

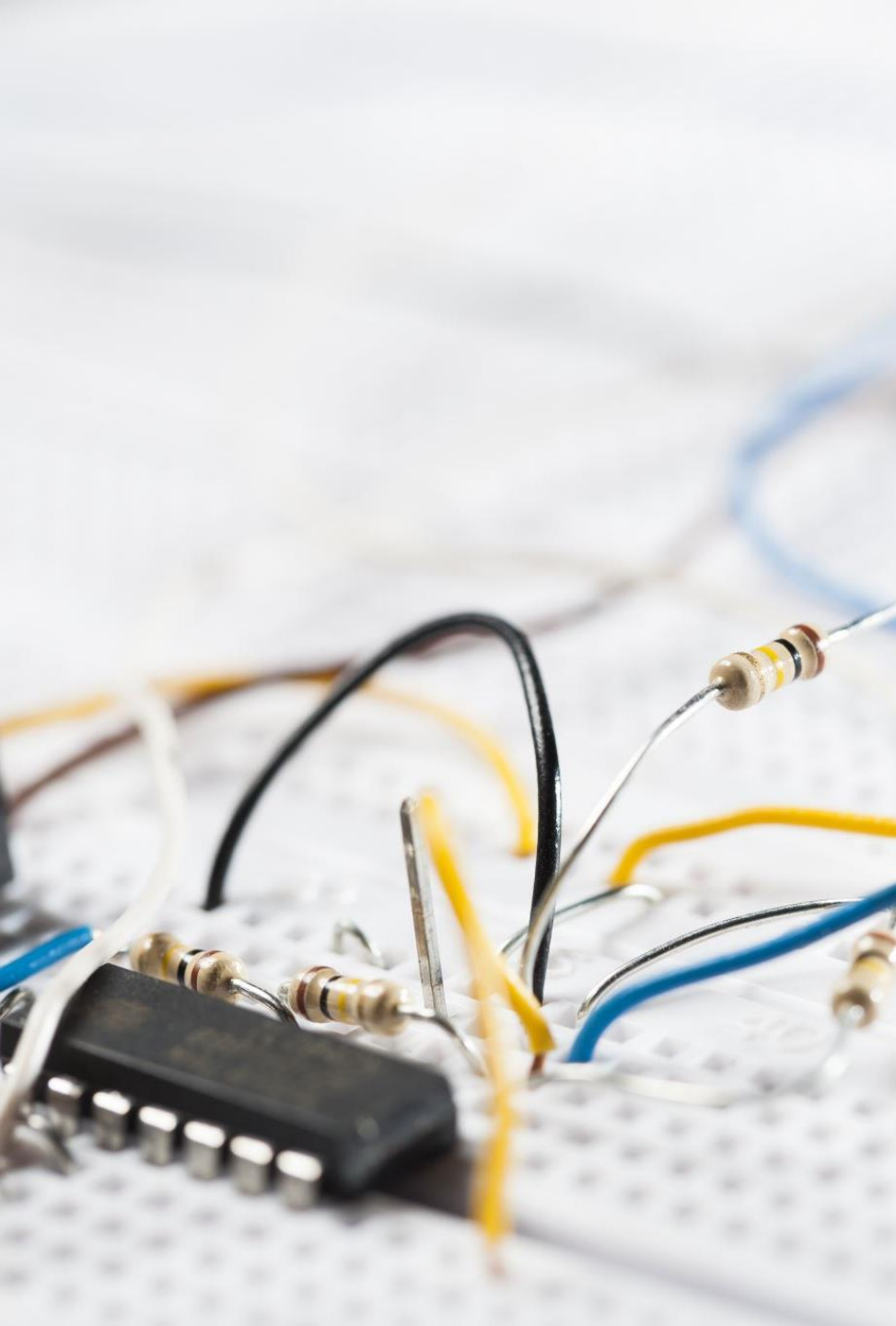
จัดทำโดย

นาย อิศระ แวปากอ 056350405015-1

นาย

ปคพ.63/1 วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

# เซนเซอร์แอคทีฟพิกเซล (Active Pixel Sensor)



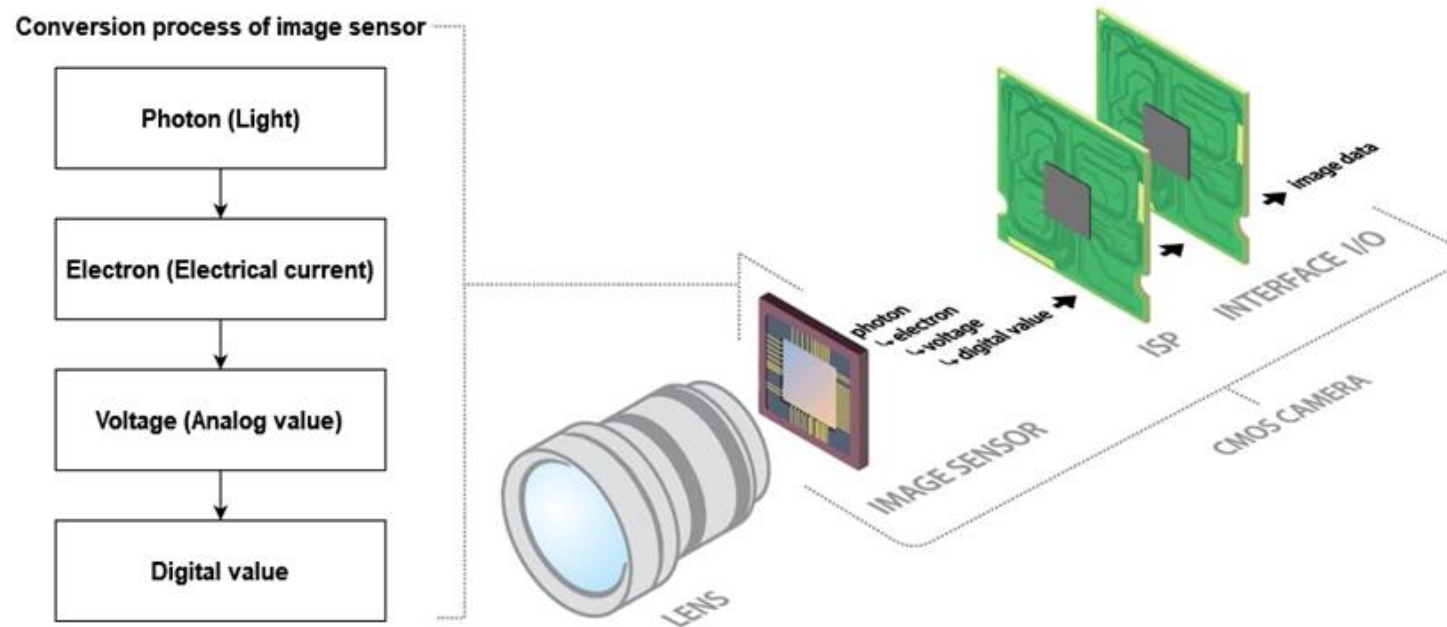
# Outline

---

1. Image sensor คืออะไร?
2. การจำแนกประเภทของ Image sensor
  - 2.1 การจำแนกจาก Shutter
  - 2.2 การจำแนกจาก Chroma
  - 2.3 การจำแนกจาก Mechanism structure
3. APS (Active Pixel Sensor)
4. Quantum efficiency
  - 4.1 Quantum efficiency : วัดประสิทธิภาพการแปลงโฟตอนเป็นอิเล็กตรอน
  - 4.2 Quantum efficiency : หาอิเล็กตรอน
5. มุมมองและการประยุกต์ใช้งานของคอมพิวเตอร์จาก Image sensor

# 1. Image sensor คืออะไร?

**Image sensor** (เซนเซอร์รูปภาพ) คือ เซนเซอร์ที่ตรวจจับคลื่นแล้วนำคลื่นดังกล่าวไปผ่านกระบวนการแปรรูปเพื่อให้เป็นข้อมูลที่พร้อมต่อการสร้างรูปภาพ ในช่วงที่ตรวจจับ (ยังไม่ผ่านการแปรรูป) คลื่นที่สามารถตรวจจับเป็นได้เป็นได้ทั้งคลื่นแสง (โฟตอน) หรือคลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า



ภาพที่ 1.1 กระบวนการแปรรูปใน Image sensor

**Image sensor** ถูกใช้ในอุปกรณ์ถ่ายภาพอิเล็กทรอนิกส์มากมายไม่ว่าจะเป็นแบบ **analog** หรือ **digital** เช่น กล้องถ่ายรูปดิจิทัล โมดูลกล้อง กล้องของโทรศัพท์ เมาส์แบบออปติคัล อุปกรณ์ถ่ายภาพทางการแพทย์ เป็นต้น





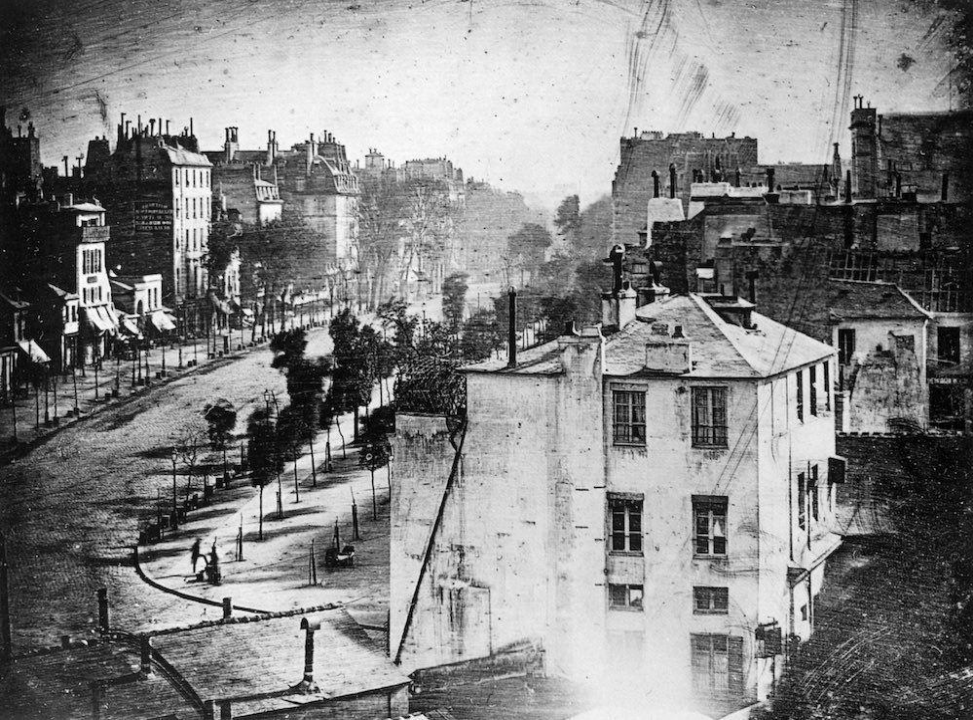
## 2. การจำแนกประเภทของ Image sensor

---

2.1 การจำแนกจาก **Shutter**

2.2 การจำแนกจาก **Chroma**

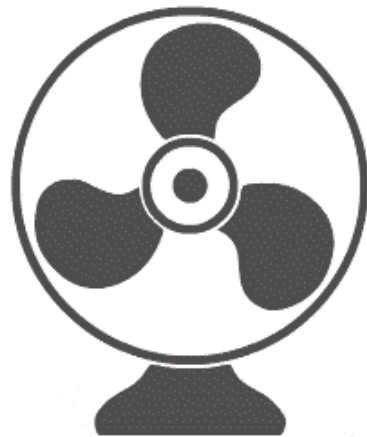
2.3 การจำแนกจาก **Mechanism structure**



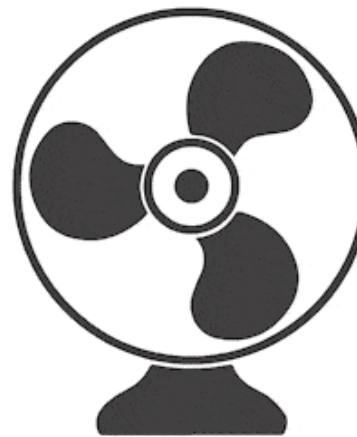
## 2. การจำแนกประเภทของ Image sensor

โดยทั่วไปแล้วการจำแนกประเภทสามารถจำแนกได้จากหลายแง่มุมซึ่ง **image sensor** ก็ไม่ต่างกัน โดยรายงานเล่มนี้จะกล่าวถึง **image sensor** จากการจำแนกแบบโครงสร้างเป็นพิเศษ (เนื่องจากสอดคล้องกับหัวข้อรายงาน) ส่วนการจำแนกในแง่มุมต่าง ๆ จะถูกกล่าวถึงเพียงเพื่อเสริมให้มองเห็นภาพกว้างของ **image sensor** การรู้เรื่องเหล่านี้จะช่วยทำให้เลือกใช้ **image sensor** ได้ตรงประเภทกับโจทย์ที่ต้องการใช้งาน

### 2.1 การจำแนกจาก **Shutter** : มี 2 ประเภทได้แก่



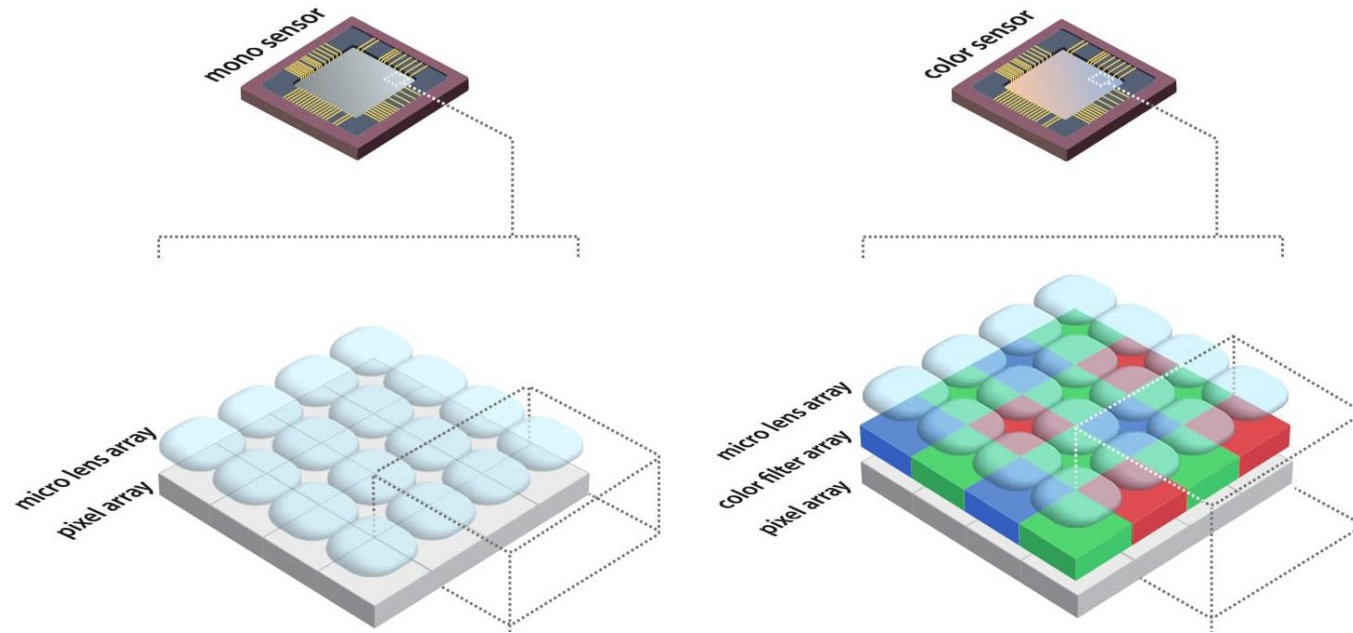
Rolling shutter



Global shutter

## 2. การจำแนกประเภทของ Image sensor

**2.2 การจำแนกจาก Chroma :** คำว่า **chroma** หมายถึงความเข้มของแสง โดยจำแนกได้ 2 ประเภทได้แก่ **mono** และ **color** ความแตกต่างของทั้งสองคือประเภท **color** จะมีชั้นพิเศษเพิ่มเติมที่ตั้งอยู่ข้างล่าง **micro lens** ซึ่งชั้นดังกล่าวมีชื่อว่า **color filter**

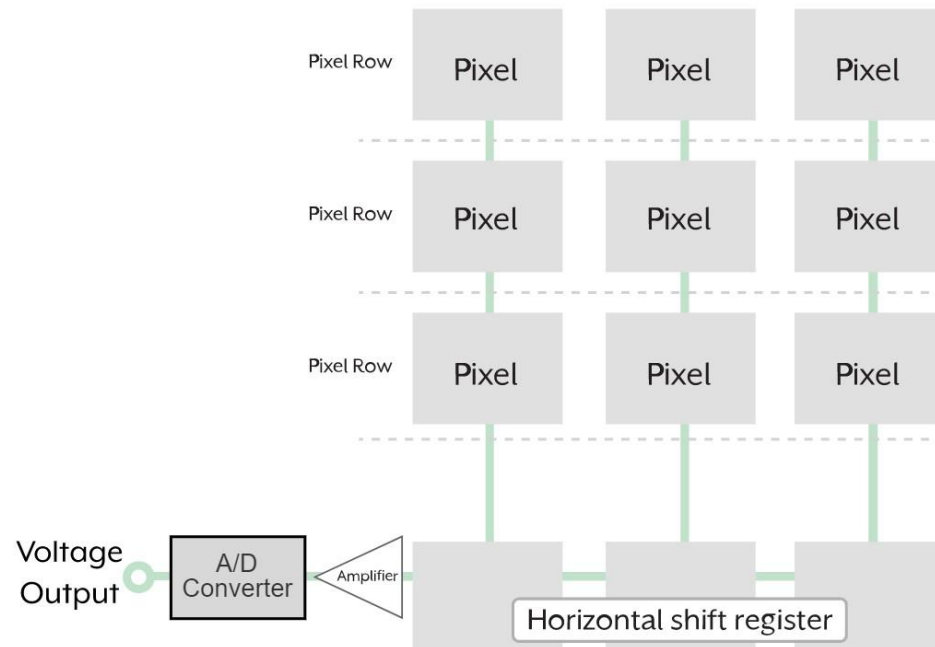


ภาพที่ 2.1 Image sensor ประเภท mono และ color

## 2. การจำแนกประเภทของ Image sensor

**2.3 การจำแนกจาก Mechanism structure :** การจำแนกจากโครงสร้างการทำงานนั้นจำแนกได้หลายประเภท แต่มี 2 ประเภทหลัก ๆ ซึ่งเป็นที่รู้จักได้แก่ CCD (Charge Couple Device) และ APS (Active Pixel Sensor)

- **CCD image sensor (Charge Couple Device image sensor) :** ในแต่ละ pixel จะมี pinned photo-diode เป็นตัวรับโฟตอน (แสง) และมี MOSFET เป็นสวิตช์สำหรับการส่งถ่ายอิเล็กตรอนระหว่างแถว การส่งถ่ายอิเล็กตรอนนั้นจะใช้สนามไฟฟ้าไปยังจุดที่เหมาะสมของ pixel ทำให้โฟตอนถูกเคลื่อนจากแถวบนสุดไปยังแถวล่างสุด เทคนิคที่ใช้สนามไฟฟ้าข้างต้นนี้มีชื่อว่า **bucket brigade** ส่วนการแปลงอิเล็กตรอนหรือกระแสไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้านั้นจะถูกแปลงโดย **transimpedance amplifier**



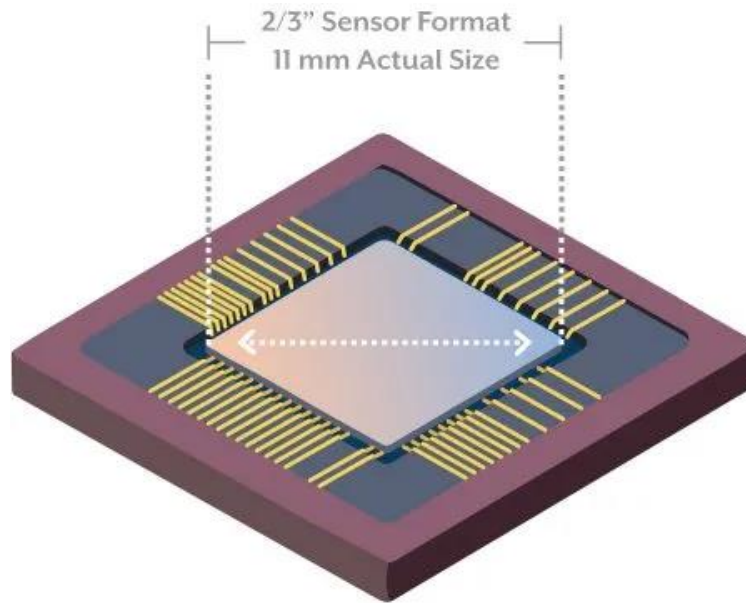
ภาพที่ 2.2 CCD image sensor

เกร็ดความรู้ ในปี 2015 Sony ได้ประกาศแผนหยุดผลิต CCD image sensor และจะหมดระยะสนับสนุนในปี 2026



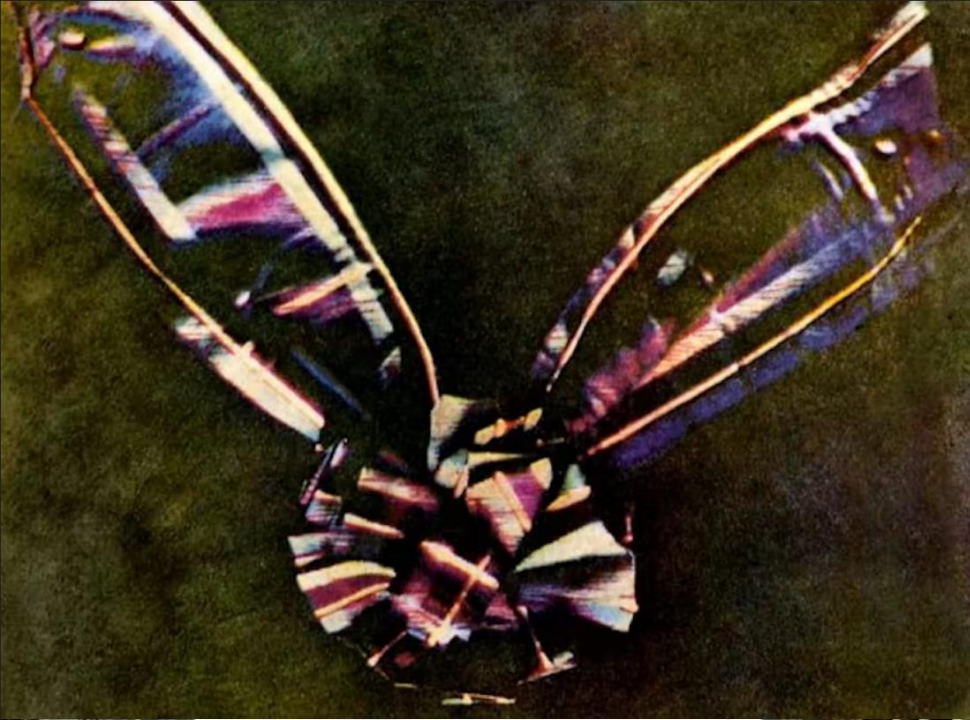
## 2. การจำแนกประเภทของ Image sensor

- **APS (Active Pixel Sensor)** : ในปี 2000 APS ให้ประสิทธิภาพเทียบเคียงกับ CCD แต่ภายหลังจากนั้น APS ให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าและครองความนิยมกับส่วนแบ่งการตลาดมากกว่า CCD สำหรับเนื้อหารายละเอียดมากกว่านี้ของ APS นั้นจะถูกกล่าวถึงในหัวข้อที่ 3 ต่อไป



ภาพที่ 2.3 Image sensor





## 3. APS (Active Pixel Sensor)

---

3.1 วงจรภายใน Pixel ของ APS (Active Pixel Sensor)

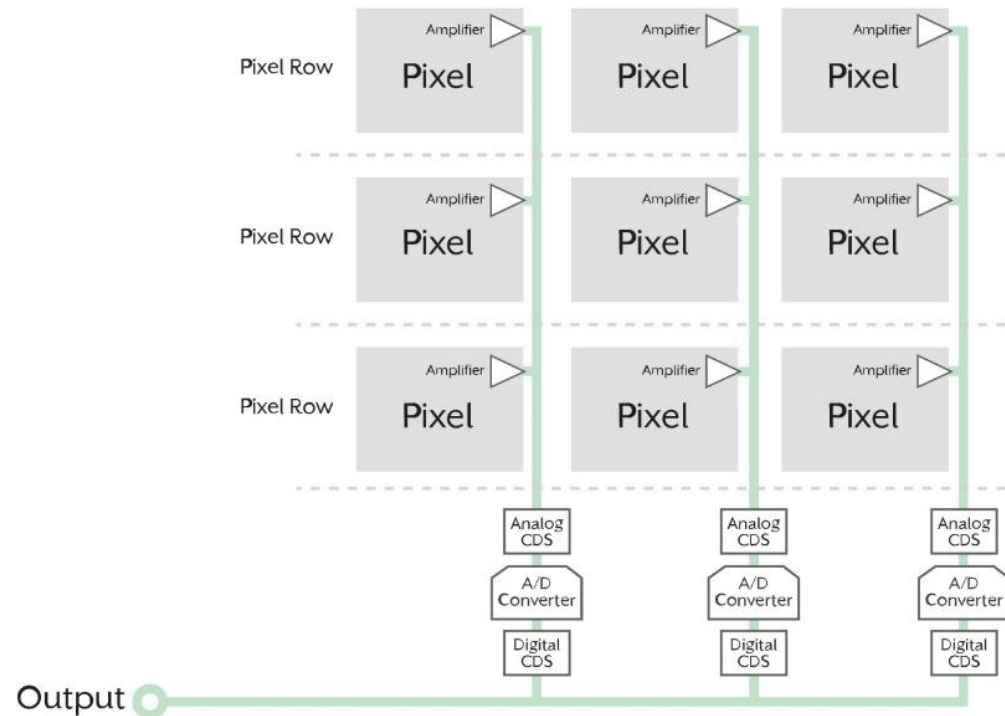
3.2 โครงสร้างลำดับชั้น

3.3 เพิ่มเติมสำหรับ APS (Active Pixel Sensor)



# 3. APS (Active Pixel Sensor)

APS นั้นสามารถถูกเรียกว่า CMOS APS หรือ CMOS image sensor (CIS) ก็ได้ ถ้าสังเกตจากชื่อดี ๆ จะเจอคำว่า “active pixel” ในชื่อ ซึ่งสื่อถึงการที่ image sensor ประเภทนี้จะทำการแปลงอิเล็กตรอนเป็นแรงดันไฟฟ้าภายใน pixel นั้นทันทีที่มีการตกกระทบของโฟตอน (แสง)



ภาพที่ 3.1 APS (Active Pixel Sensor)

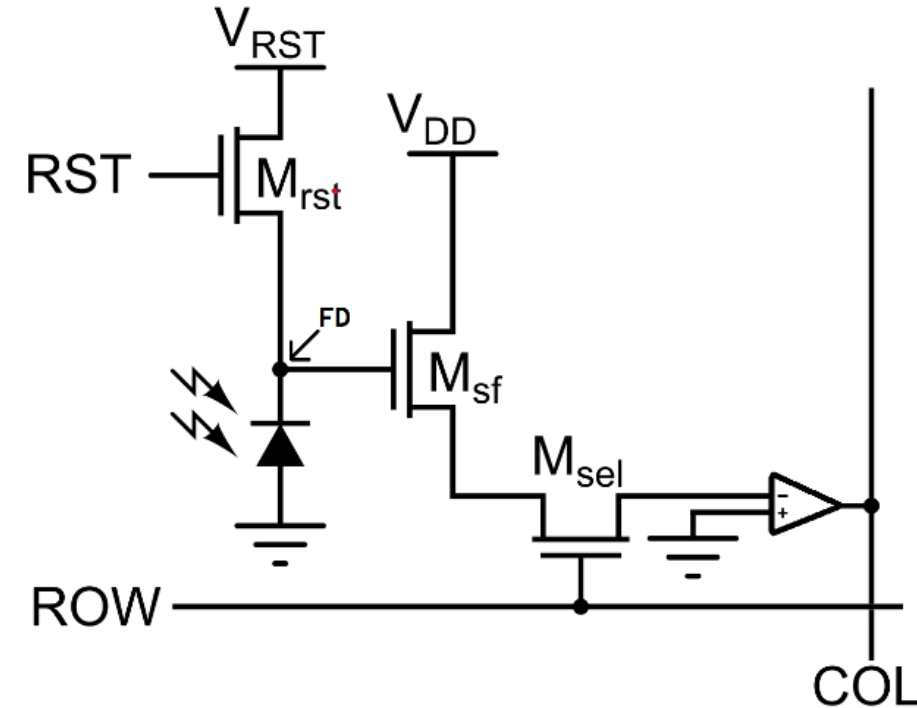
# 3. APS (Active Pixel Sensor)

**3.1 วงจรภายใน Pixel ของ APS (Active Pixel Sensor) :** แต่ละ pixel ภายในจะประกอบด้วยส่วนประกอบดังนี้

- **Reset MOSFET :** เป็นสวิตช์สำหรับรีเซ็ต FD ให้มีค่าเท่ากับ  $V_{RST}$
- **Source follower MOSFET :** ทำหน้าที่เป็น voltage buffer
- **Selection MOSFET :** เป็นสวิตช์สำหรับอ่านค่าแต่ละ pixel
- **Floating diffusion**
- **Pinned photodiode**
- **Transimpedance amplifier :** เป็น electron-to-voltage converter

นอกจาก MOSFET จำนวน 3 ตัวแล้ว นวัตกรรมต่าง ๆ ของ Pixel ยังสามารถทำให้ APS รุ่นอื่นๆ

มี MOSFET 4-6 ตัวได้ (เพิ่ม transfer MOSFET จากเดิม)



ภาพที่ 3.2 วงจรภายใน pixel ของ APS

# 3. APS (Active Pixel Sensor)

**3.2 โครงสร้างลำดับชั้น :** โดยทั่วไปแล้ว image sensor จะมีโครงสร้างลำดับชั้นคล้าย ๆ กันไม่ว่าจะเป็นประเภท CCD หรือ APS ก็ตาม และมันอาจมีชั้นหรือลำดับชั้นแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยตามแต่ละประเภทหรือรุ่น โดยหลัก ๆ จะมี 3 ชั้นดังนี้

- **Microlens :** ทำหน้าที่เบี่ยงเบนแสง (โฟตอน) ให้ตกกระทบบนพื้นที่ซึ่งไวต่อแสง ซึ่งเลนส์เป็นได้ทั้งแบบ spheric หรือ aspheric
- **Color filter :** ทำหน้าที่กรองแสงโดยอาศัยช่วงระยะของคลื่นแสง ทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลสีจากแสงที่ตกกระทบบนชั้น color filter นั้นมีรูปแบบสีในแต่ละช่อง pixel หลายแบบ โดยรูปแบบซึ่งเป็นที่นิยมนั้นจะมีชื่อว่า Bayer filter (แบบที่แสดงดังรูปที่ 3.4) หลังจากเสร็จกระบวนการของ image sensor แล้ว ข้อมูลดิบของภาพถ่ายจะถูกส่งต่อไปยัง ISP (Image Signal Processor) เพื่อแปลงข้อมูลดิบข้างต้นให้เป็นภาพสีด้วยอัลกอริทึม demosaicing
- **Photodiode**

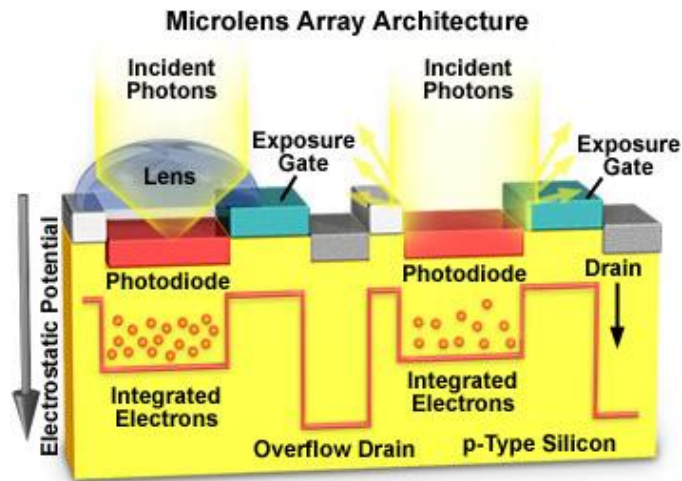


Figure 2

ภาพที่ 3.3 การตกกระทบบนของโฟตอน  
โดยผ่านและไม่ผ่าน microlens

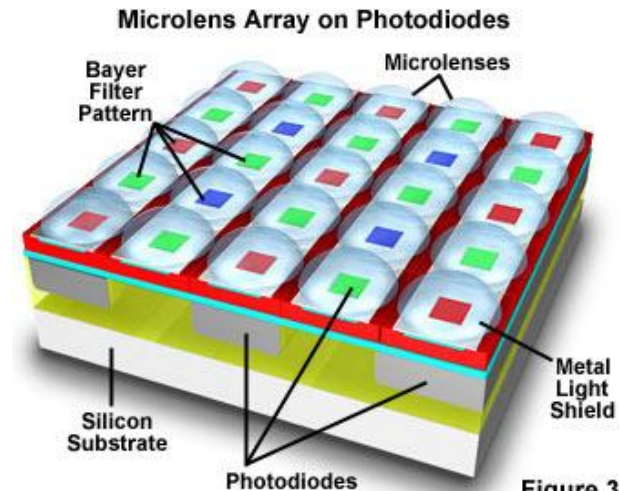


Figure 3

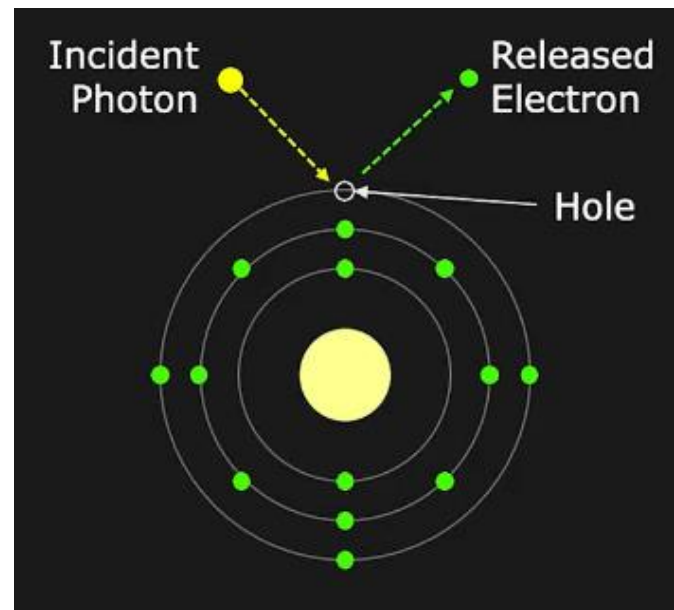
ภาพที่ 3.4 ลำดับชั้นของ APS



# 3. APS (Active Pixel Sensor)

## 3.3 เพิ่มเติมสำหรับ APS (Active Pixel Sensor)

APS สามารถอ่านค่า **specific region** (พื้นที่เฉพาะเจาะจง) ได้ส่งผลให้ประสิทธิภาพของกล้องดีขึ้นกว่าปกติและบางรุ่นจะมี CDS (Correlated Double Sampler) เพื่อลด **noise** ที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนภายใน **pixel**



ภาพที่ 3.5 Silicon atom



## 4. Quantum efficiency

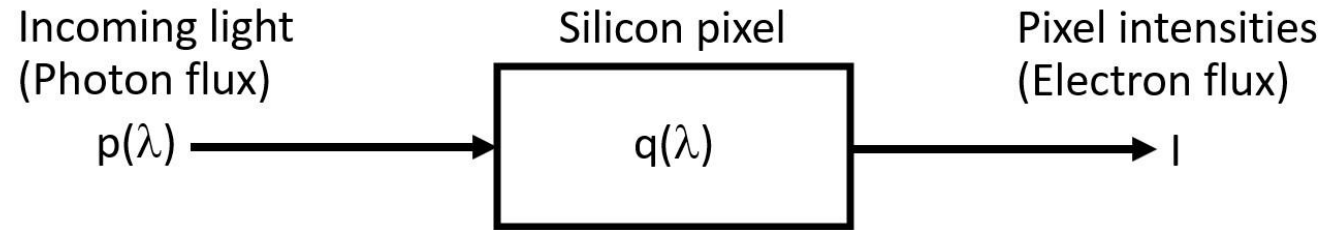
---

4.1 Quantum efficiency : วัดประสิทธิภาพการแปลงโฟตอน  
เป็นอิเล็กตรอน

4.2 Quantum efficiency : หาอิเล็กตรอน

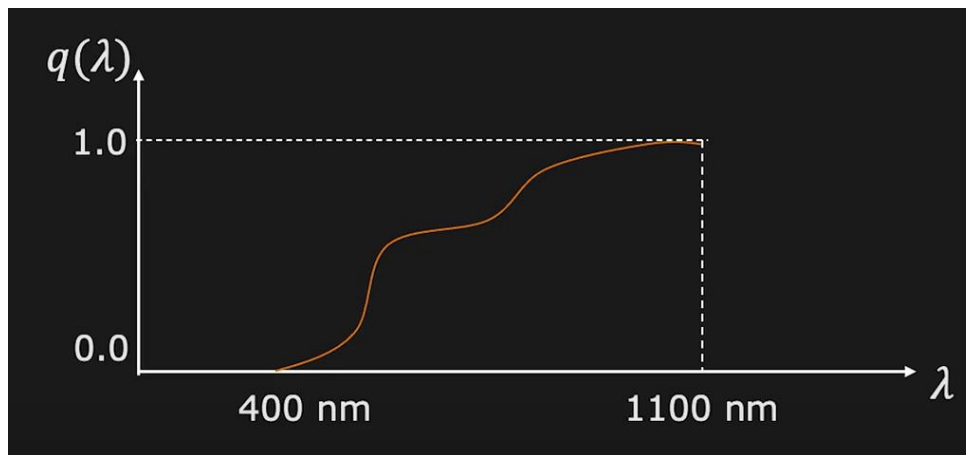
## 4.1 Quantum efficiency : วัดประสิทธิภาพการแปลงโฟตอนเป็นอิเล็กตรอน

Quantum efficiency คืออัตราส่วนของอิเล็กตรอนที่ silicon pixel ผลิตได้ต่อโฟตอนที่ตกกระทบมัน



ภาพที่ 4.1 พารามิเตอร์ของ Quantum efficiency

$$q(\lambda) = \frac{\text{Electron flux generated by silicon material}}{\text{Photon flux}} \\ = \frac{I}{p(\lambda)}$$



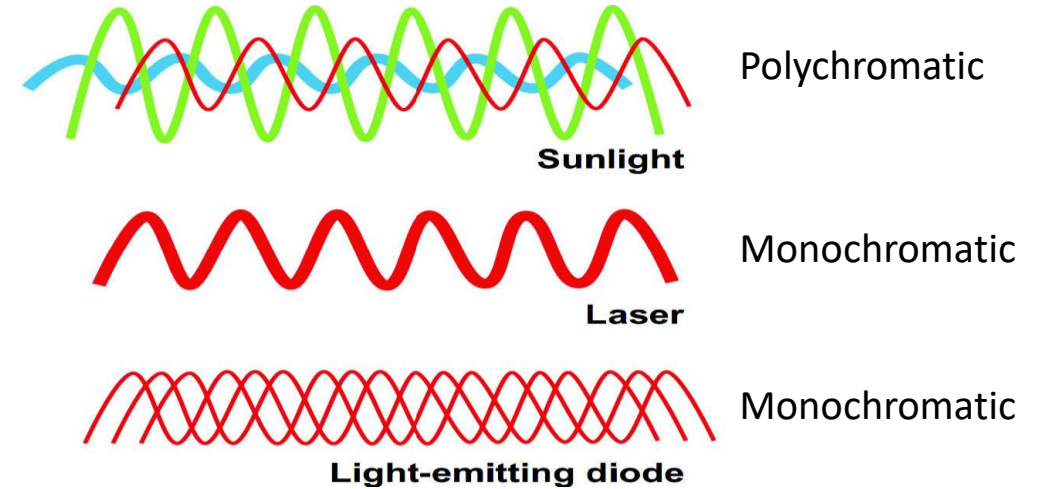
ภาพที่ 4.2 กราฟของ quantum efficiency

จากภาพที่ 4.4 จะเห็นว่าเมื่อ  $\lambda$  เข้าใกล้ 11,00 nm จะส่งผลให้  $q(\lambda)$  เข้าใกล้ 1 ซึ่งหมายความว่า silicon pixel จะยิ่งแปลงโฟตอนให้เป็นอิเล็กตรอนได้ดีเมื่อมีค่า  $\lambda$  ยิ่งใกล้เคียง 11,00 nm

## 4.2 Quantum efficiency : หาอิเล็กทรอนิกส์

สำหรับ monochromatic light (single wavelength) ซึ่ง  $\lambda = \lambda_i$

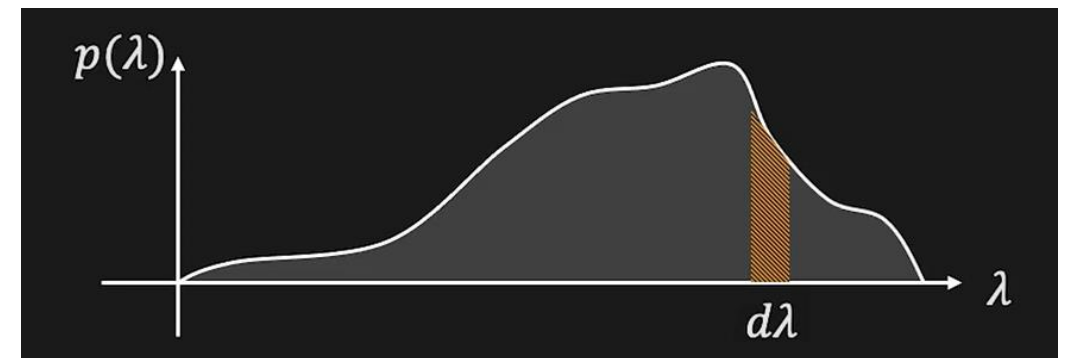
$$I = q(\lambda_i)p(\lambda_i)$$



ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างคลื่นแบบ monochromatic และ polychromatic

สำหรับ polychromatic light (broad range of wavelengths)

$$I = \int_0^{\infty} q(\lambda)p(\lambda) d\lambda$$



ภาพที่ 4.4 Spectral distribution

Ref 1 : [Sensing Color | Image Sensing - First Principles of Computer Vision](#)

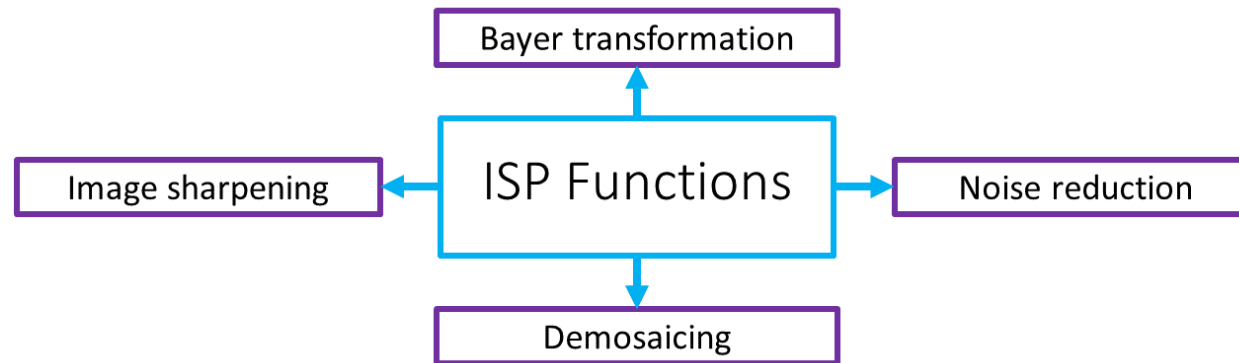
Ref 2 : [LLLT : Low-Level Light Therapy - PSiO](#)



## 5. มุมมองและการประยุกต์ใช้งานของคอมพิวเตอร์จาก Image sensor

### (The Computer Perspective and Application from Image Sensor)

**Demosaicing** คือวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัลวิธีการหนึ่งเพื่อสร้างรูปภาพสีอย่างทีกล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 3.2 อีกทั้ง **demosaicing** นั้นมีหลายอัลกอริทึมและมันถือเป็นหนึ่งในหน้าที่การทำงานหลัก ๆ ที่ต้องทำของ ISP (Image Signal Processor)

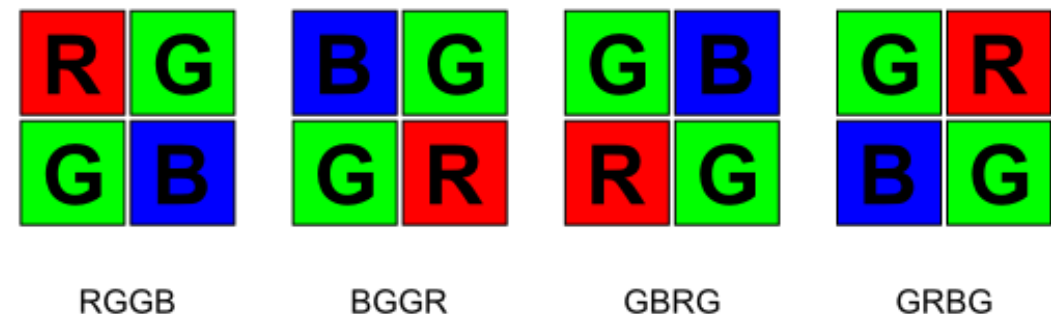
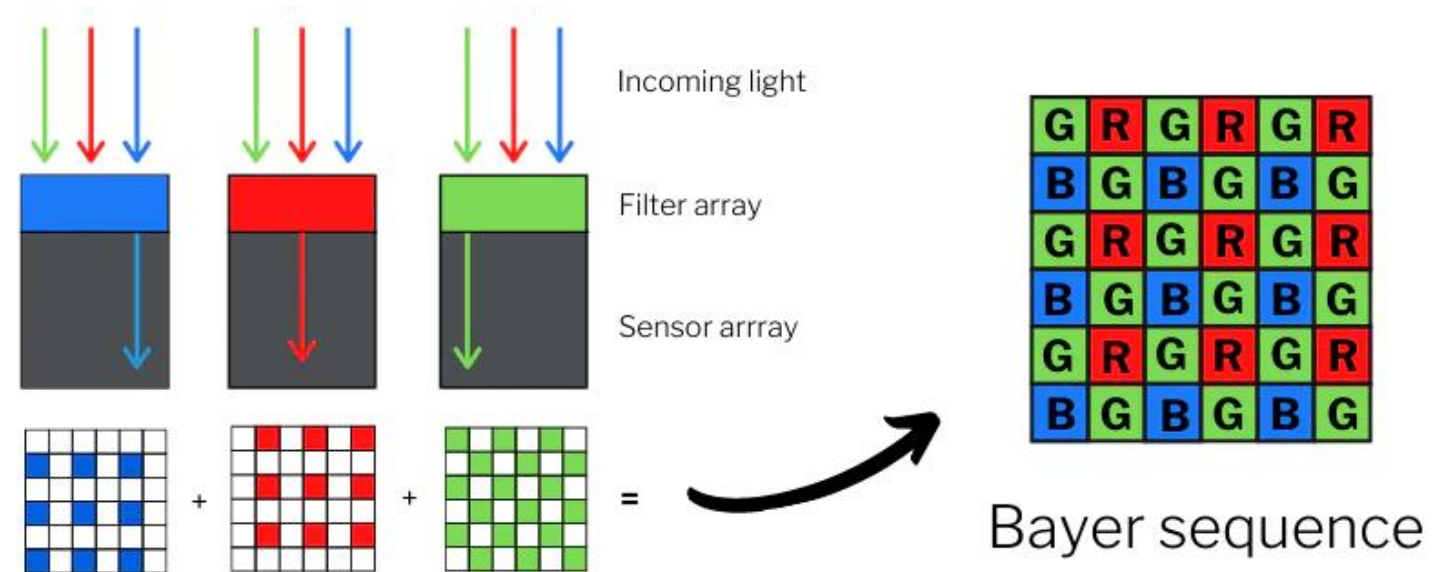


ภาพที่ 5.1 หน้าที่การทำงานหลักของ ISP

ใน **firmware** ของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลจะมีฟังก์ชัน **demosaicing** อยู่แล้ว นอกจากนี้กล้องสมัยใหม่หลายกล้องยังสามารถบันทึกรูปภาพดิบ (รูปที่ยังไม่ทำ **demosaicing**) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำรูปภาพดิบดังกล่าวไปทำ **demosaicing** เองได้ โดยหน้าต่อไปนี้จะยกตัวอย่างอัลกอริทึมหนึ่งง่าย ๆ ในการทำ **de-mosaicing** ซึ่งก็คือ **bilinear interpolation**

## 5. มุมมองและการประยุกต์ใช้งานของคอมพิวเตอร์จาก Image sensor (The Computer Perspective and Application from Image Sensor)

### ตัวอย่าง Bayer filter



## 5. มุมมองและการประยุกต์ใช้งานของคอมพิวเตอร์จาก Image sensor

ตัวอย่าง bilinear interpolation for demosaicing

B <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	G <sub>6</sub>
G <sub>7</sub>	R <sub>8</sub>	G <sub>9</sub>	R <sub>10</sub>	G <sub>11</sub>	R <sub>12</sub>
B <sub>13</sub>	G <sub>14</sub>	B <sub>15</sub>	G <sub>16</sub>	B <sub>17</sub>	G <sub>18</sub>
G <sub>19</sub>	R <sub>20</sub>	G <sub>21</sub>	R <sub>22</sub>	G <sub>23</sub>	R <sub>24</sub>
B <sub>25</sub>	G <sub>26</sub>	B <sub>27</sub>	G <sub>28</sub>	B <sub>29</sub>	G <sub>30</sub>
G <sub>31</sub>	R <sub>32</sub>	G <sub>33</sub>	R <sub>34</sub>	G <sub>33</sub>	R <sub>34</sub>

		C <sub>3</sub>			
	C <sub>8</sub>				

$$\begin{aligned} C_3 &= (R_3, G_3, B_3) \\ &= \left( \frac{R_8 + R_{10}}{2}, \frac{G_2 + G_4 + G_9}{3}, B_3 \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_8 &= (R_8, G_8, B_8) \\ &= \left( R_8, \frac{G_2 + G_7 + G_9 + G_{14}}{4}, \frac{B_1 + B_3 + B_{13} + B_{15}}{4} \right) \end{aligned}$$

## 5. มุมมองและการประยุกต์ใช้งานของคอมพิวเตอร์จาก Image sensor

(The Computer Perspective and Application from Image Sensor)

### ตัวอย่าง demosaicing in Python (OpenCV)

Syntax : `img = cv.demosaicing( src, code[, dst[, dstCn]] )`

โดย code สามารถเลือกระบุได้ดังนี้

- `cv.COLOR_BayerRGGB2BGR`
- `cv.COLOR_BayerGRBG2BGR`
- `cv.COLOR_BayerBGGR2BGR`
- `cv.COLOR_BayerGBRG2BGR`

หรืออื่น ๆ ที่ระบุในเว็บ [Color Space Conversions - OpenCV](#)



ภาพที่ 5.2 ขวา คือ ภาพดิบ ซ้าย คือ ภาพที่ผ่าน demosaicing

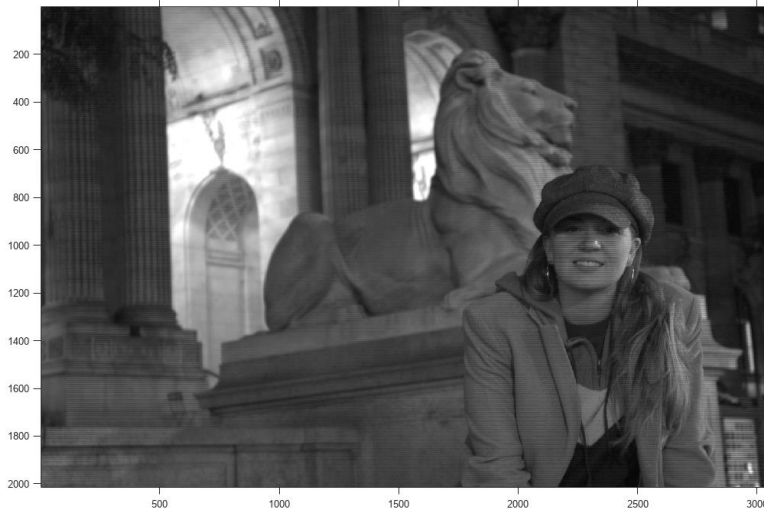


## 5. มุมมองและการประยุกต์ใช้งานของคอมพิวเตอร์จาก Image sensor

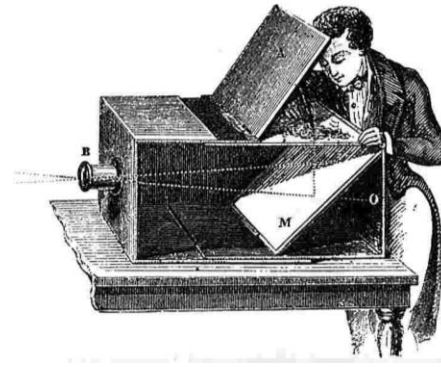
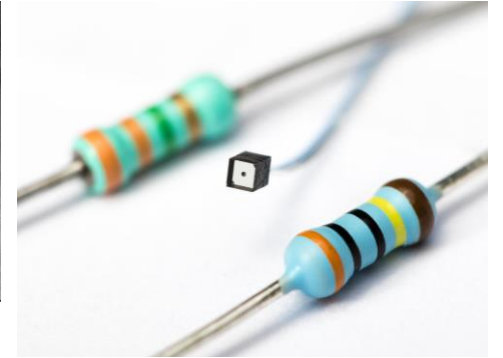
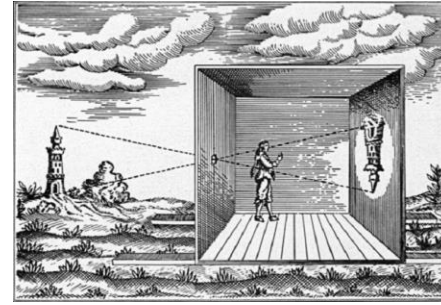
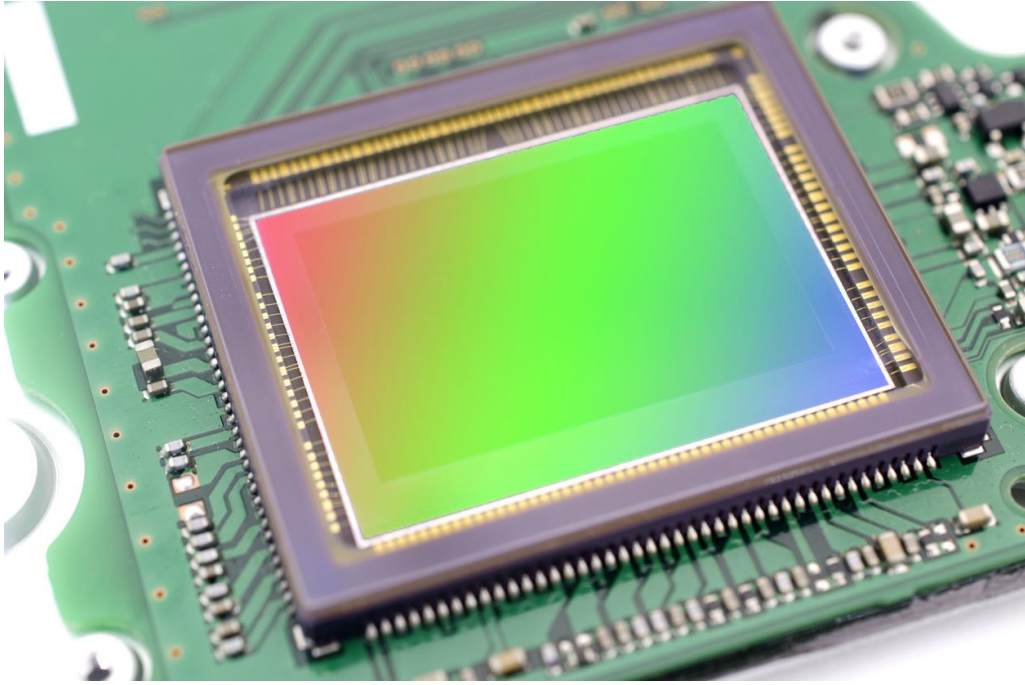
(The Computer Perspective and Application from Image Sensor)

### ตัวอย่าง demosaicing in MATLAB

Syntax : `RGB = demosaic(I, sensorAlignment)`



ภาพที่ 5.3 ซ้ายคือภาพดิบ ขวาคือภาพที่ผ่าน  
demosaicing ด้วย MATLAB



Thanks for watching