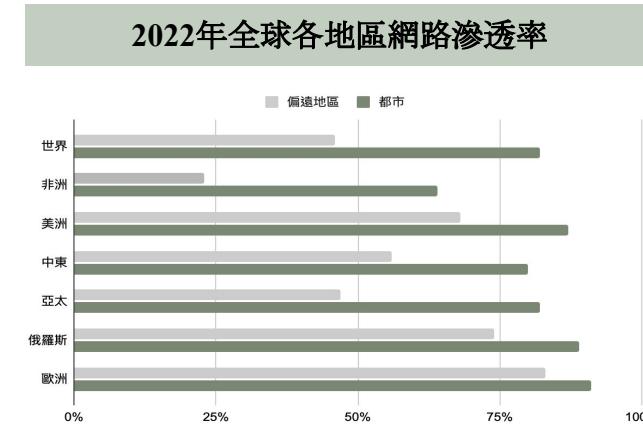
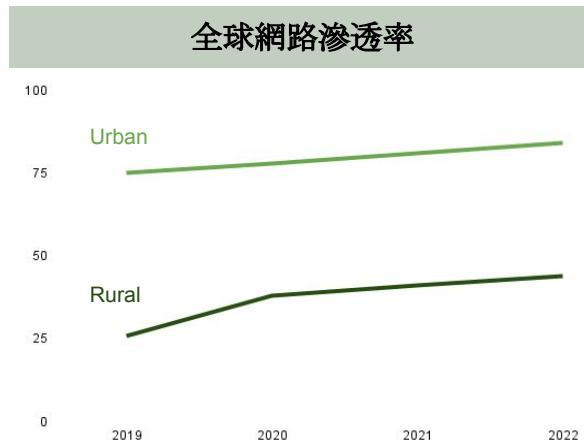


衛星網路成本降低後市場成長率



## 全球偏遠地區網路覆蓋率仍舊不足，目前以美洲及亞太地區為主要市場

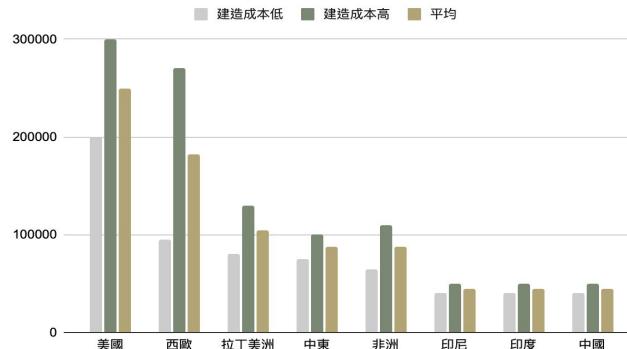
- ▶ 全球的網路覆蓋率呈現上升的趨勢，但截至2022年，偏遠地區仍有超過一半的人無法享受到網路的便利。目前低軌衛星產業仍處於初期階段，價格相對較高。因此美洲及亞太地區，如中國等擁有廣闊領土的已開發國家為目前低軌衛星的主要市場。
- ▶ 其他地區如非洲及東南亞仍具有巨大的發展潛力，一旦低軌衛星技術成本下降、覆蓋範圍擴大，將有助於這些地區的通訊基礎設施發展。



## 偏遠地區及海上網路建置費用高，低軌衛星在成本上具有競爭力

- ▶ 偏遠地區由於地形限制，建設基地台的費用較市區和郊區高昂。加上人口密度低，導致基地台服務的人數也較少，使得在偏遠地區提供通訊網路的成本增加。
- ▶ 2022 年全球海事衛星通訊市場價值為 52 億美元，到 2028 年CAGR為12.5%。而目前海上的衛星通訊成本分成設備成本及網路費率，兩者費用仍高。低軌衛星在兩項費用都較傳統衛星通訊成本更低，且速度更快，有較高競爭力。

5G 基地台建設成本 (單位:美元)



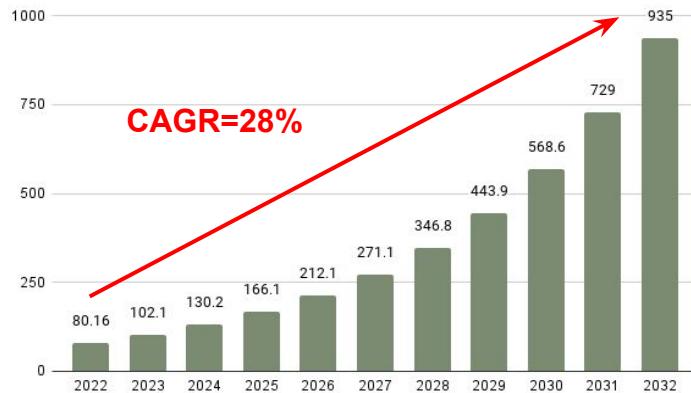
海上衛星網路建設成本

	設備成本	速度	網路費率
船上衛星通訊 成本(傳統)	路由器:2500美元	352-704Mbps	3.22美元/GB
Starlink	便攜式:599美元 移動式:2500美元	40-220+Mbps	2美元/GB

## 全球衛星資料傳輸量預計至 2030年達到26,250PB, 年複合成長率高達 28%

- ChatGPT的崛起帶動全球AI資料中心的建置，然而，資料中心每年的能耗就超過 90 太瓦，產生的二氧化碳排放量相當於 2,700 萬噸二氧化碳，將資料中心建置在太空能解決資料中心高耗能、高碳排的問題。
- 雲端服務業者透過自身遍布各地的資料中心，發展地面站即服務(GSaaS)，提供衛星業者可同時管理衛星與資料的單一平台，直接連線至資料中心，減少資料傳輸節點，降低衛星系統營運負擔。Amazon、Microsoft及Google等全球雲端服務大廠結盟衛星業者，提供雲端服務、地面站即服務。

2022~2032年全球超大規模資料中心市場規模 (單位:百萬美元)



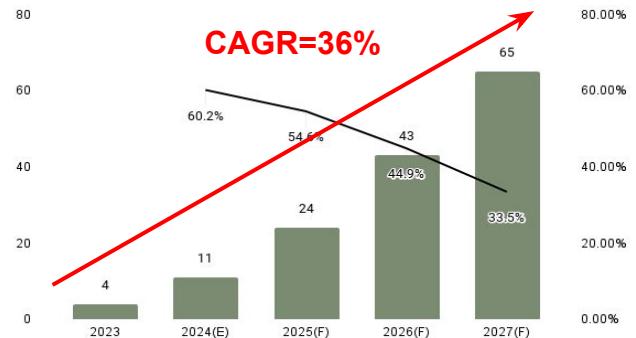
太空資料中心運行示意圖

	Amazon AWS	Microsoft Azure	Google Cloud Platform
雲端服務	✓	✓	✓
地面託管服務	✓	✓	✓
模組化資料中心	✓	✓	
自建大型星系	✓		

## NTN將在2025~2026年趨於成熟，全球行動裝置皆搭載衛星通訊功能

- ▶ 據TrendForce預估，2023~2027年美國衛星直連服務市場規模將從4.3億美元，大幅成長至65億美元，CAGR 36%。隨著衛星直連服務用戶訂閱逐年增長趨勢，有望讓電信商在現有行動通訊業務之外，拓展衛星通訊服務。
- ▶ 聯邦通訊委員會在去年三月通過新的監管框架，初步批准衛星服務連接手機，在獲得授權後，手機能彈性使用太空站、支援地面的網路服務。而Apple與衛星通訊服務公司Globalstar合作，讓iPhone 14可使用衛星發送緊急訊息，並斥資近五億美元協助衛星網路與地面站的建設，目前服務範圍有美國、加拿大、英國、愛爾蘭、法國與德國等國家。

2023~2027年美國衛星直連市場規模 (單位:億美元)



各家NTN晶片公司發展現況

公司	晶片	合作手機品牌
高通	Snapdragon	蘋果、Oppo、Vivo、小米
聯發科	MediaTek MT6825	Bullitt Group、Motorola
三星	Exynos Modem 5300	自有體系

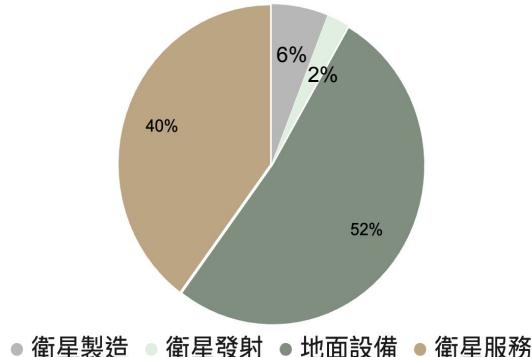
## 04 投資機會



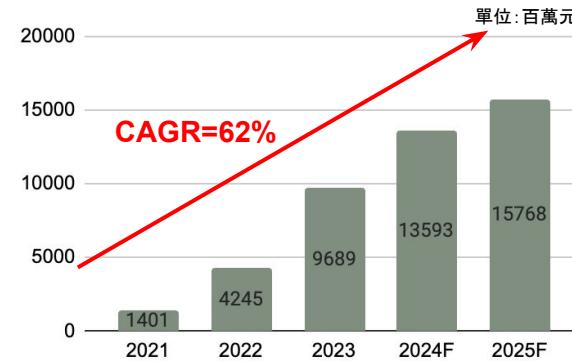
## PCB HDI板為低軌產業關鍵零組件，臺灣低軌 HDI板產值至2025年擁有62% CAGR

- ▶ 依據美國衛星工業協會統計數據，2023 年衛星產業產值即高達 3,034 億美元，四大次產業中，產值由地面設備佔比最高達52%，其次為衛星服務達40%；台廠主要提供衛星本體及地面設備關鍵零組件，如天線、HDI板等。
- ▶ 不論是衛星本體或衛星站地面設備皆需使用 PCB HDI板，HDI板即負責乘載電路設計與訊號傳輸，需搭配陣列天線設計，主板佈線精密度高、面積大，製成難度高，台灣切入高階 HDI板市場已久，受惠於低軌市佔最高之美系大廠商限制零件須於中國大陸以外地區生產，台廠更加凸顯其競爭優勢。

2023年衛星產業全球產佔比



台灣低軌衛星板 產值預測



資料來源:經濟部智慧財產局

# 低軌衛星需使用製程難度高之 HDI板，高階 HDI板毛利率為一般 產品1倍以上

- PCB價格主要受層數、面積、材料、製程難度等 影響，低軌所使用之 HDI層數高達 8-16層，且製程難度皆高，因此其 ASP亦較一般PCB來得高，毛利率為一般 PCB產品1倍以上。
- 低軌衛星之 PCB皆須運用高階 HDI製程且亦需搭配傳統製程，技術與難度隨著 HDI板堆疊層數而增加，多層堆疊的 HDI板比一般 PCB重量更輕、線路密度更高亦可讓訊號線的傳輸距離縮短，有利於信號傳輸 ，目前低軌所使用的 HDI層數在地面接收器為 8-12層、發射端則為 16-18層。
- HDI板使用的黏合材料多為 PTFE(鐵氟龍基板)、採用基板多為 FPC或RF板，主因在於軟板較能做到保證通訊信號品質；而在外層CCL則要求材料需有 Low Dk(低介電係數)及 Low Df(低損耗因數)之特性以達到減少性號延遲的效果。

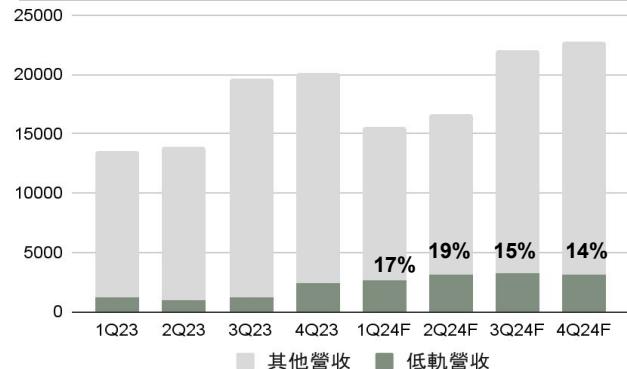
低軌PCB規格

	製程方式	性質	疊層	雷射鑽孔	材料	CCL材料要求
地面接收器	Any-layer HDI	FPC、RF	8-12層	1-3皆	PTFE	Low Dk、Low Df
發射端 (發射器、衛星)			16-18層	3-5皆		

## 關注個股—華通(2313)

- ▶ 華通為全球PCB產業龍頭，2023年產品終端應用為 手機21%、PC20%、RF+FPC21%、SMT23%。
- ▶ 近年來近年來隨低軌衛星 產業發展，帶動HDI板需求 大增，23Q4低軌衛星佔比以來到 12%，展望24H2可提升至 15%~20%；低軌衛星 HDI板毛利率為一般品 1倍以上，因此有望使華通毛利率持續走揚。
- ▶ 在HDI市場華通 產值居全球之冠，且在台灣低軌 HDI板市場市佔 90%，公司在天上板與地面板皆佈局已久，天上板出量將受惠於其客戶SpaceX、OneWeb、Amazon持續發射低軌衛星；至於地上板，將受惠於天上衛星數量提升帶動需求，未來 2022~2025 年之間低軌衛星地面接收站體 大型 Gateway約達 60~80 萬座、屋頂型約達 200~500 萬座。

華通營收低軌佔比預估(單位:百萬元)



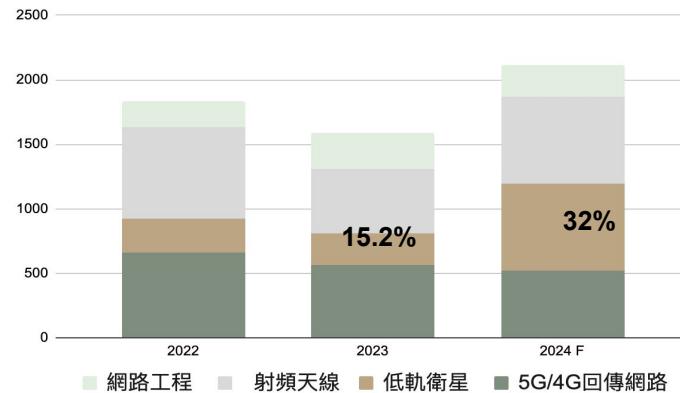
華通低軌衛星主要客 戶規劃

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
SpaceX	目前已發6000多顆				7518顆					
OneWeb	目前已發600多顆			356顆					6372顆	
Amazon	2023年發射2顆				1618顆					1618顆

## 關注個股—昇達科(3491)

- 昇達科為台灣唯一一間專門製造高頻微波通訊元件的公司，其2023年產品組合為微波/毫米波元件及天線 51%、射頻天線 31%、網路工程 18%；在微波/毫米波元件中，**2023年應用於低軌衛星產線約佔 15.2%**，其餘則為4G/5G回傳產品線，**2024前兩個月低軌佔比已達 32%**。
- 昇達科低軌產品包含L波段到E波段的濾波器、OMT元件和其他被動元件，可應用在天上的衛星酬載、地面站、終端設備等，天上約佔 60%、地面約佔 40%，衛星籌載部分為公司最大成長動能，主因在於籌載汰換年限較短，約每 5 年汰換一次。
- 根據公司法說低軌產線目前**2Q24~4Q24**的在手訂單已達 6.6 億元，已超過前 3 年的出貨總額(5.4 億)，主要兩大客戶為**SpaceX 及 Amazon**。

昇達科產品組合



昇達科低軌衛星主要客戶規劃

	佔比	未來展望 & 合作方式
<b>SpaceX</b>	30%	1. 目前已發射6000多顆，預計2024將發射4000顆。
		2. 合作方式為每兩個月簽一次約，預估仍有50%以上的潛在訂單。
<b>Amazon</b>	60%	1. 2023年成功發射2顆，預計2026年前發射1600顆、2030年前發射3200顆以上。
		2. 已和昇達科簽4年長約，10項產品中約有一半以上為獨家供應。
<b>OneWeb、Telesat</b>	10%	1. OneWeb目前已發射約600多顆，預計2030年前再發射6500顆以上。
		2. 非直接對接，訂單與其委外之系統公司接洽。

資料來源：昇達科法說會、昇達科年報

## 05 潛在風險



## 潛在風險—低軌衛星發射數量可能不如預期、Starship未來發射成果值得關注

- ▶ 目前佈局低軌之三大公司皆於2021年起陸續提出至2030年前預計發射衛星數量，不過僅有SpaceX目前完成度達5成以上，未來是否皆能順利達成預計發射目標仍存在疑慮。
- ▶ SpaceX Starship與衛星發射成本具密切關聯，Starship於2023年的2次試射皆以失敗告終，雖然2024年3月Starship試射成果已取得重大突破，飛行距離比前兩次更遠，但返回地球時仍失聯；**Starship將於2024年5月進行第四次試射值得關注。**

三大公司預計發射數及目前完成度

	至2030年預計發射量	已發射量	2023年為止完成度	未來7年每年平均需發射量
SpaceX	11,927	6,258	52.47%	809
OneWeb	6,683	634	9.49%	864
Amazon	3,236	2	0.06%	462

Starship三次試射成果

	時間	試射結果
第一次試射	2023年4月	助推器故障未能與飛船分離，升空4分鐘後，飛行終止系統(FST)啟動火箭解體。
第二次試射	2023年11月	飛船順利升空後，空中疑似出現氣體，約486秒後與星艦訊號丟失，FST系統啟動火箭解體。
第三次試射	2024年3月	成功在太空飛行47分鐘時間，不過從大氣層返回地球接近預定掉落的印度洋時失聯，被迫啟動FST系統自毀。

# 06 結論

## 2023年至2031年全球低軌衛星市場 CAGR為33.8%

### 產業概況

- ▶ 低軌衛星符合市場高傳輸、高覆蓋率的需求，以更高寬頻、穩定的無線傳輸，且相較於5G可以克服傳統基地台設置的地形限制、擁有較廣的訊號範圍
- ▶ 2030年全球將有1.7萬枚衛星發射部署，10年CAGR有33.8%。
- ▶ 目前全球低軌衛星市場主要有三家公司，其中又以Starlink的發射衛星數量最多，對市場影響力最廣。

### 產業動能

- ▶ Space X發射技術的提升使未來3-5年低軌衛星發射成本預計快速下降至每公斤200美元，成本的降低有助於未來民營商機的發展。
- ▶ 全球偏遠地區仍有超過一半的人無法享受到網路的便利，低軌衛星對於基礎設施市場上存在商機。目前美洲及亞太地區，如中國等擁有廣闊領土的已開發國家為目前低軌衛星的主要市場。
- ▶ 太空資料中心可以解決傳統資料中心的永續問題。全球雲端服務大廠已積極搶進衛星應用領域，結盟衛星業者，提供雲端服務、地面站即服務。

# 附錄



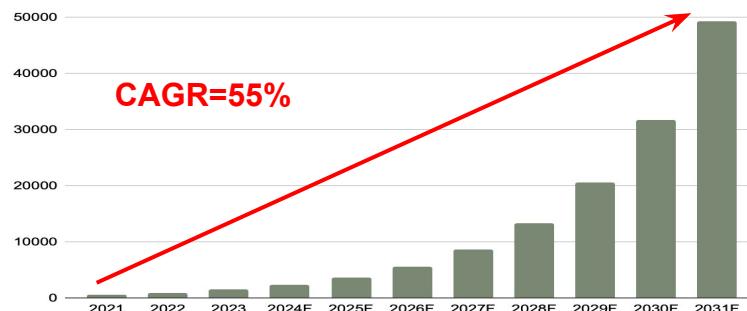
## Starlink未來展望：火箭發射成本大幅降與星間通訊趨勢 CAGR=55%

- ▶ 火箭回收的技術發展及大規模生產，使得發射低軌衛星的單位成本(\$@/kg)逐漸降低，**火箭有效負重的提升及 v2.0衛星的耐用年限提高**，將加速星鏈的低軌道佈局。
- ▶ 根據2022年的SpaceX Project Starship update event,Boca Chica,Texas, **Elon Musk**宣布未來 Starship的發射單位成本將要**壓在\$10/kg**，總發射成本控制為\$2百萬以內。
- ▶ 衛星間的通訊技術LISL(Laser Inter Satellite Link)，又稱光學衛星間鏈路。**Starlink**將使用星光傳輸技術並進行供應市場相關商品(**Plug and Plaser**)，以減少蓋建地面站、海底電纜的成本、觸及偏遠地區訊號等需求。

Starlink低軌衛星發射成本及預估

火箭型號	有效載重	單位成本	發射成本(次)
Falcon-9	22,800kg	\$2,720/kg	\$62,016,000
Falcon Heavy	63,800kg	\$1,410/kg	\$89,958,000
Starship	150,000kg	\$10/kg(預計)	\$1,500,000(預計)

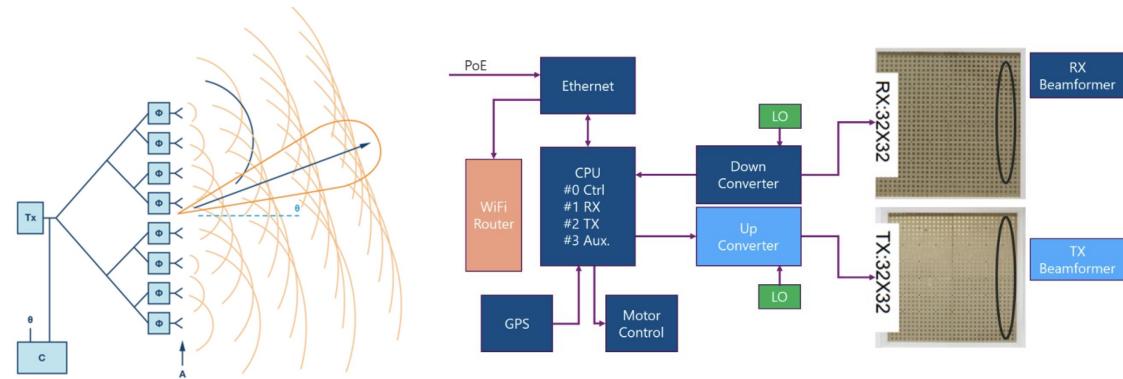
低軌衛星 LISL產值趨勢(單位:百萬美元)



## 低軌衛星天線技術：相控陣列天線（Phased array antenna）

**目標：**透過實現 TX、RX 增益，實現更高頻寬、穩定性的無線傳輸

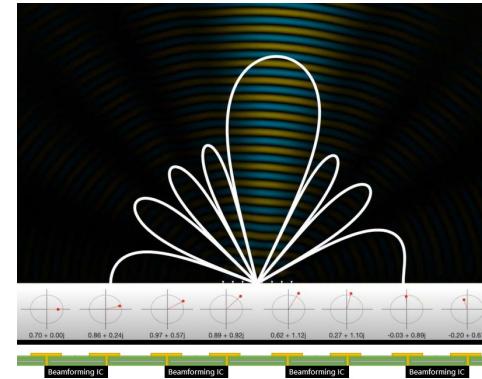
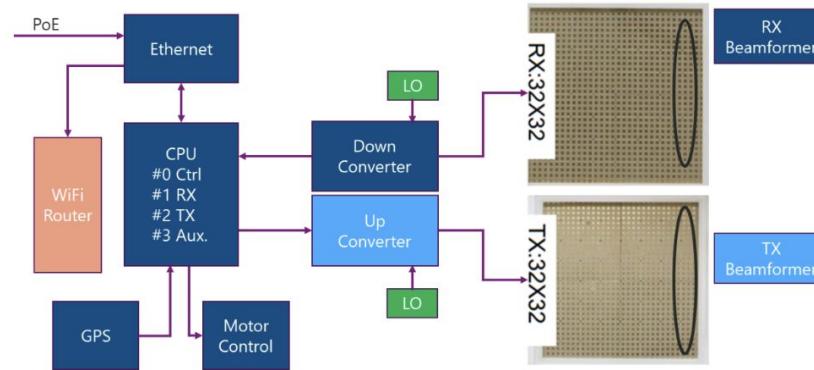
- ▶ 相控陣列天線使用多個天線單元，透過改變每個單元的相對相位來控制輻射方向圖或波束。
- ▶ Beamforming (波束成型)、Beamsteering (波束控制)：透過調整單元天線的相位和振幅來控制信號波束的方向，創建聚焦在特定方向上的信號波束實現TX增益。
- ▶ Beam selection (波束成型)：是在多個可能的波束中選擇一個最適合的波束，以最大化通信系統的性能，減少干擾，實現 RX 增益。



資料來源: MarketsandMarkets

## 低軌衛星天線技術：相控陣列天線(通訊技術點)

- ▶ 相控陣列天線也有效能之分，通常通訊工程的Hardware Engineer 會依據頻寬、商業應用價值、以及成本、用途來去選擇不同規格的陣列天線。
- ▶ 陣列數越高代表著越高功耗的天線，效能會更好，但同時散熱也需要更好，因為越多單位天線能量會越高，而溫度控制也是影響訊號傳輸的一大關鍵。
- ▶ 相控陣列天線需要高工藝技術來打造，因為我們是用 Beamforming 、 Beamsteering 的技術來控制方向，不過打出去的方向是會有誤差的(會影響無線傳輸品質)，所以需要好一點的實驗室來研發。
- ▶ 相控陣列天線的規格選擇非常注重成本、上下行傳輸量的。



資料來源: MarketsandMarkets

## 附錄-低軌PCB同業比較

	華通 (2313)	燿華 (2367)
低軌HDI市佔	90%	10%
2023 低軌佔比	9%	10%
2023 毛利率	15.10%	9.20%
2023 EPS	3.49	-0.51
2024F 低軌佔比	16%	15%
2024F 毛利率	19.10%	15%
2024F EPS	6.25	1.9

# 低軌衛星需使用製程難度高之 HDI板，高階 HDI板ASP較一般PCB高

- ▶ PCB價格主要受層數、面積、材料、製程難度等 影響，低軌所使用之 HDI層數高達8-16層，且製程難度皆高，因此 其ASP 亦較一般 PCB來得高，有望帶動相關廠商提升其毛利率。
- ▶ 低軌衛星之 PCB皆須運用高階 HDI製程且亦需搭配傳統製程，HDI採用堆疊的方式製作，技術與難度隨著 HDI板層數而增加，多層堆疊的 HDI板比一般 PCB重量更輕、線路密度更高亦可讓訊號線的傳輸距離縮短，有利於信號傳輸 ，目前低軌 所使用的 HDI層數在地面接收器為 8-12層、發射端則為 16-18層。
- ▶ HDI板使用的黏合材料多為 PTFE(鐵氟龍基板)、採用基板多為 FPC或RF板，主因在於軟板較能做到保證通訊信號品質；而在外層CCL則要求材料需有 Low Dk (低介電係數) 及 Low Df(低損耗因數) 之特性以達到減少性號延遲的效果。

**PCB規格對應ASP**

品項	單位面積 (cm <sup>2</sup> )	單價 (元/單位面積)
FR4 兩層板	5x5	563
FR4 四層板	5x5	938
RO 高頻兩層板	4.75x5.2	2063
RO-FR4 複合四層板	4.75x5.2	2625

**低軌PCB規格**

	製程方式	性質	疊層	雷射鑽孔	材料	CCL材料要求
地面接收器	Any – layer HDI	FPC 、 RF	8-12 層	1-3皆	PTFE	Low Dk 、 Low Df
			16-18 層	3-5皆		

# 附錄-影響PCB價格因素

一般來說，PCB電路板的價格會受到以下七個因素的極大影響。

## 因素一：PCB材料

以高端PCB為例，板材一般包括普通TG值FR-4、中高TG值FR-4、高頻材料、高速材料、聚醯亞胺柔性材料等。板的厚度範圍為0.2mm至6.0mm。成品銅厚從1Oz到80Z不等，所用材料的牌號、材質、板厚、銅厚也不同。材料成本會比較高和低，所以價格也會有所不同。

## 因素二：PCB生產工藝

### 本強電路5G光模組PCB電路板

不同的生產流程顯然會與成本水準相關。如高級通訊背板的背鑽工藝、頻率為400G的5G光模組的分段金手指厚金鍍工藝、1-6塊HDI板的激光微孔加工工藝以及任意互連工藝，盤內孔或普通通孔需要樹脂塞孔製程、特殊疊層多層阻抗板製程、智慧型手機PCB板混合表面處理製程、壓接孔及異形孔和階梯槽製程、超厚銅製程、板面鍍金製程...這些特殊複雜的製程都會不同程度地影響高難度、高要求的PCB板的生產成本，進而影響其價格水準。

## 因素三：PCB加工難度

例如，兩塊高密度PCB板有30萬個孔（假設孔密度約12萬/平方公尺），其中一塊最小孔徑為0.1mm，另一塊最小孔徑為0.15mm，則0.1mm的板需要雷射鑽孔加工，0.15mm的孔可用數控機械鑽。另外，對於相同加工類型的PCB板，孔密度越大，加工成本越高；孔越小，PCB加工難度越大，生產效率越低；這些因素都會對板材的價格產生影響。

## 本公司16層厚鍍金半導體測試板

另外，兩塊高密度16層PCB板的最小線寬/線距不同，其中一塊為70/70微米，另一塊為50/50微米，因此後者的生產難度係數會更高前者的。更大、更難的板子廢品率更高，成本也更高，最終影響價格的上漲。

## 因素4：客戶要求

在其他因素相同的情況下，客戶的要求越高，成本就越高。例如，IPC-A-600H Class2的要求有99%的一次合格率，但如果依照Class3標準或軍事要求檢驗PCB，可能只有90%的一次合格率。客戶要求的驗收水準不同，廢品率也不同，導致PCB廠商成本較高，價格也會上漲。

## 因素5：PCB製造商

不同的PCB製造商對於同一種線路板有不同的報價系統。低端PCB板製造商在製造低端電路板時使用略低的材料等級和簡化的製程。報價遠低於中高端廠商；而對於高階PCB，採購訂單通常交給高階廠商，價格可能比使用者直接向原廠客製化還要貴；但也可能是一樣的，因為低階廠商給高階廠商的訂單相對集中、規模較大。所以有時你可以獲得非常低的購買價格。

## 因素六：結算方式

## 附錄-HDI複雜製程

Anylayer的生產制程(以10層Anylayer為例)

{L5/6開料-- L5/6機械鑽孔(鑽工具孔) → 鑼板修邊(倒圓角) → L5/6IDF(採用濕膜做CFM開窗)或者  
二次棕化 → L5/6雷射鑽孔-- L5/6除膠 → L5/6沉銅閃鍍 → L5/6水准填孔電鍍 → L5/6IDF(前處理-貼  
膜-曝光-DES)-- L5/6AOI} → {L4/7棕化 → 排板壓板 → CFM鑽靶孔--壓板後處理 → 二次棕化 → 雷  
射鑽孔(LDD) → 磨板--除膠 → 沉銅閃鍍 → 水准填孔 → IDF(前處理-貼膜-曝光-DES) → IAOI} →  
{L3/8棕化 → 排板壓板 → CFM鑽靶孔--壓板後處理 → 二次棕化 → 雷射鑽孔(LDD) → 磨板--除膠  
→ 沉銅閃鍍 → 水准填孔 → IDF(前處理-貼膜-曝光-DES) → IAOI}-- {L2/9棕化 → 排板壓板 → CFM  
鑽靶孔--壓板後處理 → 二次棕化 → 雷射鑽孔(LDD) → 磨板--除膠 → 沉銅閃鍍 → 水准填孔 → IDF  
(前處理-貼膜-曝光-DES) → IAOI} → L1/10棕化 → 排板壓板 → CFM鑽靶孔 → 壓板後處理 → 減  
銅--二次棕化 → 通盲孔折開電鍍(雷射鑽孔(LDD)) → 磨板 → 除膠 → 沉銅閃鍍 → 水准填孔電鍍 →  
XRAY鑽靶孔 → 減銅(2) → 機械鑽孔 → 磨板--除膠 → 沉銅閃鍍 → 全板電鍍)/通盲孔合鍍(雷射鑽  
孔(LDD) → 機械鑽孔 → 磨板 → 除膠 → 沉銅閃鍍 → 垂直填孔電鍍 → 水准填孔電鍍) → 機械鑽孔  
→ ODF(前處理-貼膜-曝光-DES) → OAOI}