



元大證券2023第二季投資論壇

證卷代號6948

半導體技術在光學雷達領域中的應用與投資機會 Application and Investment Opportunities of Semiconductor Technology in Light Detection and Ranging (LiDAR) field

TCO Confidential

台灣彩光科技股份有限公司
Taiwan Color Optics, Inc.

總經理: 張永朋 博士
President : Y. P. Chang, Ph.D.

2023/06/09



演講者簡歷

張永朋:

國立中興大學 電機工程學系 博士

2009~

台灣彩光科技股份有限公司 總經理/共同創辦人

2021~

中科研發精進計畫 主持人

2023~

中興大學校友總會理事

專長:

半導體元件/雷射光學/ 晶圓級光學元件

智慧車燈/光達模組

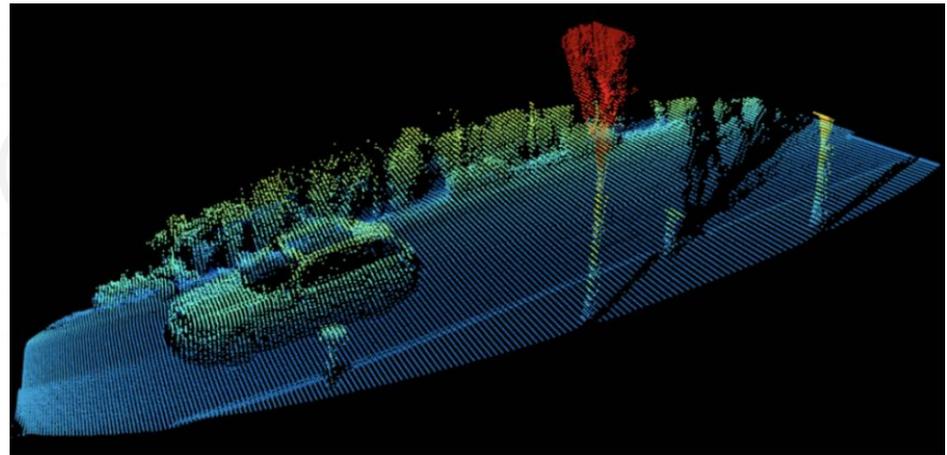


TCO Confide

Content

- LiDAR 簡介
- 掃描技術之演進
- LiDAR 之應用
- LiDAR Semiconductor Device 介紹

TCO Confidential





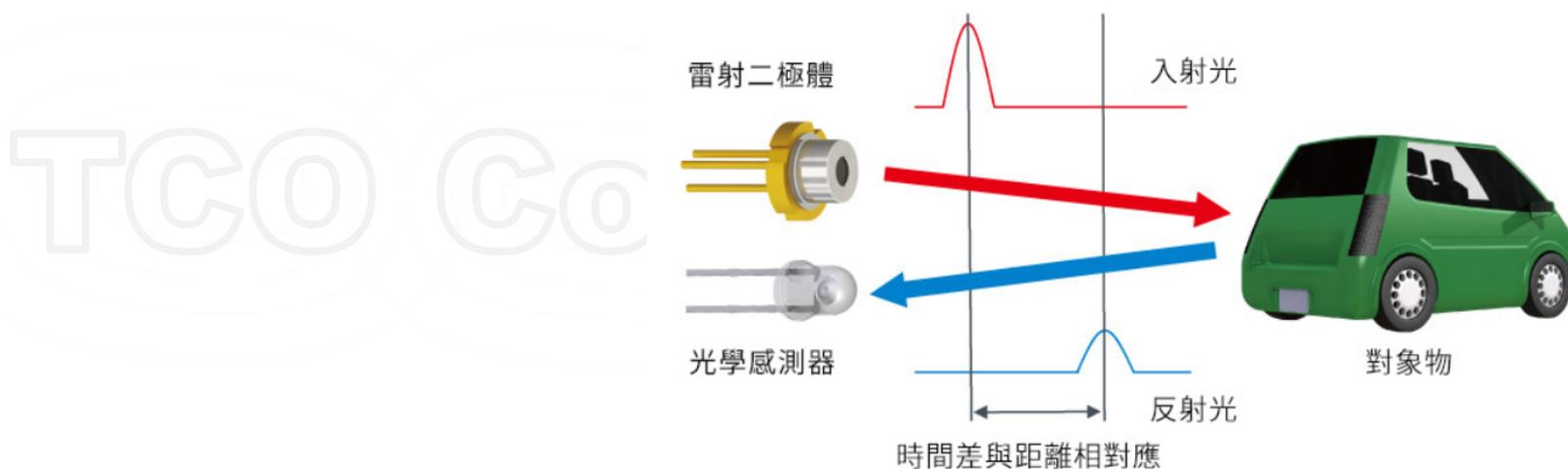
何謂光達 LiDAR

Light Detection And Ranging (雷射探測與測距)

是使用近紅外光、可見光或紫外光照射物件，並透過光學感測器捕獲其反射光來測量距離的方法（使用感測器從遠處進行感測）。

也被稱為 **L**aser **I**maging **D**etection **A**nd **R**anging（雷射成像偵測與測距）”

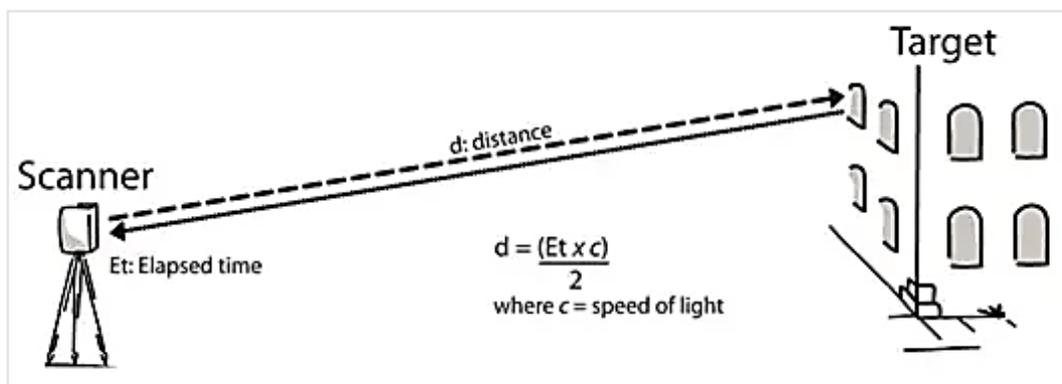
通常以脈衝狀態之近紅外雷射(IR LD)照射對象物，測量光線到達對象物並反射回來的時間差 (ToF : Time of Flight)。





何謂光達 LiDAR

- 有別於傳統雷達以電磁波偵測遠方物體，光達即以投射光線來偵測遠方物體
- 光達優點在於分辨率高，可以更精準的偵測周圍環境，故與之相對的 Detector 與影像處理性能要求也隨之提高
- 目前光達最常被應用在自駕車與無人機領域，用於偵測道路狀況與無人機之避障或自動降落





簡介:自動駕駛

- 現今汽車自動駕駛中，最關鍵的技術為 Sensor (or Detector) 與掃描系統
 - ▶ 如 GPS、雷達、攝像系統與光達系統
- 透過Sensor必須精確檢測周圍的道路狀況才能實現安全的自動駕駛
- 其中光達(LiDAR)最有潛力能以高解析度分辨道路狀況與周圍景象
- 然而現今的光達系統可偵測範圍不足以讓自動駕駛全速行駛，無法分辨小型的障礙物，視野有限等缺點
- 此外光達系統會受環境光與天氣狀況的影響而導致性能降低，**主要原因是這些環境光會產生 noise降低光達的性能**
- 可利用高精度濾鏡來自過濾光電探測器的環境光以提高光達系統的效能
- 光達系統的品質因數：距離、範圍(FOV)、分辨率、幀速率(Frame Rate)



不同種類的光達

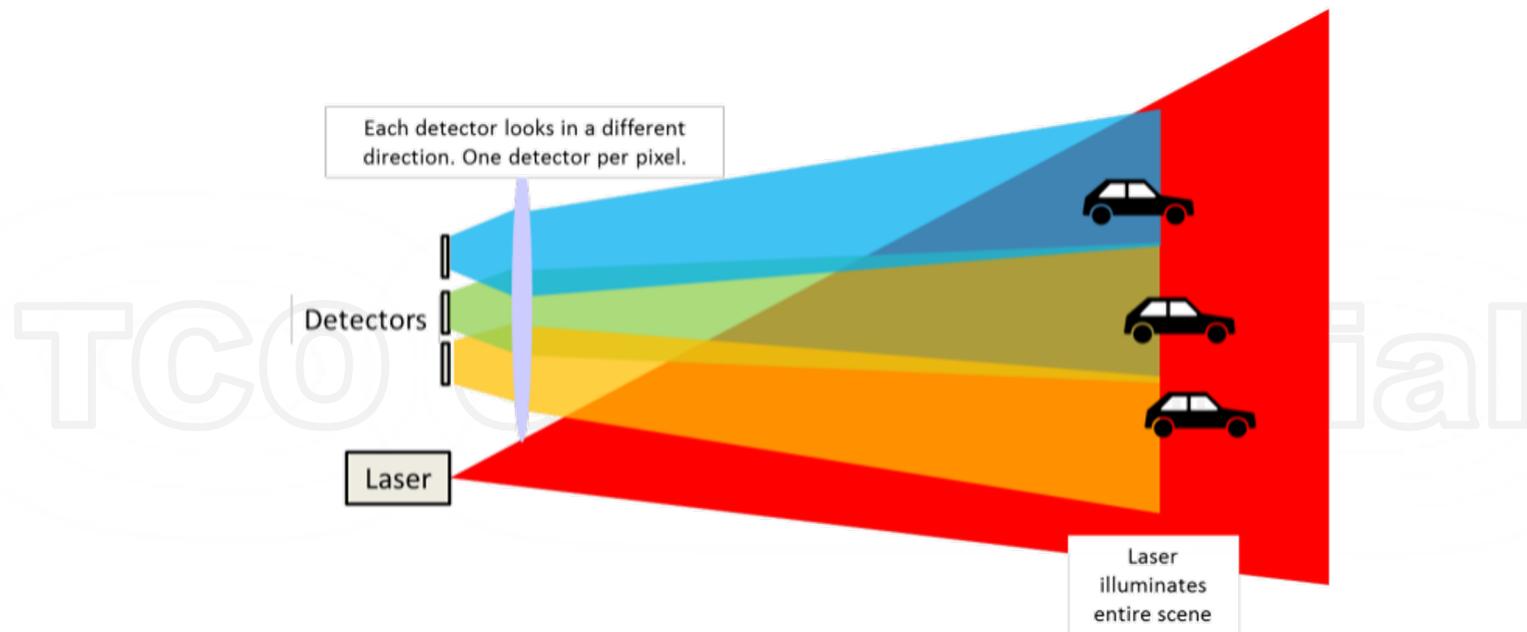
- 先不考慮環境光造成的影響
- 光達系統本身都存在物理上的性能極限，因此能傳輸的能量要在一定等級之下
- 系統本身固有的noise以及有限的信號強度限制系統偵測微小物體的分辨率
- **信噪比SNR(signal-to-noise ratio)。**信噪比越高光達性能越好

- 目前光達種類: Flash光達、機械光達、掃描光達

TCO Confidential

TCO Flash光達

- 採用多個 Detectors 進行大範圍量測
- 優點在於可大範圍偵測、精度高
- 缺點是不適用於長距離偵測
- 需要有一個極強脈衝的雷射能在短時間內照亮整個環境提供給多個 Detectors





機械光達

- 透過機械式旋轉分辨不同物體，垂直方向上使用多個 Detectors
- 優點為掃描速度快、接收視場小不易受環境光影響(信噪比高)
- 缺點是結構笨重、機械式元件長時間下容易磨損
- 系統關鍵在於機械的可靠性，光達組件必須每分鐘達數百轉才能符合需求

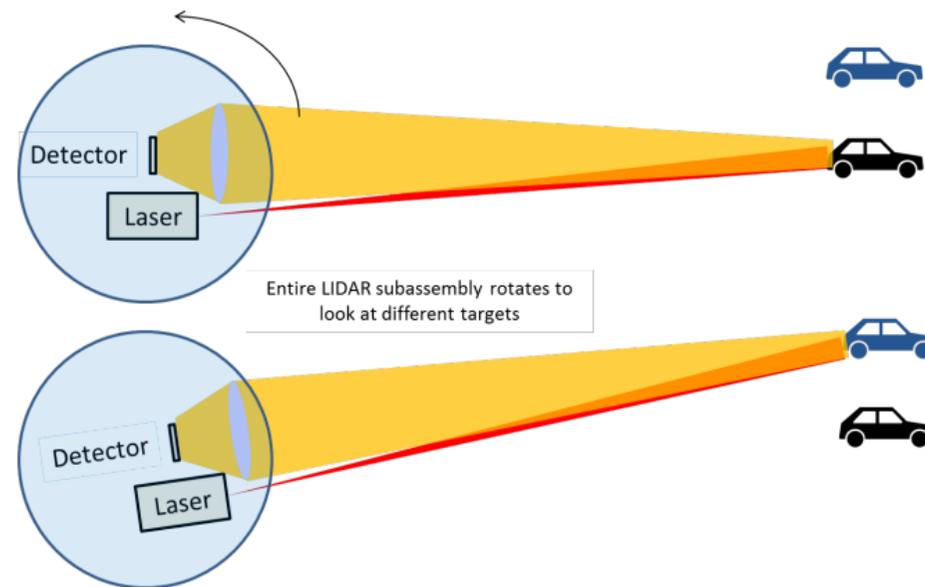


Figure 2. Mechanical LIDAR architecture



掃描光達

- Detector 靜止，利用元件旋轉掃描整個視野，可同時接收任意方向的光
- 雖然能接收寬視場的光，但也會因環境光或其他光源影響而變得盲目或飽和
- 本系統可以可利用高精度濾鏡來自過濾光電探測器的環境光，同時將信號傳遞給 Detector

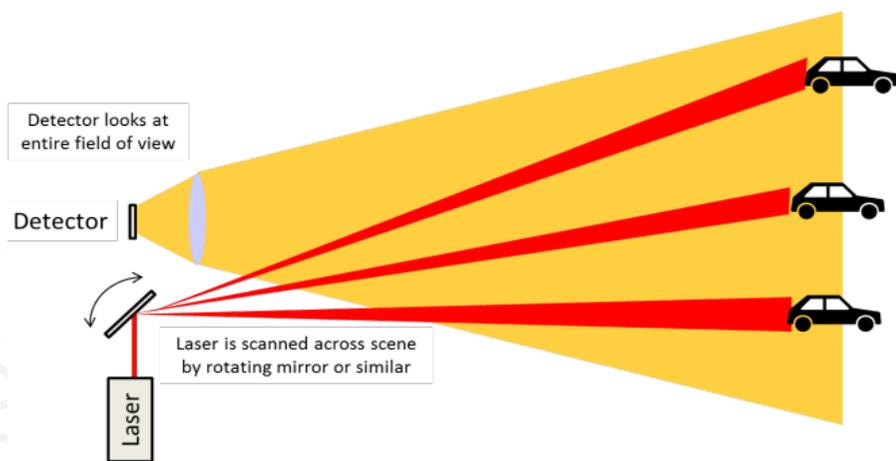


Figure 3. Scanning LIDAR architecture

- 而掃描光達只有一部分視場接收雷射，其餘視角的環境光可以被濾除



光達種類比較

| 光達種類 | 優點 | 缺點 |
|---------|---------------------|--------------------|
| Flash光達 | 大範圍偵測、精度高 | 無法長距離偵測 |
| 機械光達 | 掃描速度快、接收視場小不易受環境光影響 | 結構笨重、機械式元件長時間下容易磨損 |
| 掃描光達 | 不須移動元件即可實現小視場偵測 | 環境光影響導致盲目或飽和 |

TCO Confidential



光達發展趨勢比較

| Cate. Items | Introduction of various LiDAR technologies | | | |
|------------------|--|-----------------------|--------------------------------|---|
| | Velodyne LiDAR | LeddarTech | QUANERGY | Us TCO & 中興大學 |
| Technology | Mechanical LiDAR | MEMS LiDAR | OPA LiDAR Solid state LiDAR | OPA LiDAR Solid state LiDAR |
| Laser wavelength | 905-nm | 905-nm | 905-nm | 1550-nm <small>Optical Phased Array</small> |
| USD | ~45,000 USD | 5000-10,000 USD | 1000 USD | < 200 USD |
| Photo | | | | |
| | Prototype | Semiconductor Process | Solid state | Eye-safety |



Content

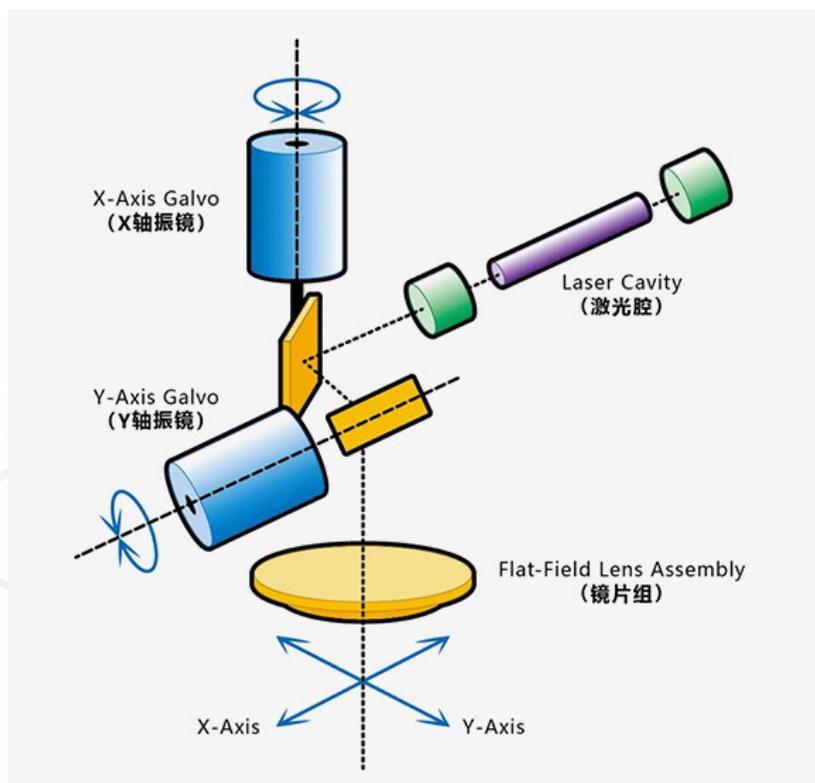
- LiDAR 簡介
- 掃描技術之演進
 - 多面鏡 & 振鏡
 - 2 axis MEMS
 - Flash
- LiDAR 之應用
- LiDAR Device 介紹

TCO Confidential



X-Y 振鏡

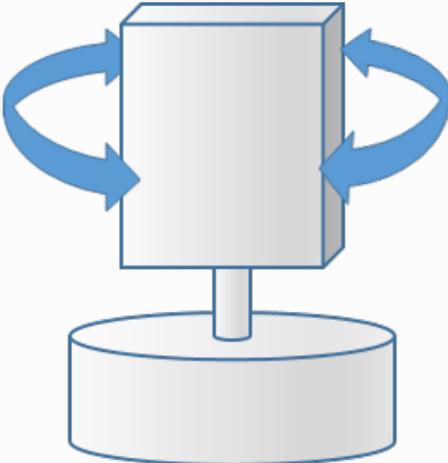
振鏡掃描式主要由XY掃描鏡、場鏡、振鏡及控制器等構成。其工作原理是將雷射光束入射到兩軸反射鏡（掃描鏡）上，用控制器控制控制反射片的角度，這兩個反射鏡可分別沿X、Y軸掃描，從而達到雷射光束的偏轉。





多面鏡 & 振鏡

https://www.nidec-components.com/tw/featuring/lidar-polygon/vs_galvo/

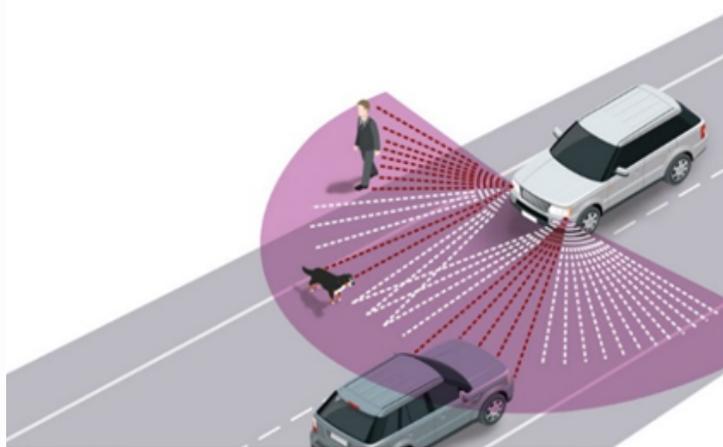
| 多邊形 | 振鏡 |
|---|--|
| <p>多邊形掃描儀可以以幾百RPM到50K RPM的各種速度運行，同時仍保持高速穩定性。這使得配備多邊形的激光雷達單元能夠在寬視場（Field of View）下捕獲高分辨率圖像，即使是長距離測量也是如此。</p> | <p>振鏡具有非線性掃描速率，這意味著掃描速度在中心最快，在拐角處最慢。這會在車輛前方產生低分辨率圖像，在接近角落時產生高分辨率圖像。</p> |
|  |  |



多面鏡 & 振鏡之應用情境差異

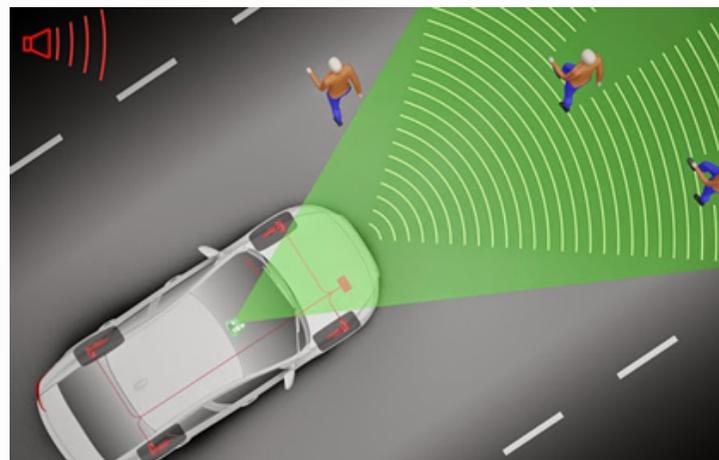
多邊形

多邊形將提供大視場角，是振鏡掃描儀不可能實現的。



振鏡

通常限於 +/- 20度機械角或80度光學角。

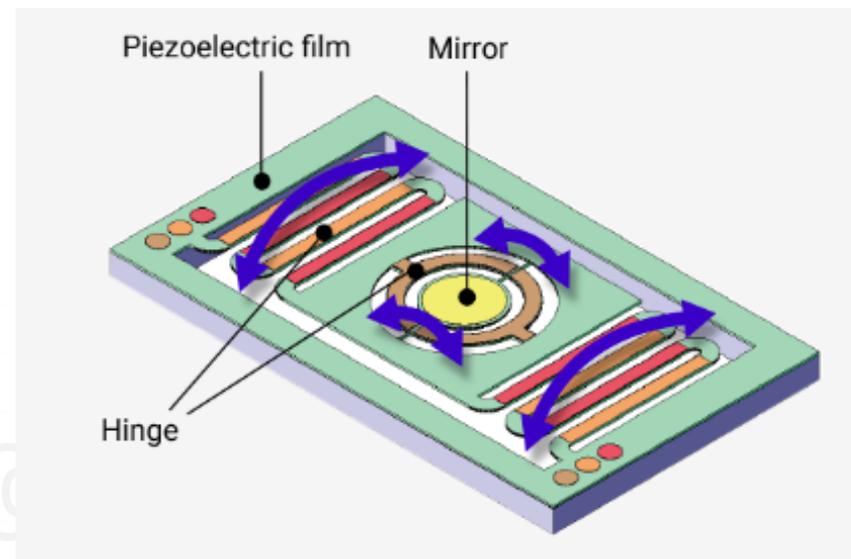
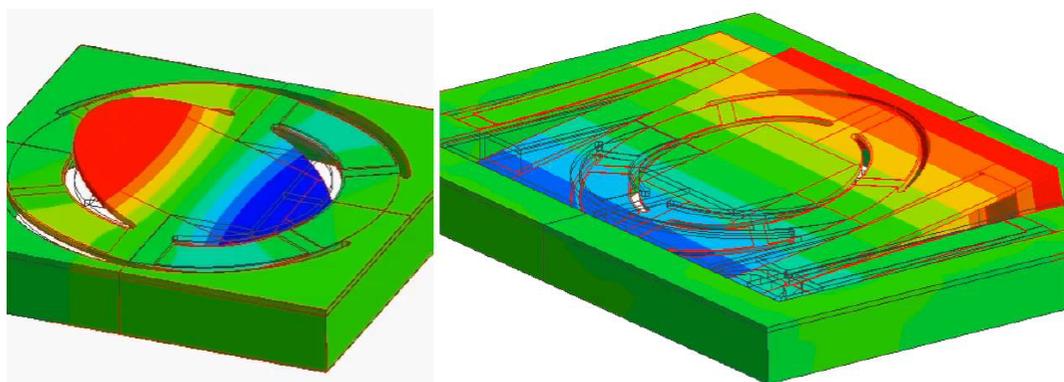




MEMS微振鏡

MEMS微振鏡是一種低成本的多邊形和振鏡掃描器的替代品。

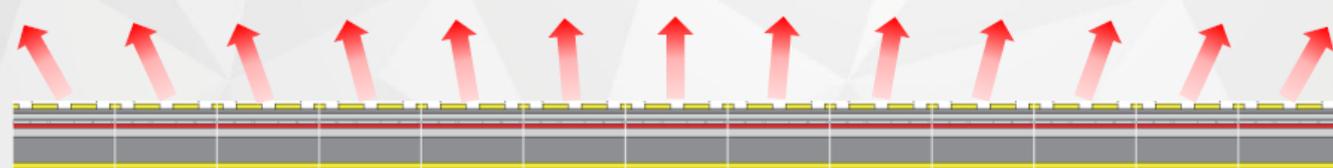
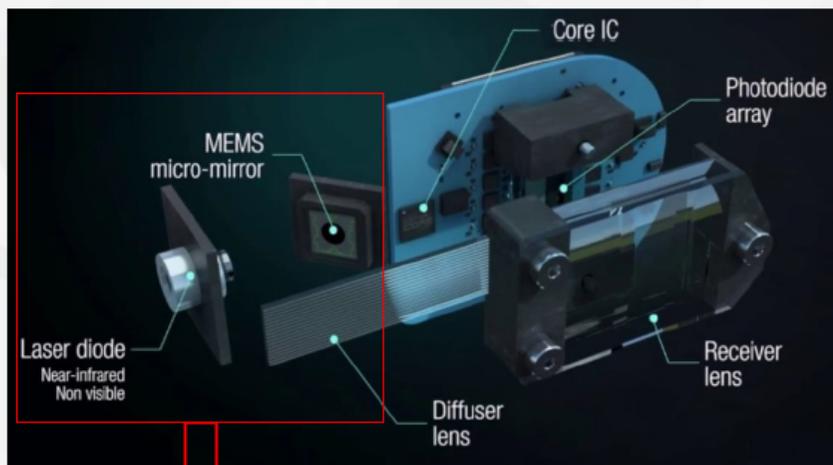
MEMS掃描儀是一種共振式運作，MEMS反射鏡懸浮在非常細的扭杆之間





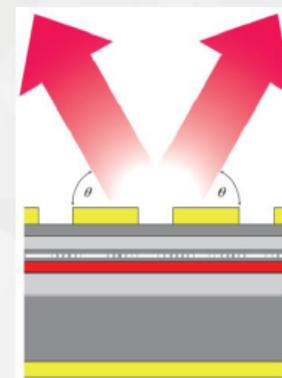
MEMS微振鏡於LiDAR 之應用情境

Automotive 3D HD Hybrid Flash LiDAR



PCSEL 掃瞄陣列

整合 Laser Diode 與 MEMS, 縮小體積, 降低成本, 提升掃瞄穩定性



PCSEL

光子晶體設計可調整出光方向

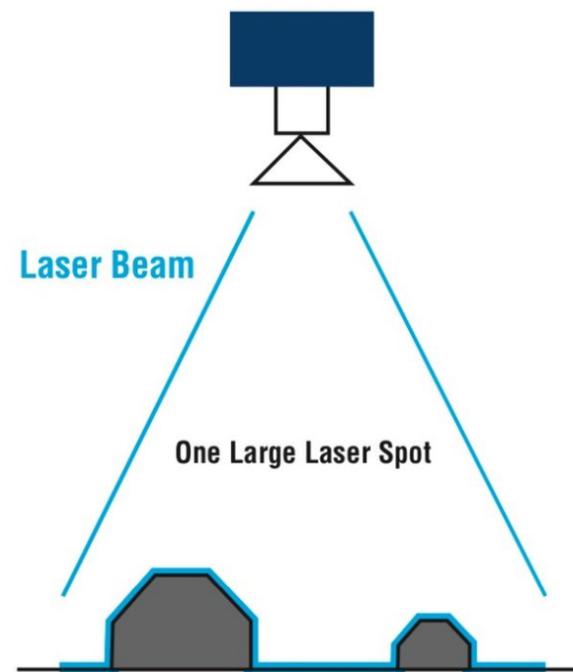


非掃描式 Flash光達 之應用情境

Flash光達屬於非掃描式雷達，採用閃爍式的開發設計，以2D或3D圖像為光達的重點輸出內容。且以純半導體製程生產，穩定性和成本不錯，體積小，並且由於不存在旋轉的部件，在運作途中不需考量振動問題。

但目前其探測距離較近和技術可靠性方面還存在問題。3D Flash技術的固態光達，運作射出一次閃爍雷射光，因此有高功率需求，但也因為偵測器的解析度要很足夠，生產成本非常高昂。實際上整體距離仍只有20~50公尺之內，有待更高發光源。

TCO Confid





非掃描式 與掃描式光達之比較

| | Flash | 2D Raster-Scan | 1D Line-Scan |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Illumination pattern | Entire FoV simultaneously | Sequentially by pixel | Sequentially by column |
| Returned signal per pixel | Low | Highest | High |
| Range | Too short (< 50 m) | Longest (> 250 m) | Long (250 m) |
| Frame rate | Fastest (> 30 fps) | Too slow (2 fps*) | Fast (30 fps) |

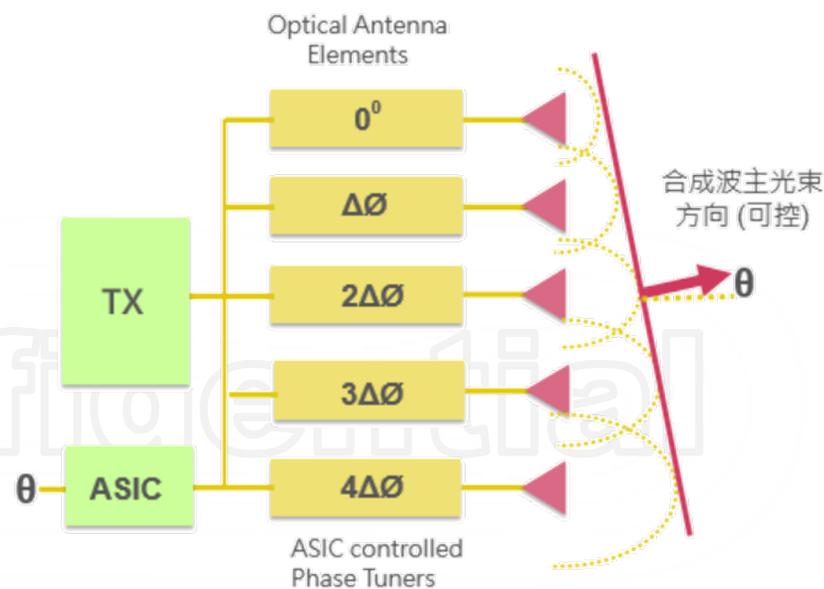


Optical phase array (OPA) LiDAR

中興大學與TCO合作開發

OPA LiDAR的原理是透過大量相控光學天線單元(phase-controlled optical antenna elements)所發射光波之間的互相干涉 (interference) ，來達成光束(Light beam)轉向(steering)功能

「干涉轉向」是OPA LiDAR運作的主要原理，給與發射陣列中每個單元不同的發射相位，再利用不同相位的光在干涉時，有的方向會互相增強，有的方向會互相抵銷，合成波的射出方向即可改變，若經過計算，就能任意改變及控制合成波的發射角度，實現多維度空間掃描功能。



儘管OPA技術非常有前途，但它屬於在還在研究階段的類型，尚未在汽車應用中得到任何有意義的應用。



Content

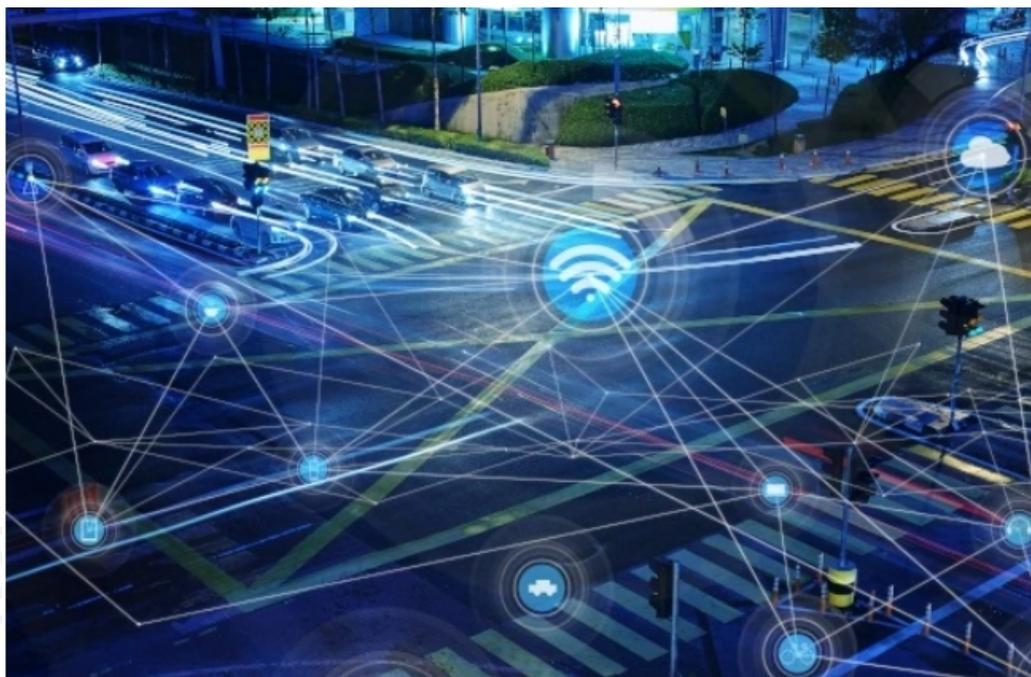
- LiDAR 簡介
- 掃描技術之演進
- LiDAR 之應用
 - Automotive
 - Drone and the others
- LiDAR Device 介紹

TCO Confidential

AI 感測世界

隨著人工智慧(AI)和物理世界的交叉，以及自主技術採用的增加，有人可能會提出質疑，機器及其目前脆弱的模型如何能以人類的方式感知世界...

工程師們意識到完全自主的機器是一種需要更可靠AI和機器學習演算法的複雜技術。這就是3D視覺可以協助提高自主性的地方。



隨著人工智慧(AI)和物理世界的交叉，有人可能會提出質疑，機器及其目前脆弱的模型如何能以人類的方式感知世界。借助諸如光達(LiDAR)、雷達和攝影機等自動駕駛車上所使用的感測器技術，機器已開始能收集即時資料來為決策提供資訊，並適應現實世界的場景。



光達感測器之應用

今天，許多公司正在採用直接飛行時間(dToF)光達感測器，其原理是利用雷射器來發射光波脈衝，然後當這些脈衝遇到周圍環境和障礙物後就會發生反彈。然後，光達就可以測量這些脈衝返回所需的時間，從而確定感測器和物體之間的距離。光達感測器還能夠在光波撞擊到物體表面時創建它們的3D影像。

在現實世界的場景中，許多公司都將光達用於各種應用，使機器能夠感知周圍的世界，包括倉庫管理、先進駕駛輔助系統(ADAS)、建築專案、污染建模等。



行動中的Amazon自主機器人Bert

在現實世界場景中採用光達的另一個的例子，是亞馬遜(Amazon)的自主機器人：Bert、Kermit和Ernie。Bert使用光達技術在整個Amazon倉庫中對其進行引導，從而避開其他自動駕駛機器人、工人和機器等障礙物



感測技術應用與比較

在ADAS (先進駕駛輔助系統：例如自動剎車和車道維持輔助系統) 中，融合了相機和毫米波雷達的系統成為主流。然而，一般認為要想實現自動駕駛，還需要加上LiDAR技術，並將這三種技術加以融合。可以說如果要想實現先進自動駕駛系統，需要截長補短地充分運用這三種技術，三者缺一不可。

| | 相機 | 毫米波雷達 | LiDAR (雷射探測與測距) |
|----|--|--|---|
| 方式 | 透過相機所拍攝到的圖像來進行識別 | 使用無線電波，透過測量電波到達物件並反射回來的時間差來測量距離和方向。 | 照射脈衝狀雷射光束，透過測量光線到達物件並反射回來的時間差，針對距離、位置和形狀進行三維測量。 |
| 優點 | <ul style="list-style-type: none">· 可以將拍攝到的圖像進行影像處理來進行識別 | <ul style="list-style-type: none">· 即使在夜間或惡劣天氣的情況下，也可以測量障礙物的方向和距離· 比LiDAR便宜 | <ul style="list-style-type: none">· 高精度偵測距離、位置和形狀· 透過向各個方向照射 (漫射) 雷射，可以捕獲更大範圍的狀況 |
| 缺點 | <ul style="list-style-type: none">· 難以準確偵測形狀和位置· 不適合惡劣天氣、夜間 (暗處) 和逆光的情況 | <ul style="list-style-type: none">· 難以發現微小物體· 難以偵測到諸如紙板等低反射率的物體 | <ul style="list-style-type: none">· 惡劣天候條件下的偵測能力會下降· 與毫米波雷達相比價格昂貴 |



毫米波雷達

毫米波 (mmWave) 是一種是用短波常電磁波的特殊雷達技術，靠發射電磁波出去然後碰到物體產生反射，透過擷取反射的訊號，進而推算出物體的距離、速度和角度。毫米波雷達會包含發射(Transmitter)的雷達射頻 (Radio Frequency)，簡稱TX。接收(Receiver)的雷達射頻 (Radio Frequency)，簡稱RX。

雷達怎麼偵測物件與距離

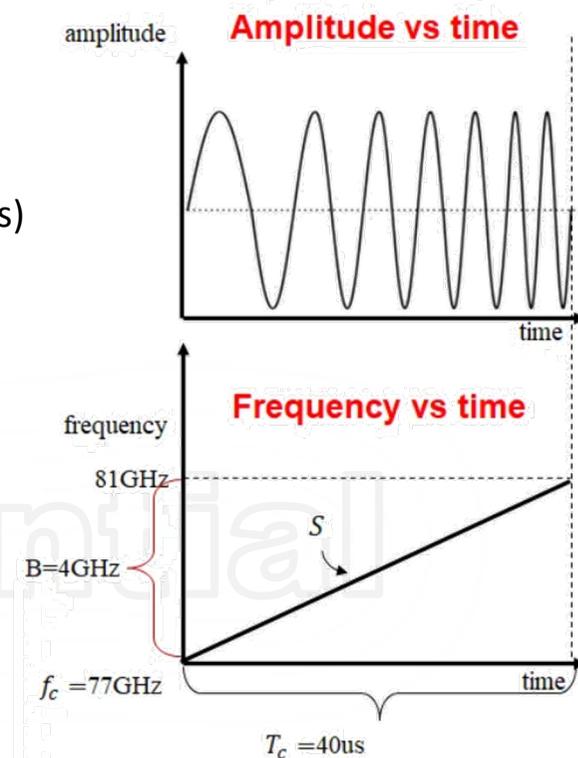
調頻連續波雷達 Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW Radars)

打出去的一個sinusoid訊號稱為一個“chirp”，**頻率隨著時間進而線性增加**。

雷達前面有一個物件，TX將chirp打出去後，打到物體在反射回RX接受，會有一個時間(τ)的delay

速度等於距離除以時間，假設雷達波是光速，所以得到下式**delay(τ)**的時間為**兩倍距離/光速**。

$$\tau = \frac{2d}{c}$$

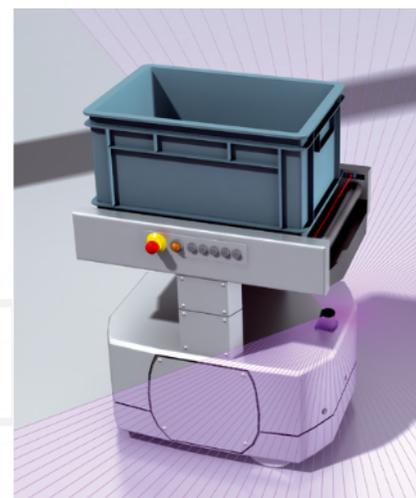
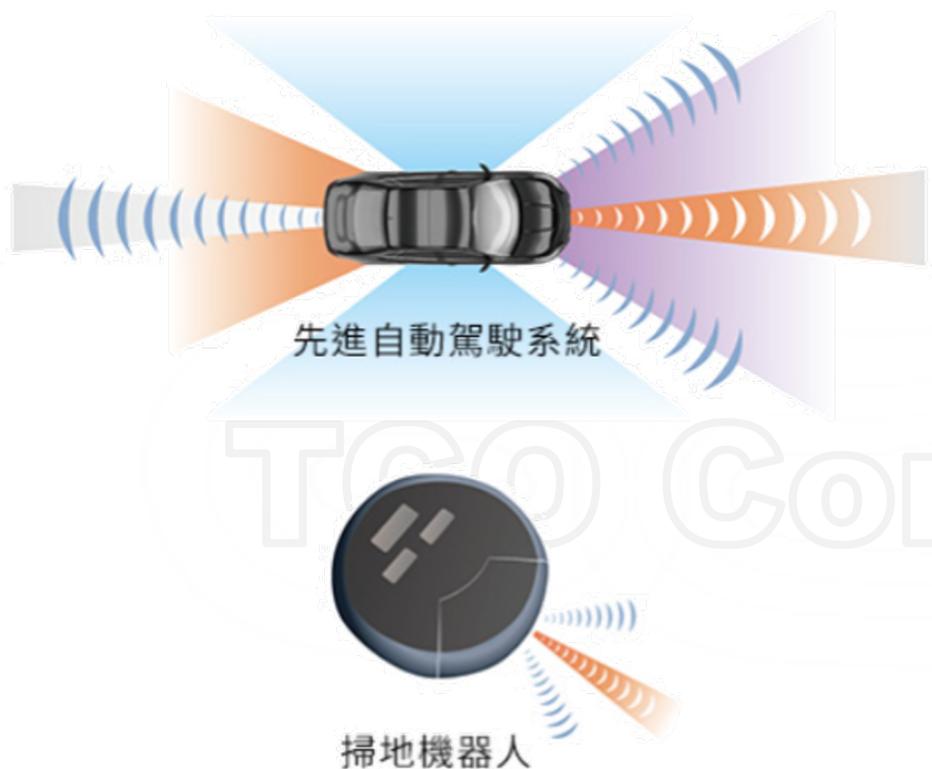


上圖是隨著時間增加 增加頻率打出來的訊號
下圖為上圖訊號生成對應的頻率



LiDAR應用範例

LiDAR技術的應用，首先想到的是車用市場先進自動駕駛系統，該技術是實現全自動駕駛（Level 5）所不可或缺的技术。此外，該技術還被運用於高精度的人、物偵測，例如消費電子領域的掃地機器人和高爾夫測距儀，以及工控設備領域的自動搬運車（AGV）和服務機器人等。



自動搬運車
具掃描範圍高達25 m的2D LiDAR感測器



LiDAR應用_Drone



Our hexacopter drone system involves the customization, integration with a cloud-based drone service platform, and the fusion of data from multiple sensors, such as LiDAR, RGB and thermal imaging cameras. 基於位置的地理空間 We can extensive applications in various fields, including agriculture and forestry protection, security monitoring, geological mapping, power grid inspection, solar panel inspection, and more.

AI代表著機器學習的下一大步，這使機器能夠收集即時地理資料，從而指導決策和預測分析。地理空間AI的應用例包括物流、農業和基礎設施。



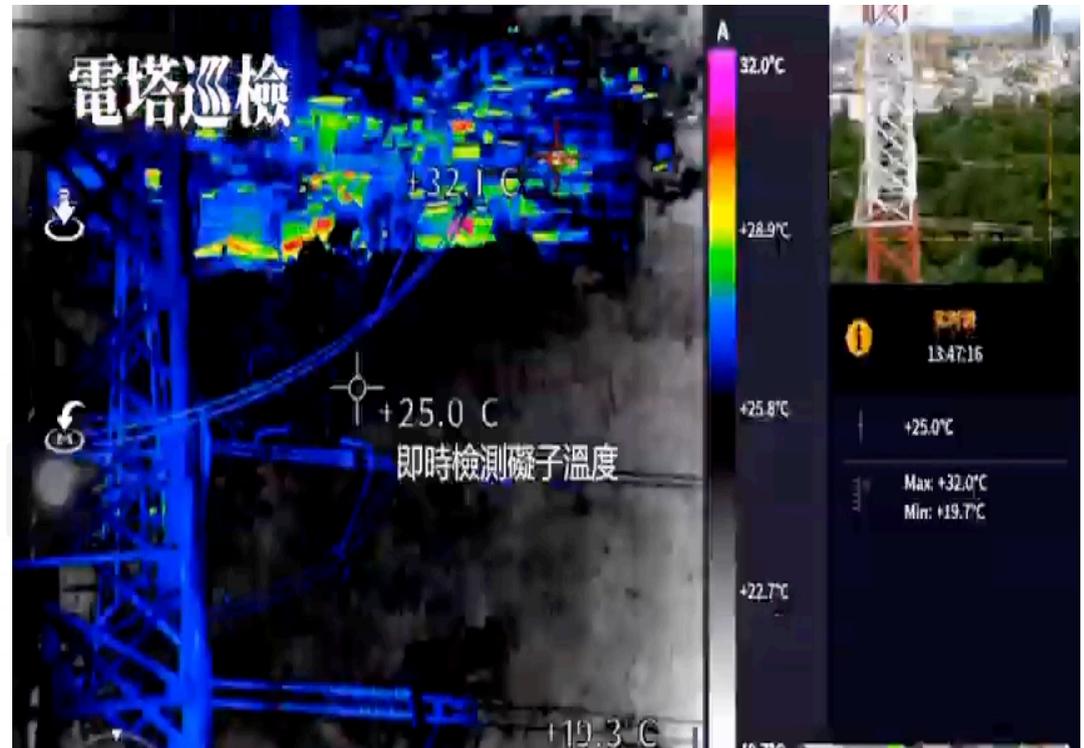
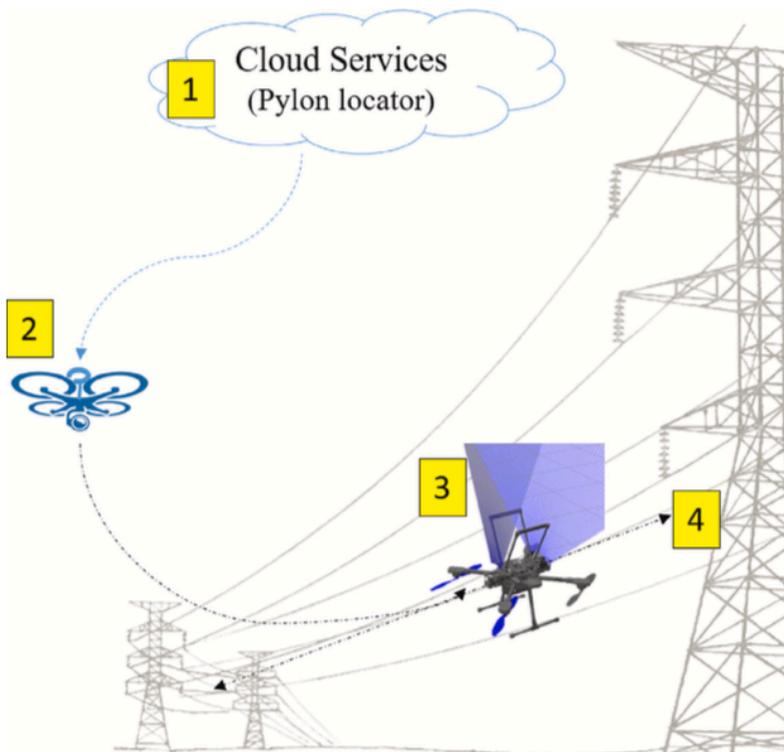
| IR sensors | Frame (FoV, resolution) | SDK, Interface | Package (mm ³ , g) | Supply voltage, Power consum. | Product photo |
|------------------------|------------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| RGB Camera | 1920X1080 FHD MJPEG@30fps | ROS, USB/SPI | 35x35x35 35g | 5V, 0.22A 5W |  |
| 3D - LiDAR | H120° x V70° 0.5° @10fps | ROS, Ethernet | 146x90x55 650g | 12V, 0.75-2A 9-24W |  |
| Thermal imaging Camera | 160x120 @30fps | ROS, USB/SPI | 45x45x67 100g | 5V, 0.13A 4W |  |



Drone with LiDAR 之應用

Power grid inspection

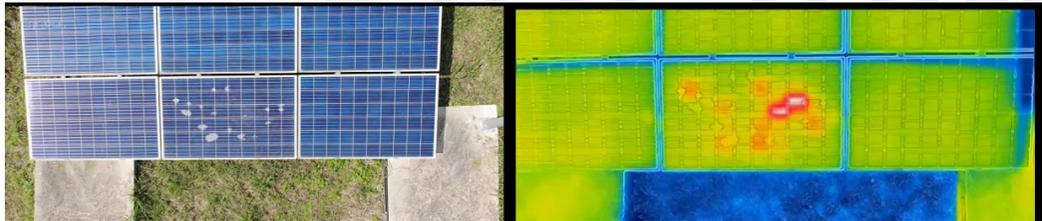
地理空間AI結合了空間科學、深度學習、資料採擷和高性能運算來收集和分析由機器網路所收集的空間資料。





Drone with LiDAR 之應用

Solar panel inspection



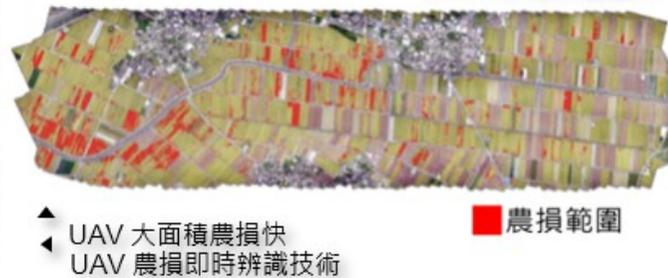
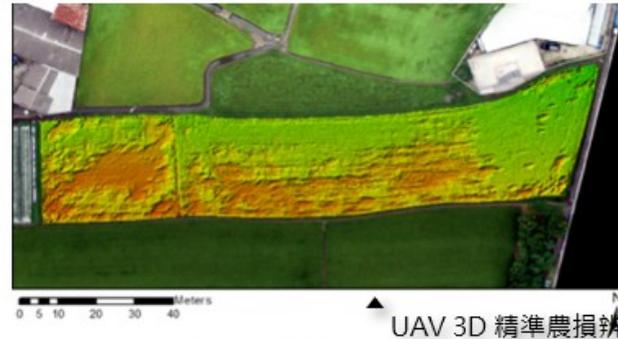


Drone with LiDAR 之應用

Field loss assessment

In order to provide real-time and accurate quantitative data for large-scale agricultural disaster assessment, we can serve as the basis for agricultural disaster relief and insurance.

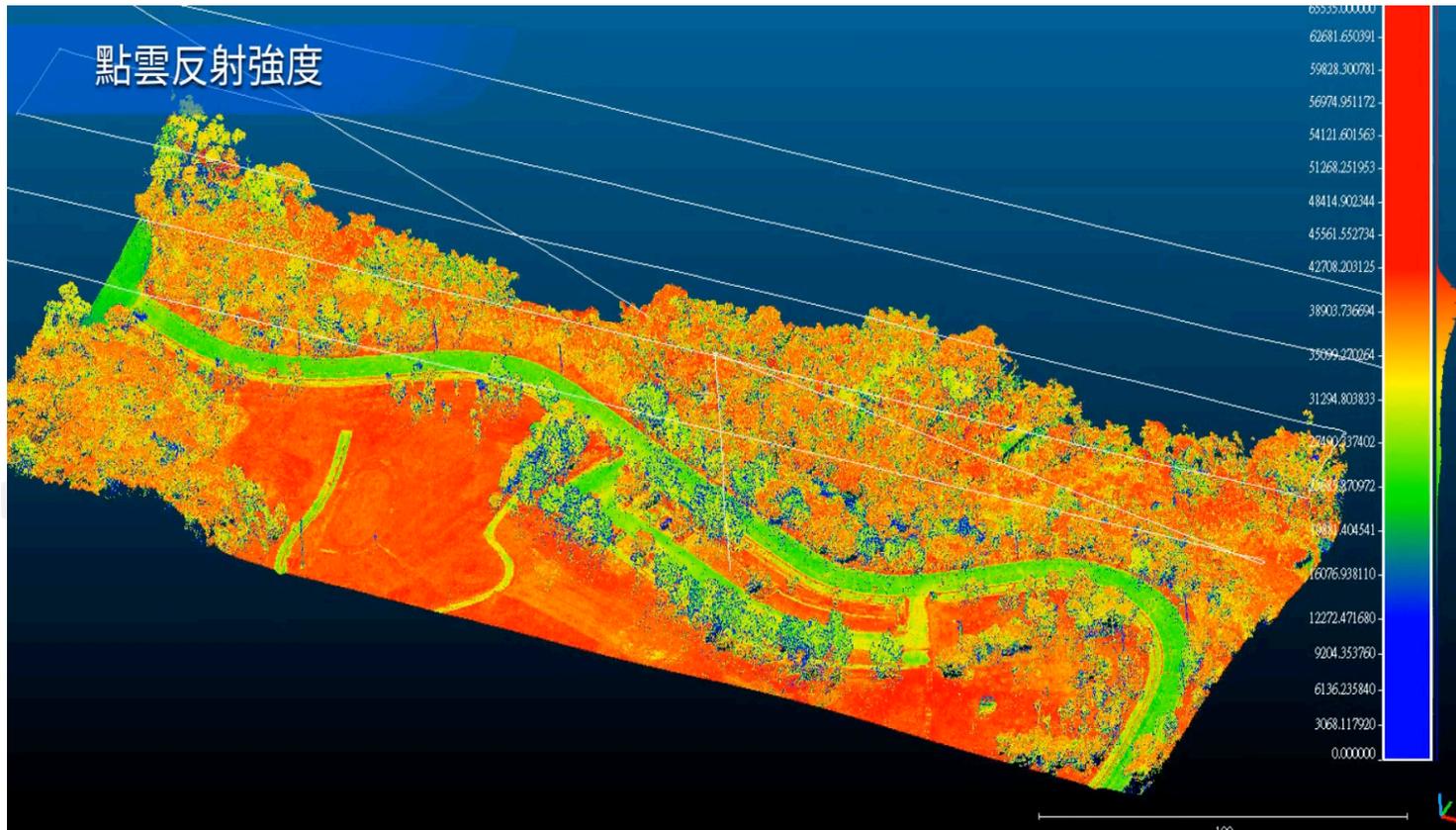
This study introduces how to utilize deep learning methods to rapidly process large volumes of Drone sensor data.





Drone with LiDAR 之應用

Forestry protection





TCO 與中興大學合作開發之光達介紹

Long Distance Detection for Automotive Application By Using 2D-MEMS Scanning Mirror

TLC40 LiDAR Module

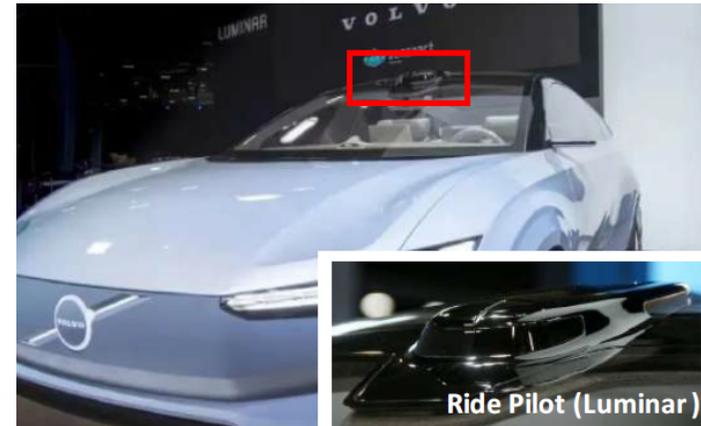
Main Performance Parameters

- Detection distance: 150m
- FOV : H=40° x V=22°
- Resolution : 0.1°(H) x 0.2°(V); @5-30FPS
- Wavelength: 1550nm/905nm
- Human Eye Safety Class 1 (IEC 60825-1:2014)
- Working Temperature : -40°C ~ +105°C

TLM120 LiDAR module

Main Performance Parameters

- Detection distance: 300m
- FOV : H=120° x V=22°
- Resolution : 0.1°(H) x 0.2°(V); @10-20FPS
- Wavelength: 1550nm/905nm
- Human Eye Safety Class 1 (IEC 60825-1:2014)
- Working Temperature : -40°C ~ +105°C



Volvo 2022 CES Show





TCO 與中興大學合作開發之光達介紹

Short Distance to Drone Application or Robot

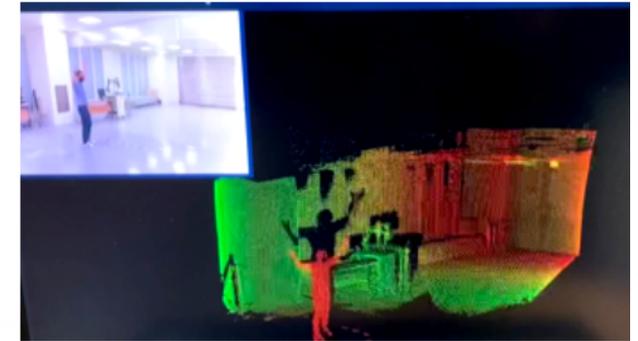
TLF70 LiDAR Module

Main Performance Parameters

- Detection distance: 20m
- FOV : H=70° x V=30°
- Resolution : 0.3°(H) x 0.3°(V); @1-10FPS
- Wavelength: 940nm,
Human Eye Safety Class 1 (IEC 60825-1:2014)
- Working Temperature : -40°C ~ +85°C



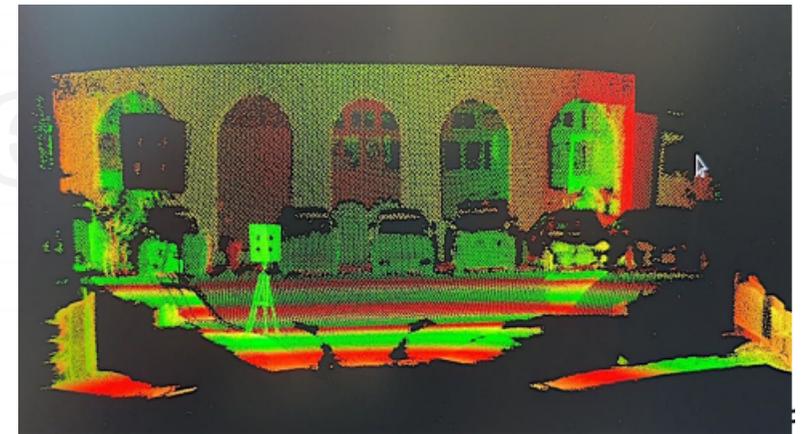
AXM-FP07 (田屋科技)



TLF120 LiDAR module

Main Performance Parameters

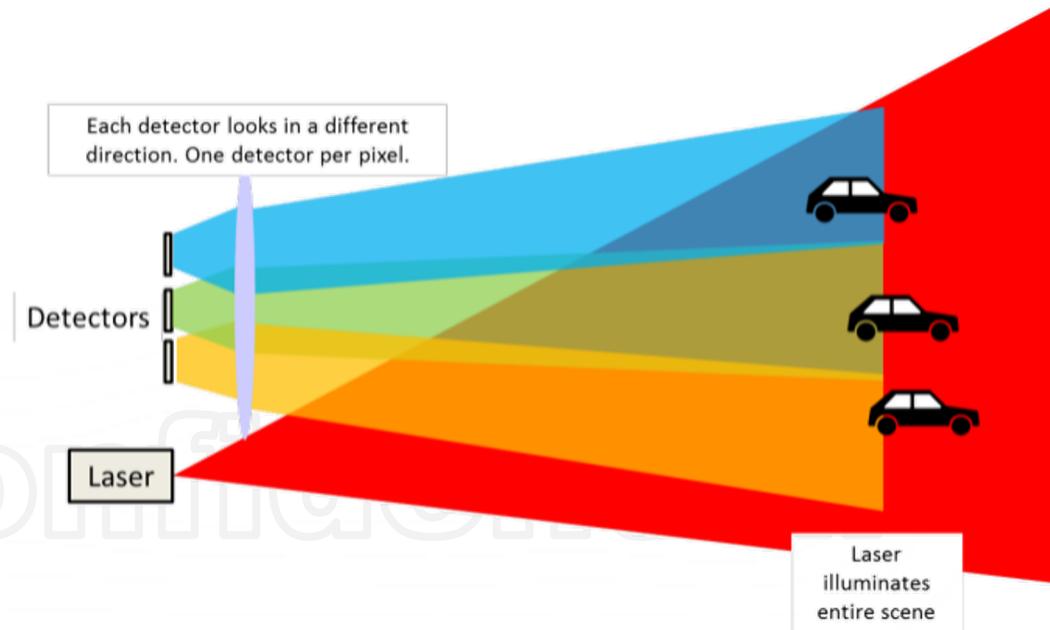
- Detection distance: 20m
- FOV : H=120° x V=60°
- Resolution : 0.5°(H) x 0.5°(V); @10-10FPS
- Wavelength: 940nm,
Human Eye Safety Class 1 (IEC 60825-1:2014)
- Working Temperature : -40°C ~ +85°C





Content

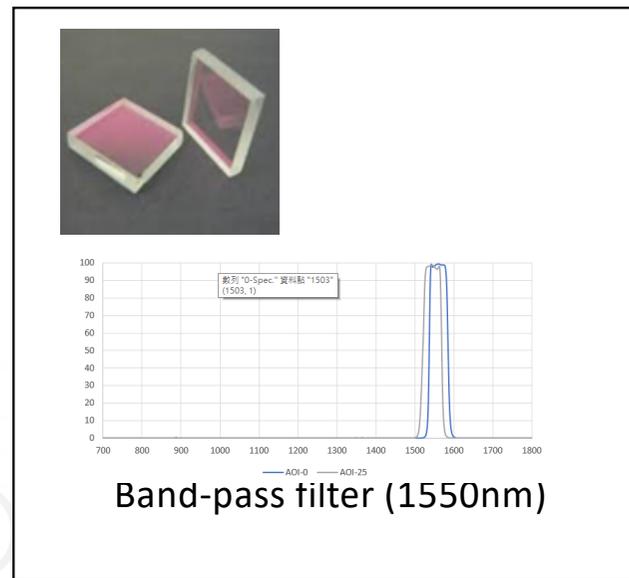
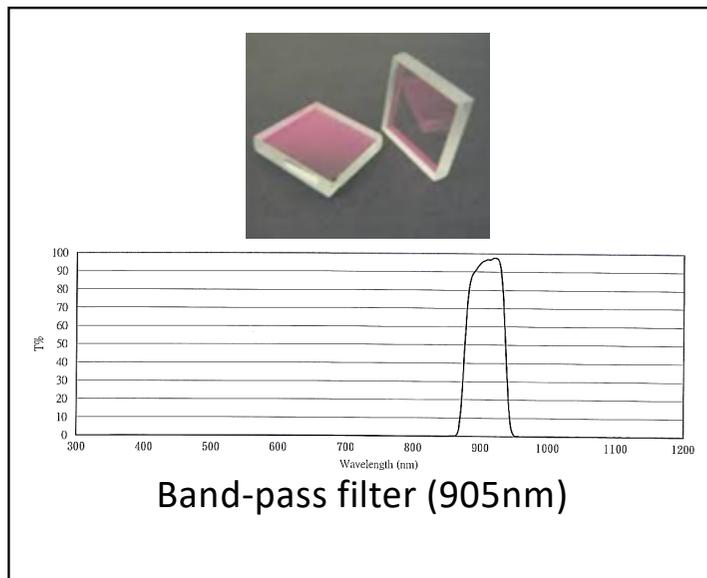
- LiDAR 簡介
- 掃描技術之演進
- LiDAR 之應用
- LiDAR Device 介紹
 - IR Filter
 - IR LD
 - IR Receiver APD & SPAD
 - MEMS





LiDAR and Color Filter

Band-pass filters for LiDAR applications.



Coating spec :
AOI=0°
400~1520nm, Tabs ≤ 1%
1547~1575nm, Tavg ≥ 95%
1610~1700nm, Tabs ≤ 1%
T50% Band Width ≤ 49nm
Angle shift(AOI=0°~25°) ≤ 20nm

可利用高精度濾鏡來自過濾光電探測器的環境光，同時將信號傳遞給 Detector



Content

- LiDAR 簡介
- 掃描技術之演進
- LiDAR 之應用
- LiDAR Device 介紹
 - IR Filter
 - IR LD
 - IR Receiver APD & SPAD
 - MEMS



TCO Confidential



LiDAR用雷射二極體

要提高LiDAR的性能，實現“更長距離”和“更高空間解析度”的感測，作為感測光源的雷射二極體需具有更高輸出功率、更高效率以及更窄的光束。

| | 邊射型雷射 (EEL) | 垂直共振腔面射型雷射 (VCSEL) | 光子晶體面射型雷射 (PCSEL) | | |
|-----|---------------|--------------------|-------------------|--------|------------------------------|
| | | | | | |
| | 發射方向 共振腔方向 | 發射方向 共振腔方向 | 發射方向 共振腔方向 | | |
| 項目 | EEL | VCSEL | PCSEL | 說明 | |
| 共振腔 | 形成方式 | 晶片劈裂形成 | DBR磊晶形成 | 光子晶體形成 | 晶片劈裂容易損失良率, DBR磊晶成本高 |
| | 方向 | 水平 | 垂直 | 水平 | 水平共振腔長度較長 |
| | 長度 | 長 | 短 | 長 | 共振腔長度長才可達到高功率 |
| 發射 | 方向 | 水平/邊射 | 垂直/面射 | 垂直/面射 | 面射出光容易進行測試, 並有利於小尺寸之模組應用 |
| | 張角 | 28度 | 15度 | 1度 | 角度愈小, 後端模組應用較便利, 光可以傳達到更遠的距離 |
| | 光形 | 橢圓形 | 甜甜圈形 | 圓形 | 圓形較易與後段模組耦合 |



LiDAR用雷射二極體

近20年, 光子晶體理論日趨成熟
 運用在雷射元件上可兼具多種優點
 PCSEL可滿足微小化以符合行動裝置用途
 同時達到高功率輸出, 已引起客戶高度興趣與關注

EEL **VCSEL** **PCSEL**

| | EEL | VCSEL | PCSEL |
|-------------------------|------------|------------|--|
| 成本 – 簡單的磊晶結構 | 👍 | 👍 | 👍 勝 VCSEL磊晶結構複雜, 成本為PCSEL的三倍 |
| 成本 – 無劈裂鏡面及鍍膜製程(無COD失效) | 👍 | 👍 | 👍 EEL需劈裂鏡面, 良率損失二成 |
| 成本 – 直接在晶片上測試 | 👍 | 👍 | 👍 EEL無法在晶片上測試, 測試成本高一倍 |
| 性能 – 高功率 | 👍 | 👍 | 👍 單顆VCSEL功率低 |
| 性能 – 高光束品質 | 👍 | 👍 | 👍 EEL光束品質差, 造成後端模組功率降低 |
| 性能 – 波長範圍廣 | 👍 | 👍 | 👍 VCSEL在某些波段無法製作 |
| 尺寸 – 可相容於小尺寸的行動裝置 | 👍 需搭配透鏡 | 👍 無搭配透鏡 | 👍 EEL需搭配45度鏡面及透鏡, 尺寸無法降低 VCSEL仍需搭配透鏡 |



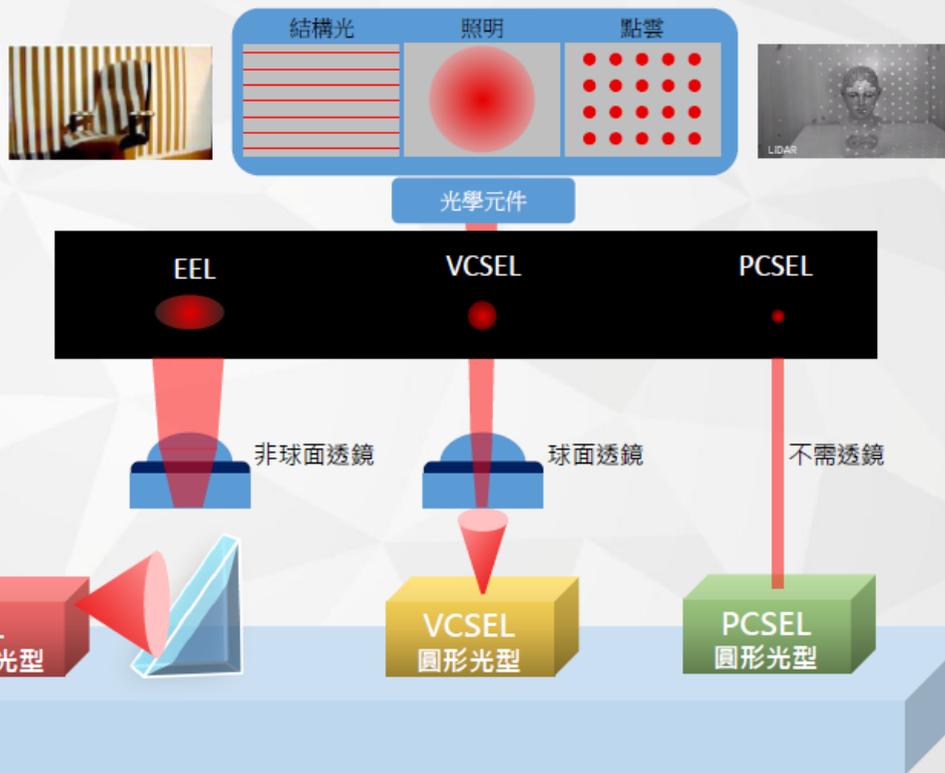
LiDAR用雷射二極體

要進入手機平板等等小尺寸的應用, 需採用 **surface mount**

歐菲光3D感測方案



丘鈦科技3D感測模組

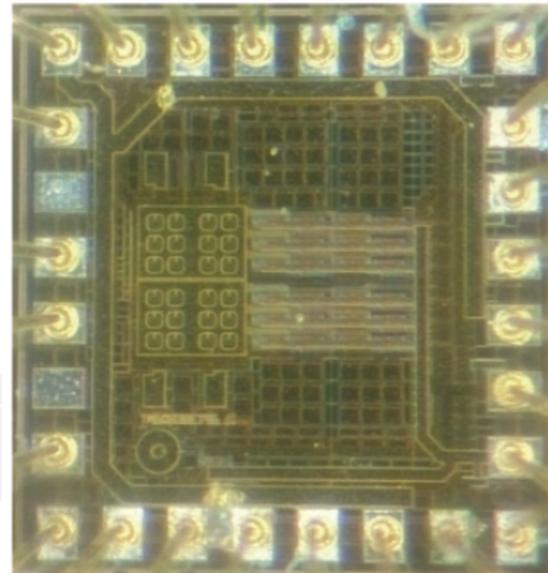


EEL : 由於邊射出光以及橢圓形光型, 需搭配45度鏡面及非球面透鏡, 體積無法縮小, 成本無法降低
VCSEL : 面射出光, 但光形發散, 需搭配球面透鏡才能形成聚焦光點
PCSEL : 面射出光, 不需透鏡, 光形已聚焦成光點, 單顆PCSEL功率可達VCSEL的10倍



Content

- LiDAR 簡介
- 掃描技術之演進
- LiDAR 之應用
- **LiDAR Device 介紹**
 - IR Filter
 - IR LD
 - **IR Receiver APD & SPAD**
 - MEMS





IR Receiver

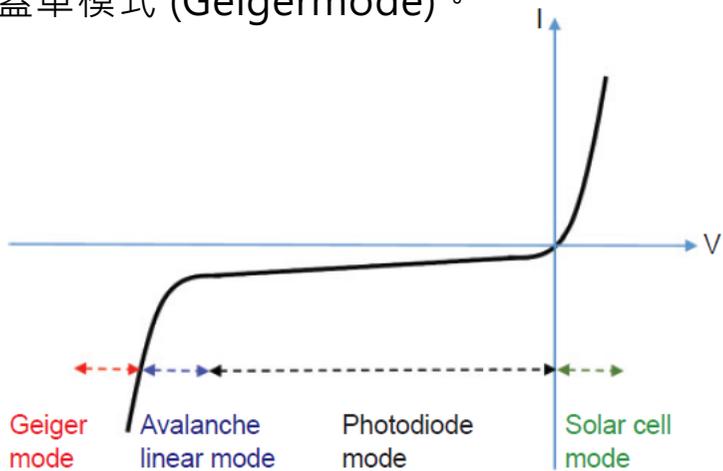
在光偵測器中，最重要的參數是能夠偵測到多低的光量，也就是對光的敏感度有多高，可以想見在此指標中，其終極目標是對單一光子的偵測能力

足以偵測極弱光的光偵測器種類繁多，包括傳統的光電倍增管 (photomultiplier tube, PMT)、電荷耦合元件 (charge coupled device, CCD) 與雪崩式光電二極體 (avalanche photodiode, APD) 等，現今普遍存在各種應用情境之中，與這些元件相較，近一二十年快速發展的單光子雪崩二極體 (single-photon avalanche diode, SPAD)，由於能夠與 IC (integrated circuits) 產業的 CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor) 製程整合，不論在學術界或產業界，都引起相關應用層面極大的關注(1)。其中特別是車用光學雷達 (light detection and ranging, LiDAR)，一方面因為預期能夠大幅增進行車安全，降低車禍意外的發生率與死亡率，另一方面也被視為未來無人自動駕駛車的必要配備，具備極高的商業市場價值，所以特別受到矚目。



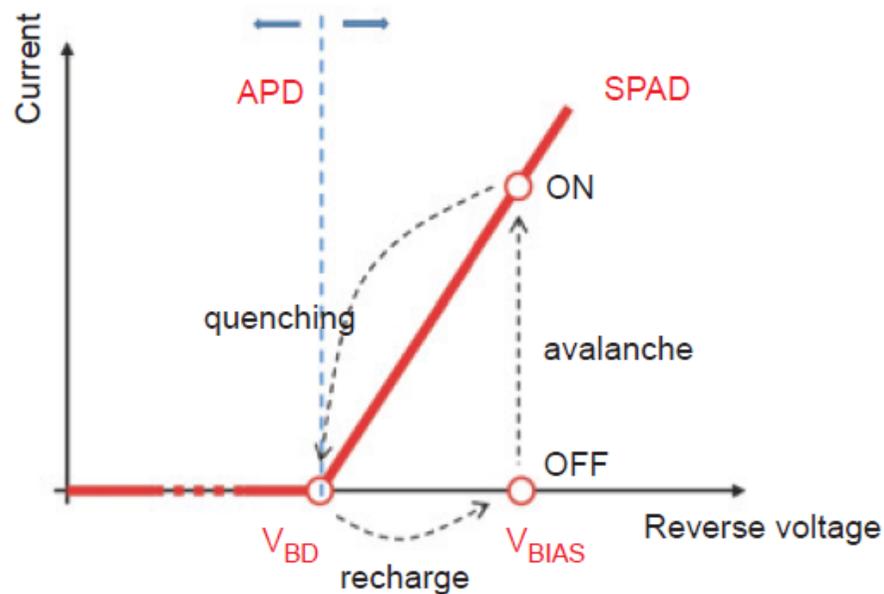
IR Receiver APD & SPAD

一個 PN 二極體在沒有光子入射時的電壓電流特性如下圖，其可依所施偏壓概分為四種操作模式，分別是正偏壓的太陽電池 (solar cell) 模式、負偏壓的光偵測器 (photodiode) 模式、累崩線性模式 (avalanchelinear mode)、與崩潰電壓以上的蓋革模式 (Geiger mode)。



當元件偏壓加到超過其崩潰電壓後，就會進入蓋革模式，也就是單光子崩潰二極體的操作範圍，而其大於崩潰電壓的量則稱作超額偏壓 (excess bias, V_{ex})。

為了增進對弱光的偵測能力，可以將元件偏壓增加(加至更大的負偏壓) 至累崩線性模式，在此模式下元件通常稱作累崩光電二極體 (avalanche photodiode, APD)

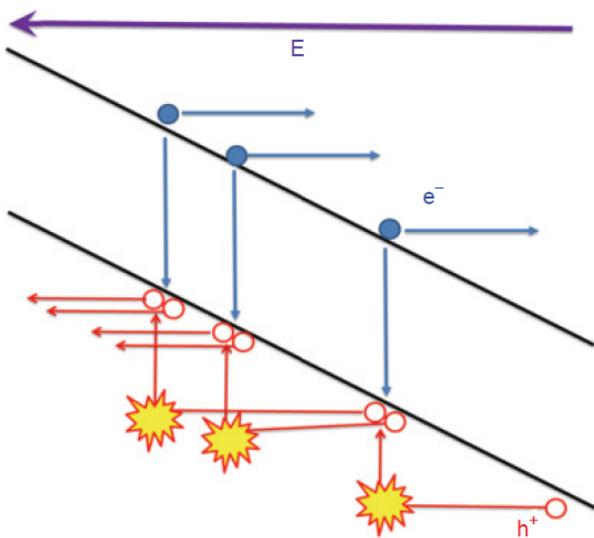




IR Receiver APD & SPAD

在光偵測器模式中，入射光子被半導體吸收後，產生電子電洞對 (electron-hole pair)，這些光子產生的載子，被元件內的電場驅動或經由擴散過程，到達電極成為電流訊號，經由外部電路或儀器讀取。

在此過程中，元件吸收一個光子至多在電極端產生一個電子或電洞，也就是元件內部沒有任何增益 (gain)，如果入射光強度太弱，所產生的電流訊號低於元件雜訊，就會無法進行有效偵測；

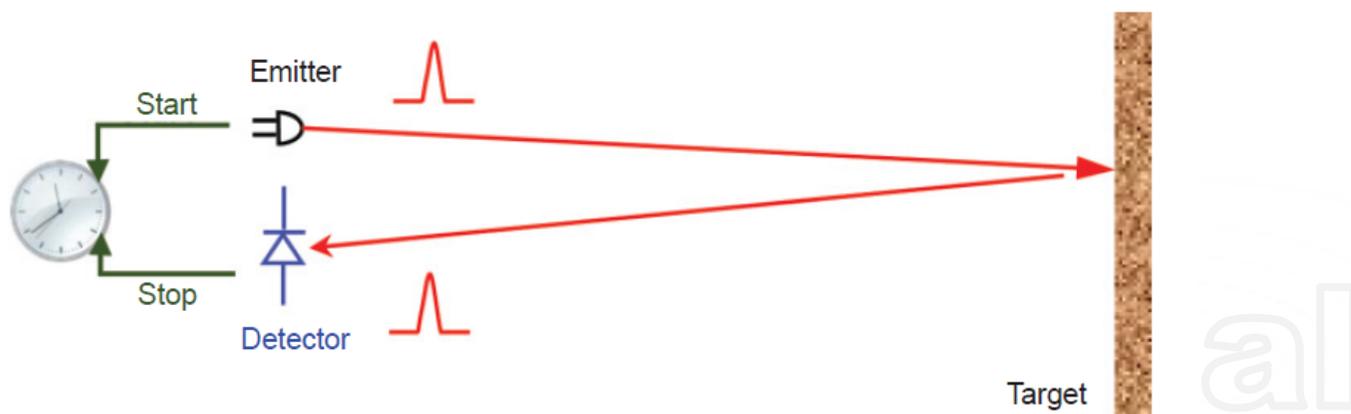


由於元件內部在空乏區 (depletion region) 的電場極大 (約大於 10 kV/cm)，載子在電場加速下會產生衝擊離子化 (impact ionization) 現象，如左圖所示，也就是高能載子會將在價帶 (valance band) 的電子激發至導帶 (conduction band)，創造出新的電子電洞對，而這些新產生的載子也可能會被電場加速，再繼續創造出更多電子電洞對，也就是說，與光偵測器模式不同，在此模式中吸收一個光子後，透過衝擊離子化效應可以放大載子數目而收集到更多電流，也就是元件有內部增益，通常在此模式下，隨偏壓增加增益可高達 100 甚至 1000，也就是平均一個光子可以產生 100 到 1000 個電子電洞對，正因如此，累崩光偵測器可以用來偵測更弱的光



單光子偵測器於光學雷達之應用

所謂光學雷達，其實就是一種光學測距方法，直接時間飛行法之基本原理如圖所示，利用一個短脈衝雷射產生短脈衝光子源，在發射光子的同時啟動計時器開始計時，等到光子經待測物散射回到光偵測器後，光偵測器送出訊號停止計時，此段時間乘以光速再除以 2，就得到待測物的距離，是一個相當簡單可靠的測距方式。



由此可知，脈衝光源(LD)、光偵測器(APD or SPAD)、與計時器構成單點光學雷達的核心部分，再透過掃描或者陣列成像，就可以完成 3D光學雷達的功能。

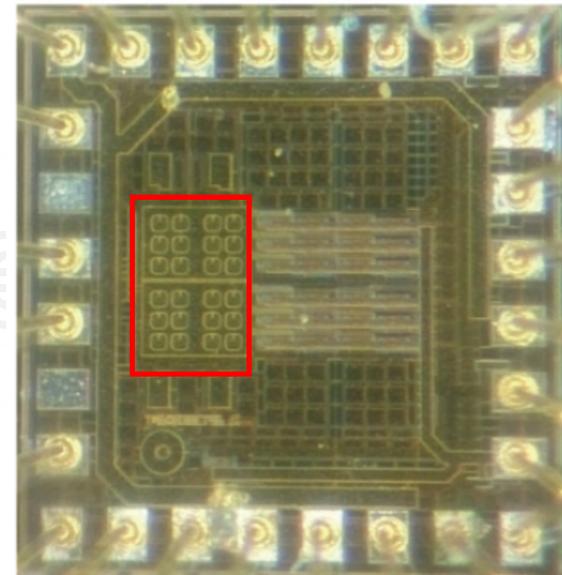


IR Receiver CMOS SPAD

在脈衝雷射光源部分，其波長必須在人眼不可見的紅外線範圍來避免傷害眼睛，脈衝寬度則越短越好，可以提供測距更高的準確性

在車用光學測距的應用中，通常希望能夠盡可能加長感應距離來爭取反應時間，但是因為待測物通常會散射雷射光，使得能夠回到偵測器的光子數大大降低，此效應在距離越遠時越嚴重 (測得光子數約與距離平方成反比)；因此，若要增加可測距離，就必須增加雷射功率，但此舉會對模組成本造成沉重負擔，也增加光源驅動電路的複雜度，另一解決之道則是採用更敏感的光偵測器，所以 CMOS 單光子崩潰二極體 (SPAD) 與其整合電路，被認為是取代目前使用的雪崩光電二極體，以解決目前車用光學雷達高成本、高複雜度的重要關鍵組件。

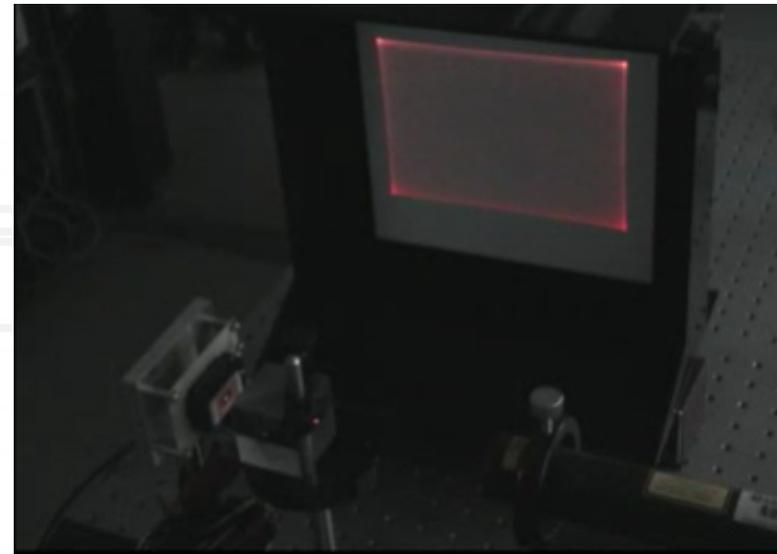
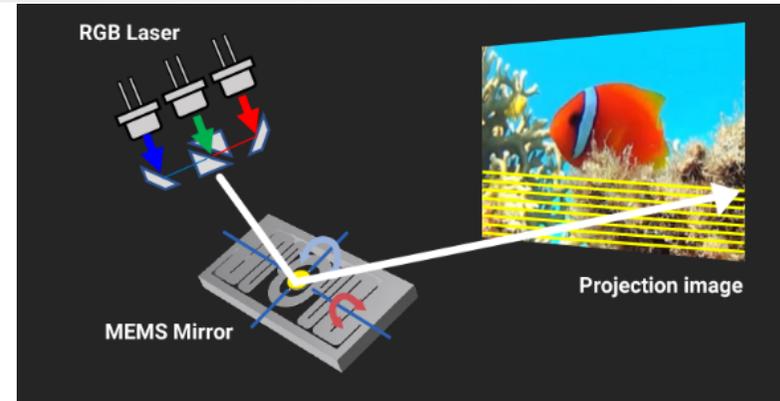
24 個單光子崩潰二極體形成的 6 X 4 陣列，或稱作矽光電倍增管 (silicon photomultiplier, SiPM)，晶片佈局圖與實際晶片之顯微鏡照片如圖所示，





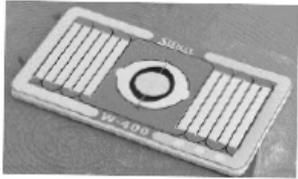
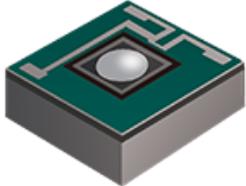
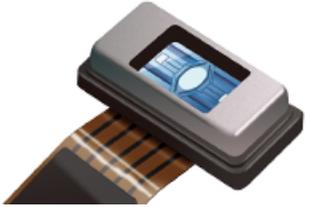
Content

- LiDAR 簡介
- 掃描技術之演進
- LiDAR 之應用
- LiDAR Device 介紹
 - IR Filter
 - IR LD
 - IR Receiver APD & SPAD
 - MEMS





Structure and actuation of MEMS Mirrors

| | Piezoelectric method | Electromagnetic method | Electrostatic method |
|-----------------------------------|---|---|---|
| Device Appearance |  |  |  |
| Power per unit | <ul style="list-style-type: none"> High $10^6 - 10^7 \text{N/m}^2$ | <ul style="list-style-type: none"> Low $10^1 - 10^3 \text{N/m}^2$ | <ul style="list-style-type: none"> Low $10^1 - 10^4 \text{N/m}^2$ |
| Operating environment temperature | <ul style="list-style-type: none"> Automotive qualified 125°C or lower | <ul style="list-style-type: none"> Non automotive qualified 100°C or lower | <ul style="list-style-type: none"> Automotive qualified 150°C or lower |
| Seismic Dynamic Resistance | <ul style="list-style-type: none"> Automotive qualified High | <ul style="list-style-type: none"> Automotive qualified High | <ul style="list-style-type: none"> Non automotive qualified |



MEMS _Single Crystal Wafer

Single-Crystal Wafer

KRYSTAL[®] Wafer
Single-Crystal Technology

KRYSTAL[®] Wafer

Superior wafers for piezoelectric MEMS, that can be single-crystallize various piezoelectric materials to be deposited by using an original ZrO₂ Buffer.



| | Wafer without Buffer (Random Orientation) | Wafer with normal buffer (Random in surface direction) | KRYSTAL [®] Wafer (Continuous crystals) |
|---------------------------------|---|---|---|
| Cross Sectional Structure Image | <p>Polycrystal Pt Si Without Buffer</p> | <p>Polycrystal Pt Si Normal Buffer</p> | <p>Single Crystal SRO / Pt Si Original ZrO₂ Buffer TEM image</p> |



PZT單晶應用於MEMS mirror之優勢

單晶&多晶 PZT 材料比較：

- KRYSTAL® Wafer's single-crystal piezoelectric thin films shows superior electrical and mechanical characteristics compared to common poly-crystal piezoelectric thin films.



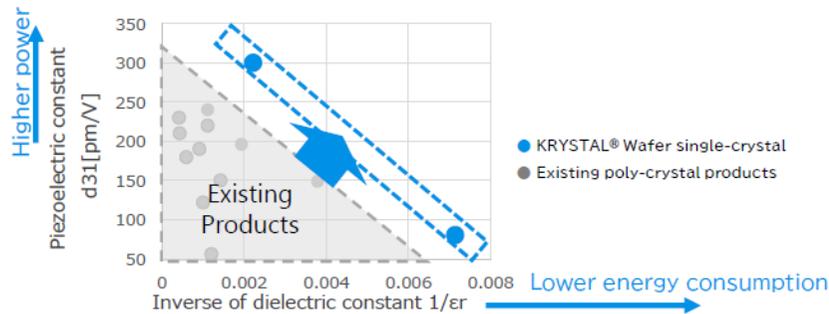
VS



PZT thin film for sensors and actuators are available as the standard specification.
The specifications can be adjusted to meet requirements, by optimizing the process conditions.

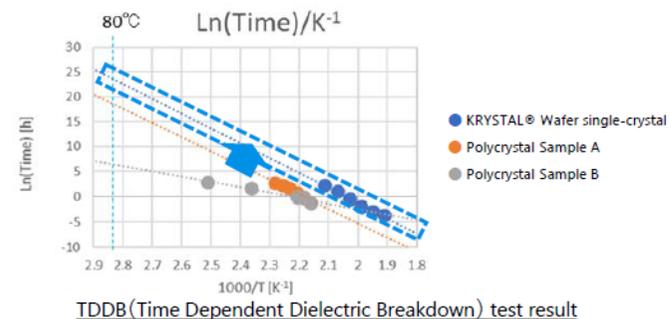
✓ Superior Electrical and Mechanical Characteristics

The piezoelectric property direction is aligned when single crystallized. It exhibits superior actuator and sensor performance.



✓ Improved reliability

Single crystallization improves the bonding between atoms. It has approx. 100 times longer life than polycrystal PZT.



材料特性比較，具有單晶 PZT 的 MEMS 反射鏡相對於多晶 PZT 的具體優勢

- * 低功耗和高輸出（檢測電極產生高電荷）
- * 可靠性高（PZT壽命長），因為單晶PZT在工作過程中產生的熱量比多晶薄膜低。
- * 單晶PZT在監測運動時比噪聲有優勢，因為它在施加電壓時會產生大量電荷。



Thank You

TCO Confidential