

## Technical White Paper

# 用於衛星感測酬載的創新半導體，如何協助我們更了解我們的世界



Jason Clark

### 摘要

自 1950 年代太空競賽開始以來，科學家一直在設計監測和測量地球環境的儀器。1958 年，美國第一顆人造衛星 Explorer 1，測量了環繞地球的宇宙輻射帶，這些輻射帶後來以設計該實驗的科學家之名，命名為 Van Allen 輻射帶。這次發射以及 Van Allen 輻射帶的發現，開啟了持續至今的衛星監測地球的時代。隨著科技進步，衛星感測器的功能也大幅提升，應用範圍擴展至測量天氣型態、污染物濃度、冰層厚度以及農作物產量。

本白皮書探討用於衛星上進行雷達和光學成像的不同負載儀器，以及如何利用創新的半導體來製作這些儀器。

### 目錄

1 衛星中的感測器技術.....	2
2 衛星的主動感測酬載.....	2
3 衛星被動感測系統.....	5
4 結論.....	6

### 圖

图 2-1. 無線電波反射平滑表面目標.....	2
图 2-2. 無線電波的雙重反射.....	3
图 2-3. 雷達成像酬載方塊圖.....	4
图 2-4. 雷射成像方塊圖.....	5
图 3-1. 衛星被動感測系統的光學成像酬載方塊圖。.....	5

### 註冊商標

所有商標均為其各自所有者的財產。

## 1 衛星中的感測器技術

衛星上用於測量的感測酬載 (亦稱為「感測儀器」) 類型，可分為以下兩大類：

- 主動式感測器會以光或電磁波形式產生自己的照明，類似於使用相機的閃光燈。2025 年美國太空總署 (NASA) 與印度太空研究組織 (ISRO) 合作的 NISAR 任務中所發射的衛星，其搭載的合成孔徑雷達 (SAR) 即為主動式感測器的範例。
- 被動式感測器會感測來自其他來源的照明，類似於在戶外拍照時由太陽提供光線。被動式感測器的範例之一是 多光譜成像儀，例如歐洲太空總署 (ESA) 的 Sentinel 2 任務中所使用的成像儀。

## 2 衛星的主動感測酬載

SAR 是衛星中常見的主動感測酬載類型。如同任何雷達系統，SAR 從天線發射無線電波脈衝或頻率啾啾，電波傳播到目標後反射，再由同一支天線接收。測量電波往返所需時間，即可計算出與目標之間的距離。然而，由於衛星相對於地面目標呈一定角度飛行 (請參閱 圖 2-1)，反射能量的大小取決於目標的平滑度和角度。

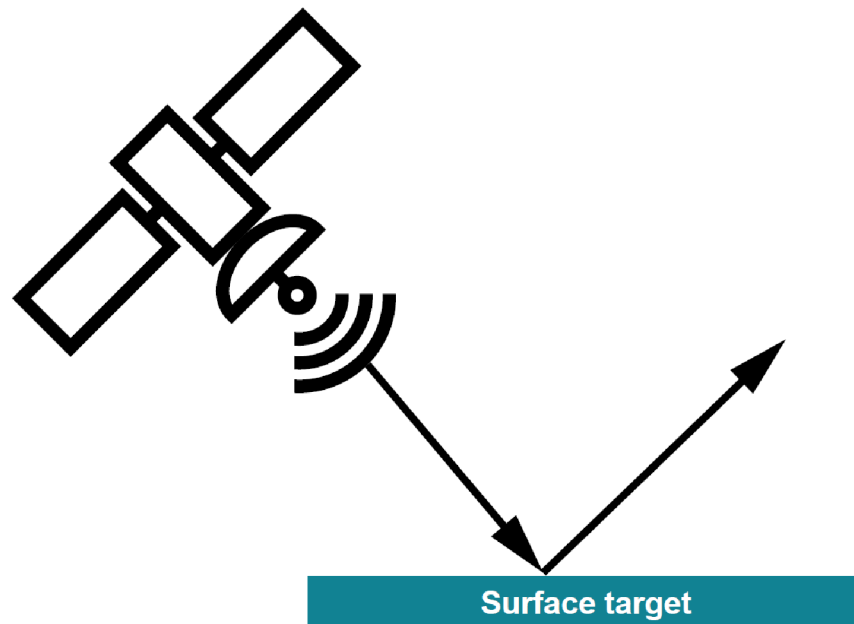


圖 2-1. 無線電波反射平滑表面目標

例如，平滑的水面會將用於雷達感測的所有無線電波反射到接收器 (即天線) 以外的地方。反射能量的多寡會以灰階影像顯示，白色區域表示高反射，黑色區域表示低反射。

無線電波也可以從多個物體反射。例如，電波先從水面反射，然後再從樹木反射，這稱為雙重反射。雙重反射會使平滑水面在 SAR 影像中呈現明亮，而不是黑暗，因為無線電波會先從水面反射，然後再從樹木反射，如 圖 2-2 中所示。

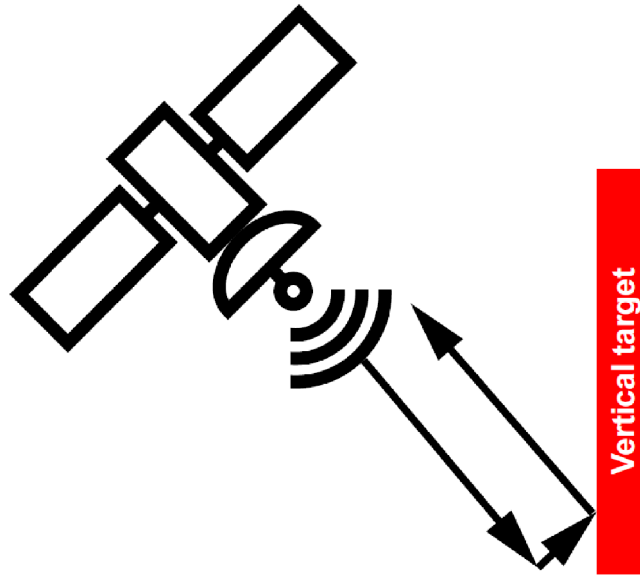


图 2-2. 無線電波的雙重反射

雷達頻率是重要屬性，會大幅影響雷達能觀測到的目標。無線電波只會從比波長大的物體反射。

無線電波反射的屬性，讓雷達能穿透雲層，甚至能看到地面的植被。極低頻雷達甚至能穿透土壤，以測量濕度或偵測光學成影無法偵測的特徵。

雷達的另一個特點是其孔徑大小。雷達的有效大小與雷達波束掃描地面時的光點大小成反比。光點大小稱為雷達的方位角解析度，即衛星區分兩個鄰近物體的能力。較大的雷達會在地面上產生較小的光點，並具有較佳的方位角解析度。遺憾的是，考慮到超大型雷達的大小和重量，將其發射到太空並不實際。然而，系統設計人員可以利用電腦處理技術，讓雷達看起來比其實際大小更大。這種方法利用衛星相對於其目標移動的事實，並藉由多個重疊雷達光點脈衝的反射來合成孔徑。

在衛星中實作 SAR 儀器需要非常專業的射頻 (RF) 元件。圖 3 顯示在衛星中實作 SAR 的雷達成影酬載典型方塊圖。

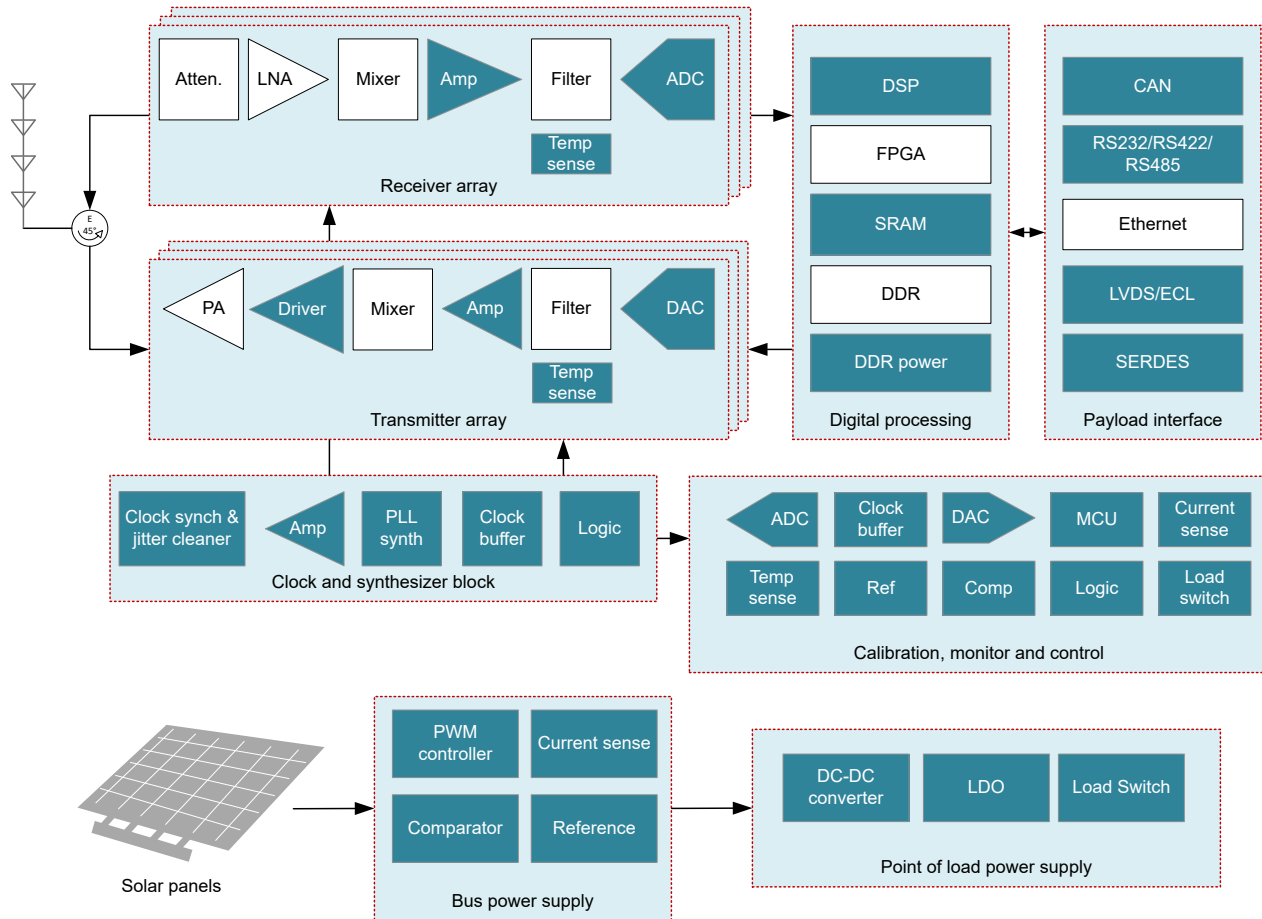


图 2-3. 雷達成像酬載方塊圖

雷達成像酬載中的高速資料轉換器有助於判斷雷達的性能與架構。例如，射頻取樣資料轉換器可直接將雷達頻帶轉換為數位資訊以處理。這些資料轉換器最重要的需求為：

- 高於最大輸入頻率之類比輸入頻寬。
- 大於雷達訊號瞬時頻寬兩倍的取樣率。
- 高訊號雜訊比及無雜散動態範圍，可滿足所需頻率的系統性能需求。
- 可耐輻射以滿足任務需求。

例如 AFE7950-SP 射頻取樣收發器可提供以下功能：

- 10.6GHz - 3dB 類比輸入頻寬，可支援從 L 頻帶到 X 頻帶的射頻取樣。
- 六個 3GSPS 類比轉數位轉換器 (ADC) 和四個 12GSPS 數位轉類比轉換器 (DAC)。1.2GHz 的最大瞬時頻寬可提供更佳的範圍解析度，並可實作抗干擾技術。
- 優於 -155dBc/Hz 的雜訊頻譜密度和第三階互調失真 (IMD3) >76dBc 至 5GHz 輸入頻率，可實現高接收器靈敏度。
- 接腳相容的 100krad/75MeV 可用於低地球軌道 (LEO) 至地球靜止軌道 (LEO)。

另一種主動式感測器使用雷射做為照明光源，而非雷達的電磁波，但仍適用使用時間測量距離的相同原則。然而，雷射的工作頻率很高，波長很短，無法穿透地面上的雲或其他物體，因此需要明確的條件。雷射系統不使用天線，而是使用光電二極體來接收和測量從目標反射的雷射。图 2-4 顯示此類型系統的方塊圖。

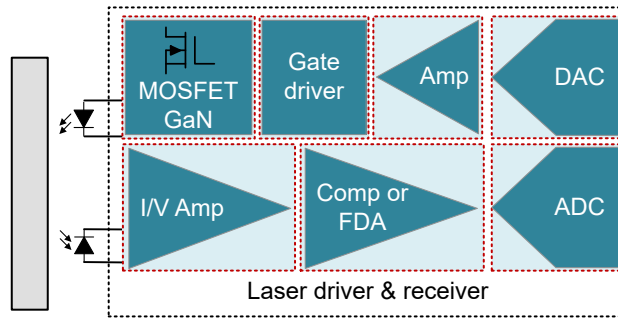


图 2-4. 雷射成像方塊圖

如 图 2-4 所示，光二極體感測器陣列後接轉阻放大器，將其電流輸出轉換為資料轉換器可取樣的電壓。在此情況下，資料轉換器必須速度夠快，才能針對反射光脈衝的上升邊緣和波形取樣，這取決於雷射上升時間和脈衝重複率。

### 3 衛星被動感測系統

第一個也是最常見的被動感測系統是攝影機。就像行動電話中的攝影機一樣，它使用互補金屬氧化物半導體 (CMOS) 或電荷耦合裝置 (CCD) 來擷取太陽等光源反射目標的光子。感測器每個像素擷取到的光子，會透過 ADC 轉換成數位資訊，再由系統處理器處理，形成從太空拍攝的地球圖片。

利用這些影像，可以觀察天氣型態、冰層覆蓋範圍以及自然災害的影響。然而，影像品質取決於感測器的解析度 (像素數量)，感測器的動態範圍 (像素可保留的光子數量)，以及將資訊轉換為數位格式的準確度。图 3-1 是用於在衛星中實作被動感測的典型光學成像酬載方塊圖。

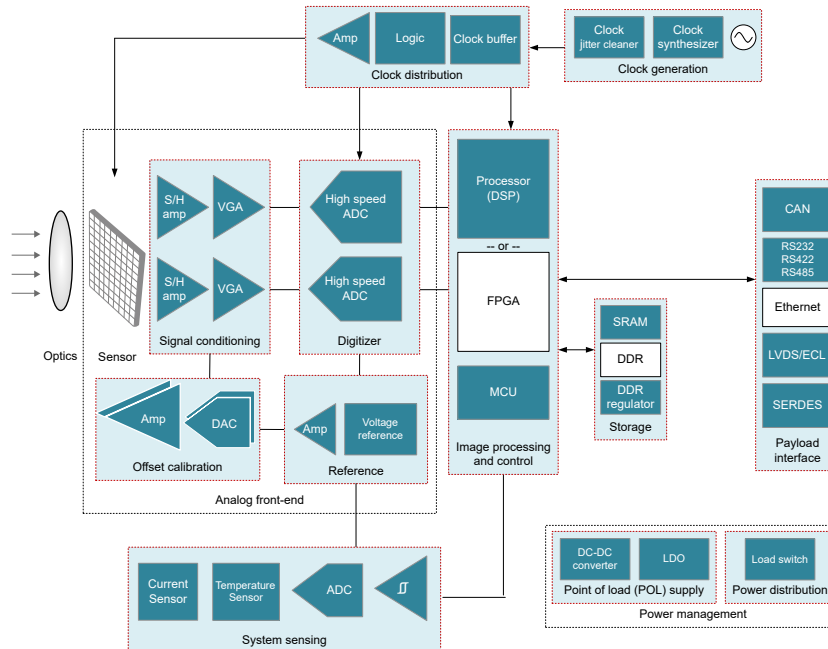


图 3-1. 衛星被動感測系統的光學成像酬載方塊圖。

雖然有些影像感測器整合了資料轉換器，但其他感測器則仰賴外部資料轉換器的性能，例如 [ADC3683-SP](#)，這些轉換器提供下列功能：

- 雙通道 18 位元解析度高達 65MSPS，可實現最大影像感測器動態範圍擷取。
- - 160dBFS/Hz 的雜訊光譜密度可提供清晰影像的高訊號雜訊比。
- <100mW 的功耗，可減少電子裝置產生的熱能，而熱能會影響感測器雜訊。
- 100krad/75MeV (-SP 版本) 和 30krad/43MeV (-SEP 版本) 可用於從 LEO 到 GEO 的任何航天軌道。
- 11mm x 11mm 陶瓷四方平面封裝 (-SP 版本)

雖然您最熟悉的是可見光，但還有許多人眼看不見的其他波長的光，例如紅外線和紫外線。

透過觀察所有光譜的圖片，科學家可以測量出許多細節，例如大氣中污染物的含量、農作物產量的變化、地質構造、植被密度和濕度。藉由探索這些細節如何隨著時間改變，科學家不僅能推測遙遠的過去可能發生的事情，還能預估未來可能發生的情況。

有三種方法可以測量不可見光：

- 單頻帶成像可測量電磁光譜中的一個頻帶。例如，紅外線感測器會偵測紅外線輻射以測量溫度變化。
- 多光譜成像結合多個頻帶的影像，以感測單頻帶無法看見的植被密度等現象。多光譜感測器可測量三個或更多粗略的光譜頻帶。
- 超光譜成像從特定光頻帶非常窄的切片擷取影像。超光譜感測器可測量數百個窄頻帶，以找出在多光譜成像粗略頻帶中無法看到的特性。

所有這些影像系統都需仰賴對測量特定光頻帶敏感的感測器 IC。雖然可以對可見光或近紅外線光譜使用 CMOS 或 CCD 感測器，但不適用於較長波長的光線。碲化鎘偵測器可以測量 900nm 到 2500nm 的波長，因此適合在紅外光譜中進一步觀察。

放置在影像感測器前方的稜鏡或光柵會將光線分離成個別頻帶。感測器在 y 維度上的每個像素會感測一個單一頻帶。所得的二維影像包含沿著該線每個點的所有光譜資訊。然後，就可以檢查每個像素的光譜組成，以尋找礦物、植被或污染等物質的模式或特徵。

不過，感測器只是產生影像所需的元件之一。感測器輸出也必須經過調節，以高速 ADC 數位化，然後處理為可視格式。如同上述的影像感測器，ADC 的性能對影像品質至關重要，並且必須與感測器的動態範圍相符，才能獲得最佳結果。此外，請務必小心選擇訊號調節，時脈與電源供應元件，以免對感測器輸出或資料轉換器增加額外雜訊。[TPS7H1111-SP](#) RF 低壓差穩壓器等低雜訊元件可將系統中的雜訊降至最低。

## 4 結論

所有這些感測技術都為科學界提供了寶貴數據，有助於更深入了解地球的過去、現在和潛在的未來。隨著衛星感測酬載及其所需組件 (例如半導體) 的準確度提高，我們將能對地球的未來做出更詳細的測量和更準確的預測。

## 重要聲明與免責聲明

TI 均以「原樣」提供技術性及可靠性數據（包括數據表）、設計資源（包括參考設計）、應用或其他設計建議、網絡工具、安全訊息和其他資源，不保證其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的擔保，包括但不限於對適銷性、適合某特定用途或不侵犯任何第三方知識產權的暗示擔保。

所述資源可供專業開發人員應用 TI 產品進行設計使用。您將對以下行為獨自承擔全部責任：(1) 針對您的應用選擇合適的 TI 產品；(2) 設計、驗證並測試您的應用；(3) 確保您的應用滿足相應標準以及任何其他安全、安保或其他要求。

所述資源如有變更，恕不另行通知。TI 對您使用所述資源的授權僅限於開發資源所涉及 TI 產品的相關應用。除此之外不得複製或展示所述資源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知識產權授權許可。如因使用所述資源而產生任何索賠、賠償、成本、損失及債務等，TI 對此概不負責，並且您須賠償由此對 TI 及其代表造成的損害。

TI 的產品均受 [TI 的銷售條款](#) 或 [ti.com](#) 上其他適用條款，或連同這類 TI 產品提供之適用條款所約束。TI 提供所述資源並不擴展或以其他方式更改 TI 針對 TI 產品所發布的可適用的擔保範圍或擔保免責聲明。

TI 不接受您可能提出的任何附加或不同條款。

郵寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated