

# ไขความลับเรื่อง CCD



## Charge-Coupled Device

ทุกครั้งที่เราอ่านเรื่องราวเกี่ยวกับกล้องวิดีโอ นอกจากเรื่องของฟอร์แมต เลนส์ และโหมดในการถ่ายแบบต่าง ๆ แล้ว มีอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องเกี่ยวข้องกับตัวเสมอและถือว่ามีค่าสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากันก็คือเรื่องของ CCD เมื่อเราพบคำว่า Pixel Shift Technology HAD หรือ Hyper HAD ในกล้องแต่ละรุ่น หลายคนอาจไม่รู้ว่ามันคืออะไร มีผลข้างเคียงกับภาพที่จะถ่ายจาก CCD เหล่านี้อย่างไร ฉบับนี้เราจะพาท่านไปไขปัญหาเรื่องราวของ CCD ว่าจริง ๆ คืออะไร มีด้วยกันกี่ชนิด และมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันอย่างไร

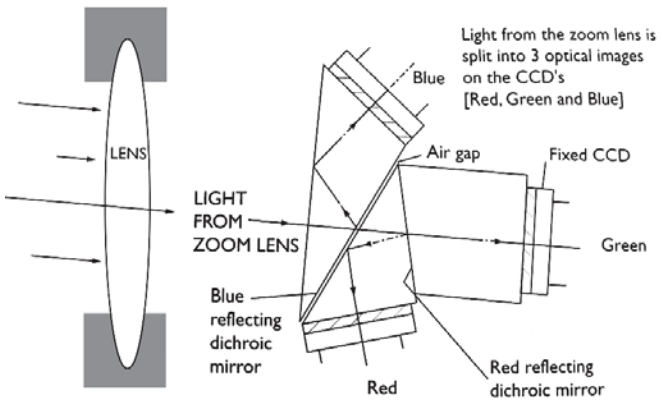
### เริ่มกันที่กล้อง

กล้องวิดีโอ หรือที่นิยมเรียกกันว่า Camcorder (Camera + Recorder) นั้น เป็นอุปกรณ์ตัวแรกที่จะต้องเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต คุณภาพของวิดีโอจะดีมากขึ้นน้อยเพียงไรก็จะขึ้นอยู่กับการใช้กล้องและการจัดองค์ประกอบของการถ่ายทำเป็นหลัก หากวิดีโอที่เราได้มาตั้งแต่เริ่มต้นไม่ดี โอกาสที่จะแก้ไขในขั้นตอนต่อมาจะเป็นสิ่งที่ยากและเสียเวลา CCD เป็นส่วนสำคัญที่สุดส่วนหนึ่งของกล้อง เพื่อที่จะเข้าใจเรื่องราวของมันจึงต้องรู้ว่ามันทำอะไรและอยู่ส่วนไหนของกล้องถ่ายวิดีโอเสียก่อน

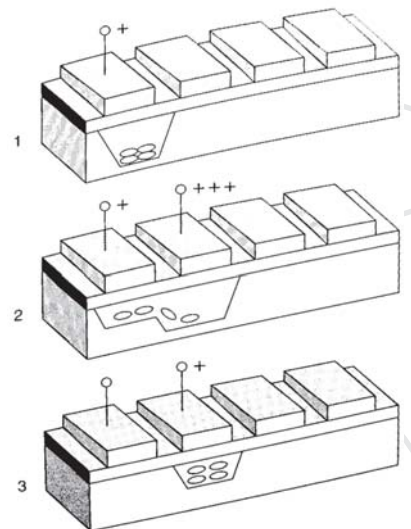
จากรูป เราจะเห็นแสงสะท้อนจากวัตถุวิ่งผ่านเลนส์เข้ามาในกล้องแล้วถูกแยกออกเป็นสีพื้นฐานสามสีโดยปริซึม แสงของสีทั้งสามจะถูกส่งไปยังตัวแปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งในอดีตก็คือหลอดถ่ายภาพโทรทัศน์นั่นเอง ต่อมาหลอดภาพนี้ถูกแทนที่โดยสารกึ่งตัวนำที่เรียกว่า Charge-Coupled Device หรือ CCD ที่เรากำลังจะกล่าวถึงนั่นเอง

CCD มีพัฒนาการมาจากตัวเก็บประจุแบบ MOS ซึ่งเกิดจากการนำแผ่นโลหะอิเล็กทรอนิกส์มาวางประกอบอยู่บนพื้นซิลิกอนชนิด P-Type โดยมีชั้นซิลิกอนไดออกไซด์บาง ๆ คั่นกลางอยู่ หากปล่อยศักดาไฟฟ้าบวกให้กับแผ่นอิเล็กทรอนิกส์จะเกิดเป็นบ่อพลังงานต่ำ (Low-energy well) ใกล้กับจุดต่อระหว่างซิลิกอนไดออกไซด์กับพื้นซิลิกอนนั้น อิเล็กตรอนอิสระก็จะถูกดึงดูดมาเก็บไว้ในบ่อนี้ มันสามารถเคลื่อนไปได้ถ้าบ่อข้างเคียงมีระดับพลังงานต่ำกว่า ความสามารถในการเก็บและส่งผ่านประจุนี้คือพื้นฐานการทำงานเบื้องต้นของ Charge-Coupled Device

1. หลังจากศักดาไฟฟ้าบวก (5V) ถูกจ่ายให้กับแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ บ่อพลังงานต่ำก็จะเกิดขึ้นได้แผ่นออกไซด์/สารกึ่งตัวนำ เป็นการดึงเอาอิเล็กทรอนิกส์อิสระเข้ามา
2. หากศักดาที่สูงกว่า (10V) ถูกจ่ายไปยังอิเล็กทรอนิกส์ข้างเคียงที่อยู่ติดกัน บ่อพลังงานต่ำที่ลึกกว่าก็จะเกิดขึ้นและจะไปดึงเอาอิเล็กทรอนิกส์จากบ่อที่สูงกว่าลงมา
3. ถ้าศักดาที่จ่ายให้กับอิเล็กทรอนิกส์แผ่นแรกถูกปลดออกและศักดาที่จ่ายให้กับแผ่นที่สองปรับลดลงเท่ากับศักดาของแผ่นแรกเดิม (5V) อิเล็กตรอนก็จะค้างอยู่ที่แผ่นที่สองนี้เท่านั้น เมื่อทำซ้ำขั้นตอนนี้กับแผ่นที่สาม สี่ และต่อ ๆ ไป ประจุกก็จะเคลื่อนตัวไปตามสายของตัวเก็บประจุ
4. โดยการเปลี่ยนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ด้วยสารไวแสงที่เรียกว่า "Photosensor" ประจุที่เกิดขึ้นจากแสงที่มากกระทบสารไวแสงเหล่านี้ก็จะถูกส่งออกไปด้วยวิธีการเดียวกัน



แสดงส่วนตัดของกล้องวิดีโอ



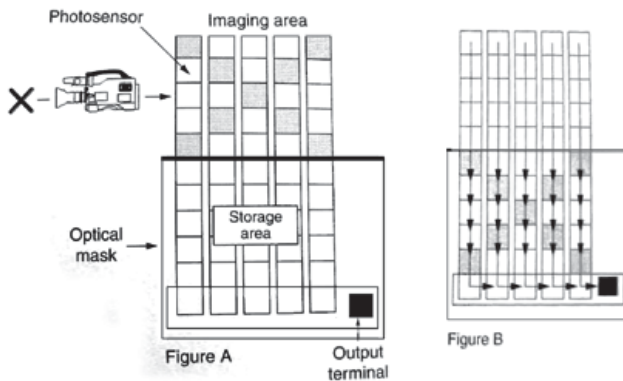
อธิบายการเคลื่อนอิเล็กทรอนิกส์ภายในแถวของตัวเก็บประจุแบบ MOS

# Charge-Coupled Device

## Charge-Coupled Device

ถ้าเราแทนที่แผ่นโลหะอิเล็กโทรดที่อยู่ด้านบนด้วย Photosensor ซึ่งผลิตจาก Polysilicon หรือ Stannic oxide ที่มีความโปร่งใส แล้วนำมาจัดเป็นกลุ่มไปวางเป็นอุปกรณ์รับภาพไว้ด้านหลังปริซึมหรือเลนส์ เราก็จะได้โครงสร้าง CCD เบื้องต้นของกล้องวิดีโอ จุดแต่ละจุด (อยู่ระหว่าง 500-800 จุดต่อหนึ่งเส้นภาพ) จะสร้างประจุเป็นสัดส่วนกับความสว่างของภาพที่ถูกรวมลงไปในตัวของมัน ดังนั้นจึงต้องหาวิธีที่จะอ่านค่าความแตกต่างของประจุจำนวนกว่าครึ่งล้านหรือมากกว่านี้ ให้เป็นตามลำดับของการกราดที่พอดีกับเส้นสแกนและอัตราการแสดงภาพของระบบโทรทัศน์ เพื่อจะส่งไปใช้งานภายนอกได้ต่อไป ปัจจุบันเราแบ่งประเภทของ CCD จากชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ใช้ ตำแหน่งหน่วยความจำชั่วคราว (Register) และวิธีการโยกย้ายข้อมูลของมัน ประเภทของ CCD เหล่านี้ได้แก่ Frame transfer (FT), Interline transfer (IT), และ Frame interline transfer (FIT)

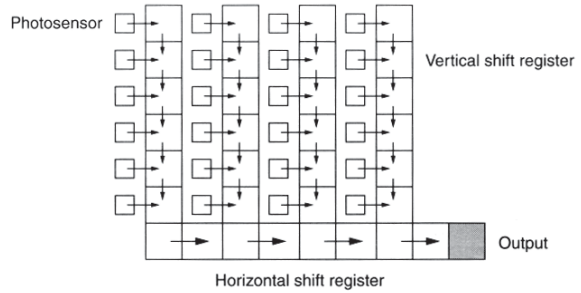
**Frame transfer :** เป็น CCD ชนิดแรกทีพัฒนาขึ้นมา ประกอบไปด้วยพื้นที่ของ Photosensor ที่เหมือนกันสองส่วน ส่วนแรกเป็นพื้นที่รับภาพ อีกส่วนหนึ่งเป็นพื้นที่เก็บข้อมูล พื้นที่รับภาพจะประกอบด้วยชุดแถวของ Photosensor สำหรับรับแสงที่ส่งมาจากเลนส์ ส่วนพื้นที่เก็บข้อมูลจะถูกปิดไว้ไม่ให้แสงเข้า ภาพที่เกิดจากประจุไฟฟ้าจะสะสมขึ้นบนพื้นที่รับภาพ ในช่วงเวลา 1 เฟรม (20ms:PAL) และจะถูกย้ายอย่างรวดเร็วไปสู่พื้นที่เก็บข้อมูลในช่วงสัญญาณมืด (Blanking) ระหว่างเฟรม เนื่องจากขณะที่ข้อมูลกำลังเคลื่อนลงมา ส่วนรับภาพก็ยังรับแสงจากเลนส์อยู่ ดังนั้นซีดเตอร์แบบกลไกจึงต้องนำมาใช้เปิดช่องแสงเพื่อรักษาข้อมูลเดิมไว้ในระหว่างการเคลื่อนย้าย พื้นที่เก็บข้อมูลจะถูกลบข้อมูลออกทีละเส้นในการส่งไปยัง Read Out รีจิสเตอร์ ดังนั้นในช่วงเวลา 1 เส้นสแกน ภาพวิดีโอก็จะถูกส่งผ่านรีจิสเตอร์ออกมาเพื่อสร้างเป็นสัญญาณวิดีโอหนึ่งเส้นเช่นกัน



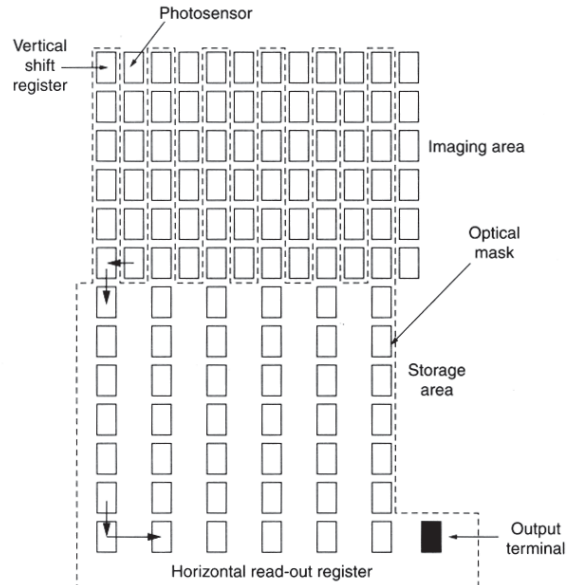
**Interline transfer :** พัฒนามาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการใช้ซีดเตอร์แบบกลไก โดยการวางตัวเก็บข้อมูลไว้ชิดกับตัวรับภาพ ประจุจะถูกส่งให้ตัวเก็บข้อมูลทันทีในช่วงของสัญญาณมืดโดยไม่ต้องผ่านตัวรับภาพตัวอื่น ข้อมูลที่ส่งให้ตัวเก็บข้อมูลจึงเป็นข้อมูลของตัวรับภาพที่อยู่ติดกันโดยไม่มีกระบวนการอ่านจาก Read Out รีจิสเตอร์ยังคงใช้วิธีเดียวกันกับแบบ Frame transfer ปัญหาของ Interline transfer ในระยะแรก ๆ ก็คืออาการที่เรียกว่าการเบื่อนทางแนวตั้ง (Vertical Smear) ซึ่งมีสาเหตุมาจากกราดที่ CCD รับแสงที่มีความสว่างมาก (Highlight) เกินไป จนเป็นเหตุให้รูกล้าเข้าไปในส่วนของสารกึ่งตัวนำจนเกิดการรั่วของประจุจากตัวรับภาพไปยังตัวเก็บข้อมูลที่อยู่ติดกัน ประจุที่ส่งผ่านซีดเตอร์จึงมาเป็นทอด ๆ จึงเกิดการบิดเบี้ยวได้ โดยปกติแสงที่มีความยาวคลื่นยาว (ความถี่ต่ำ) เท่านั้นที่จะทะลุลึกลงไปในซิลิกอนได้ เราจึงเห็นรอยเบื่อนเป็นสีแดงหรือชมพูเท่านั้น อย่างไรก็ตาม CCD รุ่นใหม่ ๆ ได้ลดการรั่วของประจุลงได้มากทำให้การ

เลอะเบื่อนทางแนวตั้งนี้ลดลง (Interline transfer จะใช้พื้นที่ CCD น้อยกว่าแบบ Frame transfer เกือบครึ่งหนึ่งแต่ก็ทำให้ความไวแสงน้อยกว่าแบบแรกไปด้วย)

### Interline transfer



### Frame interline transfer



**Frame interline transfer :** เป็นการพัฒนาเพื่อลดปัญหาการเลอะเบื่อนของ Interline transfer โดยการนำวิธีเคลื่อนย้ายข้อมูลของทั้งสองแบบข้างต้นมารวมกัน ในช่วงสัญญาณมืด ประจุภาพจะถูกย้ายไปยังตัวเก็บที่อยู่ติดกัน (เพื่อไม่ต้องใช้ซีดเตอร์แบบกลไก) อย่างไรก็ตามการเคลื่อนลงมาเพื่อไปยังพื้นที่เก็บข้อมูลแบบ Frame interline transfer นั้นจะใช้เวลาเร็วมากคือประมาณ 60 เท่าของความเร็วเฟรม ดังนั้นการรบกวนใด ๆ ที่เกิดขึ้นในเวลาอันสั้นจึงน้อยมาก ทำให้ลดการเลอะเบื่อนทางแนวตั้งได้

### ผลของความละเอียด

หากต้องการความละเอียดของภาพสูง ๆ จะต้องใช้ CCD ที่มีจำนวนจุดภาพมาก อย่างไรก็ตามการเพิ่มจุดภาพโดยไม่เพิ่มขนาดพื้นที่ของ CCD (ปกติ 2/3") ก็จะทำให้ความไวแสงลดลงได้เช่นกัน

### Aliasing

จุดแต่ละจุดก็คือตัวอย่างของภาพที่ต่อเนื่องกันเพื่อจะให้เกิดเป็นความสว่างของภาพ มันคล้ายกับการแปลงจากอะนาล็อกไปเป็นดิจิทัล ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่ตั้งขึ้นโดยไนควิสต์ ที่ระบุว่า "ถ้าสัญญาณที่นำเข้ามาจะถูกนำมาสร้างใหม่อย่างถูกต้อง มันจะต้องสุ่มออกมาโดยใช้ความถี่ที่มากกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณนั้น" Aliasing หรือรอยหยัก ซึ่งแสดงออกมาในแบบภาพของมัวร์ (Moire) ที่เราจะเจอง่ายๆที่เคลือบที่ซึ่งมีสาเหตุมาจากความถี่สูงของอินพุตไปรบกวนความถี่ต่ำ มันสามารถกดให้ลดลงโดยการเลื่อน CCD สีเขียว (เป็นสี

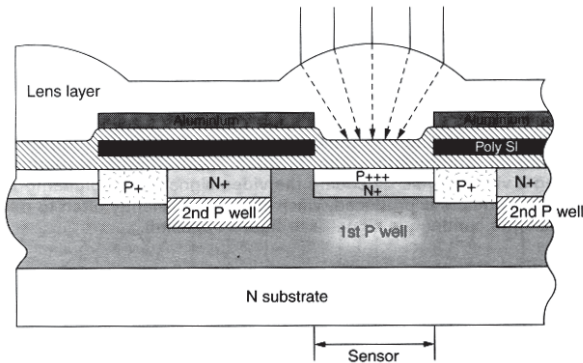


ที่ไวต่อสายตาและอยู่ในสีขาวยาวมากที่สุดถึง 59%) ออกไปอีกครั้งจุดเมื่อเทียบกับสีน้ำเงินและสีแดง เทคนิคนี้ได้ถูกนำไปปรับปรุงใช้ในระบบ CCD ของ Canon เรียกว่า Pixel Shift Technology เพื่อเพิ่มความละเอียดของ CCD จากเดิม 270000 จุดให้ใกล้เคียงกับ 410000 จุด พร้อมกับการลดการเลอะเบื่อนทางแนวตั้ง เพิ่มความไวแสงและไดนามิกของภาพให้ดีขึ้นอีกด้วย

## HAD

มาจากคำว่า The hold accumulated diode (HAD) sensor ที่ให้ความละเอียดถึง 750 จุดต่อเส้น HAD เกิดจากการปรับปรุงพื้นที่การรับแสงของตัวรับแสง เป็นการเพิ่มสัดส่วนของผิวหน้าของ Photosensor ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความไวโดยไม่ต้องลดความละเอียด HAD ยังช่วยในการลดการเลอะเบื่อนทางแนวตั้งได้อีกด้วย

Hyper HAD Sensor จะเพิ่มความไวแสงของกล้องโดยการวางเลนส์รวมแสงเล็ก ๆ ไว้บนตัวรับแสงแต่ละตัวเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการรวบรวมแสงให้มากขึ้น



Power HAD Sensor จะปรับปรุงอัตราสัญญาณต่อสิ่งรบกวนให้สูงขึ้นทำให้เพิ่มความไวได้มากขึ้นกว่าครึ่งสตอป

## Switched Output Integration

โทรทัศน์ในระบบ PAL ประกอบด้วยเส้นจำนวน 625 เส้น ในหลอดภาพ เส้นฟิล์มที่ีจะถูกกวาดออกมาก่อนจากซ้ายไปขวา และจากบนลงล่าง จากนั้นก็สลับกลับไปสู่ด้านบนเพื่อกวาดเส้นฟิล์มคู่อีกครั้ง มันต้องใช้ทั้งสองฟิล์มนี้ประกอบภาพที่สมบูรณ์ขึ้นมาหนึ่งเฟรมโดยใช้ความถี่หลัก 50Hz จึงจะได้ภาพจำนวนขนาด 25 เฟรมต่อวินาที

CCD แบบ Frame transfer จะใช้จุดภาพเดิมสำหรับทั้งสองฟิล์ม ในขณะที่แบบ Interline transfer และ Frame interline transfer จะใช้จุดภาพแยกกันซึ่งทำให้รายละเอียดสูงขึ้น มีวิธีการสองแบบในการอ่านภาพที่เป็นประจวบเหมาะออกจากพื้นที่เก็บ

- Field integration: เป็นการอ่านจุดทุกจุดออกมาแต่สัญญาณจากเส้นที่อยู่ติดกันจะถูกเฉลี่ยค่าวิธีนี้ถึงแม้ว่าจะลดรายละเอียดทางแนวตั้งลงแต่จะลดการเคลื่อนจากการเคลื่อนไหว (Motion blur) ให้น้อยลงได้

Field 1 - (line 1 and line 2), (line 3 and line 4), etc

Field 2 - (line 2 and line 3), (line 4 and line 5), etc

- Frame integration: วิธีการนี้จะอ่านทั้งสองฟิล์มมาในครั้งเดียว ดังนั้นการเคลื่อนจากการเคลื่อนไหวจะมากเพราะสัญญาณถูกเฉลี่ยภายในช่วงเวลาที่ยาวกว่าแบบ Field integration แต่ก็ทำให้ได้รายละเอียดทางแนวตั้งสูงกว่าสำหรับภาพที่อยู่คงที่ การใช้ระบบเพิ่มความคมชัดทางแนวนอน (Enhanced vertical definition system) จะทำให้ได้รายละเอียดที่สูงขึ้นโดยไม่มีการเคลื่อนจากการเคลื่อนไหวเหมือนเช่นเดิม ระบบนี้จะใช้วิธีปิดฟิล์มหนึ่งไว้ก่อนขณะอ่านอีกฟิล์มหนึ่งด้วยชุดเทอริสติกทรานซิสเตอร์แนวนอนมันจะเพิ่มความไวแสงลดลงไปหนึ่งสตอป

## Colorimeter

Polysilicon ที่โปร่งใสที่ใช้ครอบ Photosensor ของ Interline transfer CCD จะเป็นตัวกรองเอาแสงสีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่นต่ำออกไป ดังนั้นมันจะมีความไวต่อแสงที่ปลายของสเปกตรัมสีน้ำเงินต่ำเมื่อเทียบกับการตอบสนองของแสงสีแดง สำหรับบน HAD sensor จะไม่มีการใช้ Polysilicon นี้ ดังนั้นการตอบสนองต่อสเปกตรัมจึงเป็นรูปแบบกว่า

## สรุป

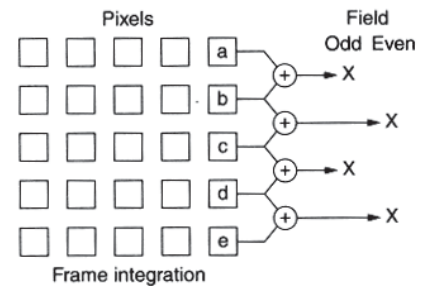
ที่กล่าวมาทั้งหมดก็เป็นเรื่องราวพอสังเขปของ CCD ซึ่งถือว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดส่วนหนึ่งของกล้อง บางครั้งเราจึงเรียกมันว่า Camera Chip อย่างไรก็ตามดูเหมือนเราจะเข้าไปยุ่งเกี่ยวกับมันไม่ได้มากนักเนื่องจากมันเป็นเทคโนโลยีที่ผลิตสำเร็จมาจากโรงงาน สิ่งที่ได้ในฐานของคนในวงการและผู้อ่าน DVM ก็คือ การติดตามวิวัฒนาการของมัน อย่างน้อยที่สุดเพื่อจะได้อธิบายให้คนอื่นฟังได้อย่างสมศักดิ์ศรี เมื่อมีคำถาม "CCD คืออะไร?"

## References

- KG Jackson, "TV & Video Engineer's reference book", Butterworth Heinemann
- Perter ward, "Digital Video Camerawork", Focal Press
- Perter ward, "Multiskilling for television production", Focal Press

## Field integration

Field integration (adjacent lines averaged) produces less motion blur than frame integration because the charge is only integrated over one field. Vertical resolution is reduced because two lines are read as one.



## Enhanced vertical definition system

