

OPTOELEKTRONIKA

dr inż. Seweryn Lipiński

A209 WNT

seweryn.lipinski@uwm.edu.pl

Czujniki optyczne

Czujniki ALS

Scalone czujniki optyczne...

Elementy optoelektroniczne stanowią obecnie jedną z najbardziej rozbudowanych i zróżnicowanych grup komponentów.

W wielu aplikacjach zastąpienie czujników optycznych jest oczywiście niemożliwe, co wynika wprost z właściwości danego obiektu lub zjawiska.

Inne urządzenia korzystają natomiast z czujników optycznych z diametralnie odmiennych pobudek – przykładowo, pomiary odległości z użyciem lasera zapewniają duży zasięg i doskonałą zbieżność wiązki sondującej (w przeciwieństwie do np. dalmierzy ultradźwiękowych).

Czujniki i konwertery natężenia światła

Jak pamiętamy, najprostszą realizacją czujnika natężenia światła może być fotorezystor lub fototranzystor, pracujący w układzie dzielnika napięciowego – sygnał wyjściowy, w postaci napięcia zależnego od jasności padającego na fotoelement promieniowania, wystarczy zmierzyć np. za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego, czy wręcz poddać dyskretyzacji za pomocą komparatora.

Takie banalnie proste rozwiązanie ma jednak szereg wad, które szczególnie uwidaczniają się w energooszczędnych urządzeniach mobilnych bądź czujnikach IoT – szeregową rezystancją dzielnika (w warunkach silniejszego oświetlenia) zawiera się zwykle w przedziale od kilku do kilkudziesięciu kiloomów, co przekłada się na ciągły pobór prądu w zakresie od kilkudziesięciu do kilkuset mikroamperów.

By tego uniknąć, można zastosować dyskretny klucz tranzystorowy, załączający czujnik tylko na czas pomiaru, ale wiązałoby się to z zajęciem dodatkowego miejsca na PCB oraz kolejnej linii GPIO mikrokontrolera.

Kolejny problem to zakres dynamiki pomiaru – skutecznie działający czujnik ALS (*ambient light sensor*) powinien być w stanie pracować zarówno w silnym, bezpośrednim oświetleniu słonecznym, jak i w delikatnym świetle sztucznym wewnątrz ciemnego pomieszczenia.

Dyskretna realizacja takiego układu wymagałaby zatem zastosowania ADC o dużej rozdzielczości, znacznie przewyższającej osiągi przetworników, jakie można znaleźć w znakomitej większości współczesnych mikrokontrolerów.

Inną kwestią jest nieliniowość – w przypadku fototranzystorów i fotorezystorów jest ona szczególnie silna, co stanowi problem w układach wymagających większej dokładności pomiaru.

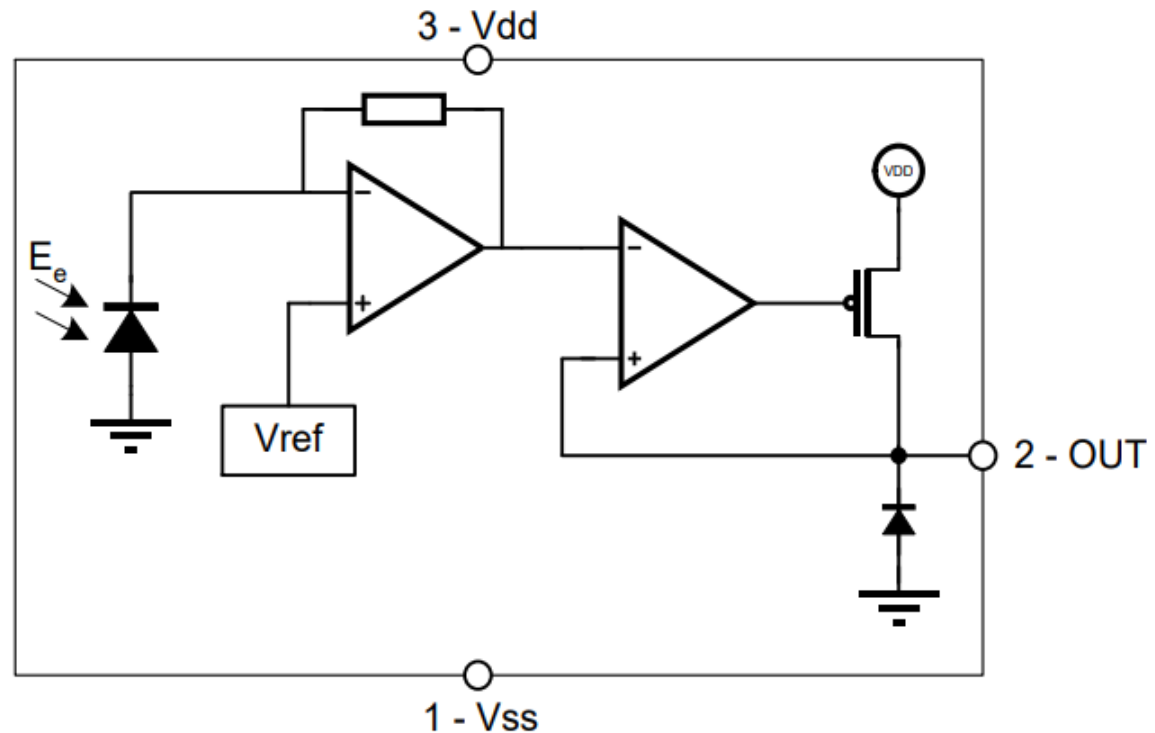
Co prawda istnieje możliwość zastosowania w ich miejsce fotodiody, jednak ta z kolei wymaga użycia wzmacniacza transimpedancyjnego.

Jak widać, nawet tak pozornie nieskomplikowane zadanie, jakim jest określenie (choćby przybliżonego) poziomu jasności otoczenia wiąże się z szeregiem niedogodności lub koniecznych kompromisów.

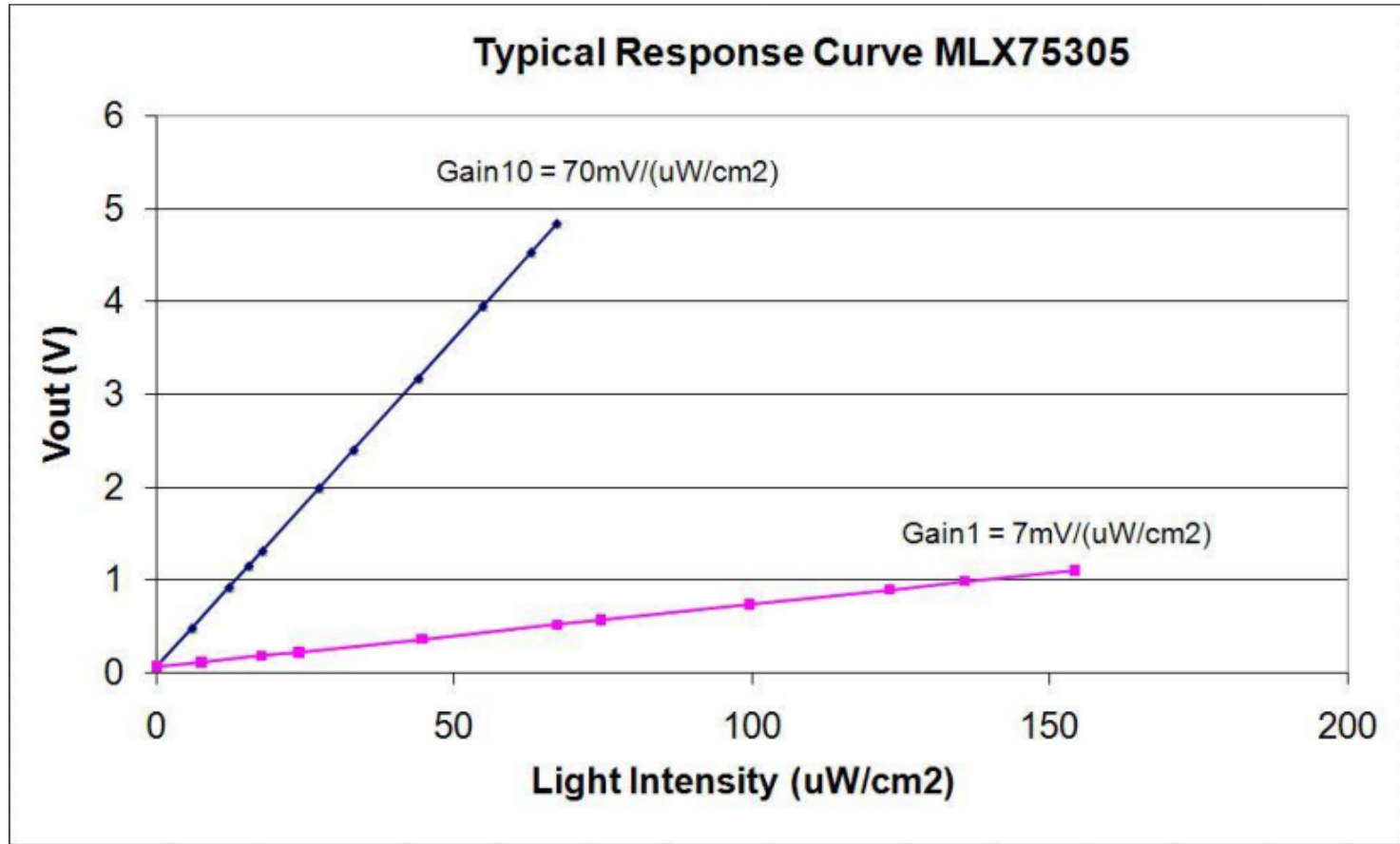
I właśnie dlatego warto zapoznać się z rozwiązaniami scalonymi...

Jedną z najprostszych realizacji scalonego czujnika oświetlenia jest analogowy sensor MLX75305 firmy Melexis.

Układ bazuje na kaskadowym połączeniu wzmacniacza transimpedancyjnego (obsługującego zintegrowaną fotodiode) oraz wzmacniacza wyjściowego z buforem tranzystorowym w konfiguracji otwartego drenu:



Rzut oka na notę katalogową/aplikacyjną (układ występuje w dwóch wersjach, różniących się wzmacnieniem - $7 \text{ mV}/(\mu\text{W}/\text{cm}^2)$ oraz $70 \text{ mV}/(\mu\text{W}/\text{cm}^2)$):



A typical connection diagram is shown in the figure below. A load resistor R_L is needed to get the voltage level out. The load capacitance C_L is typically formed by the input capacitance of the component that is connected to the sensor output, the wiring capacitance and the output capacitance of the sensor itself.

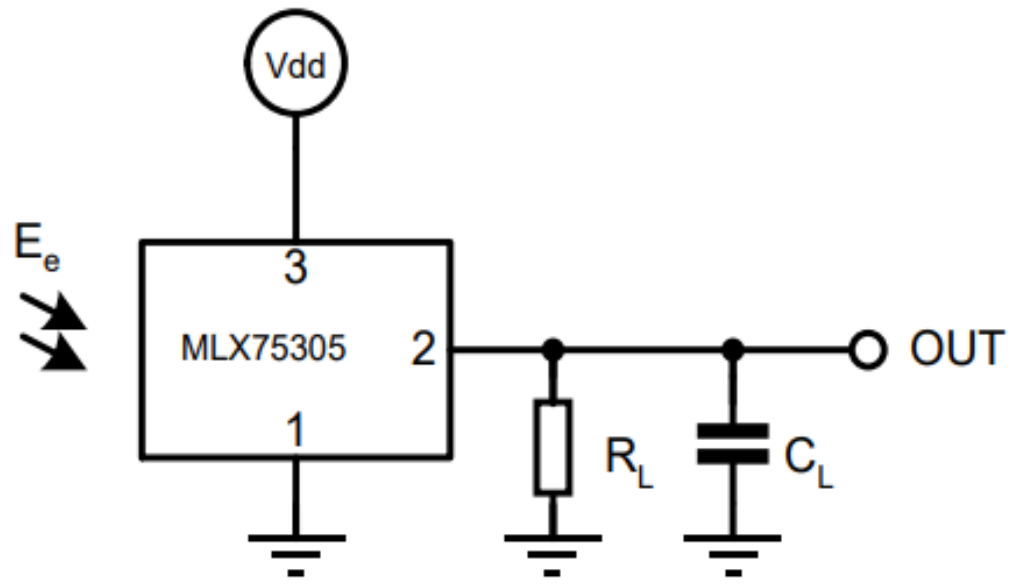
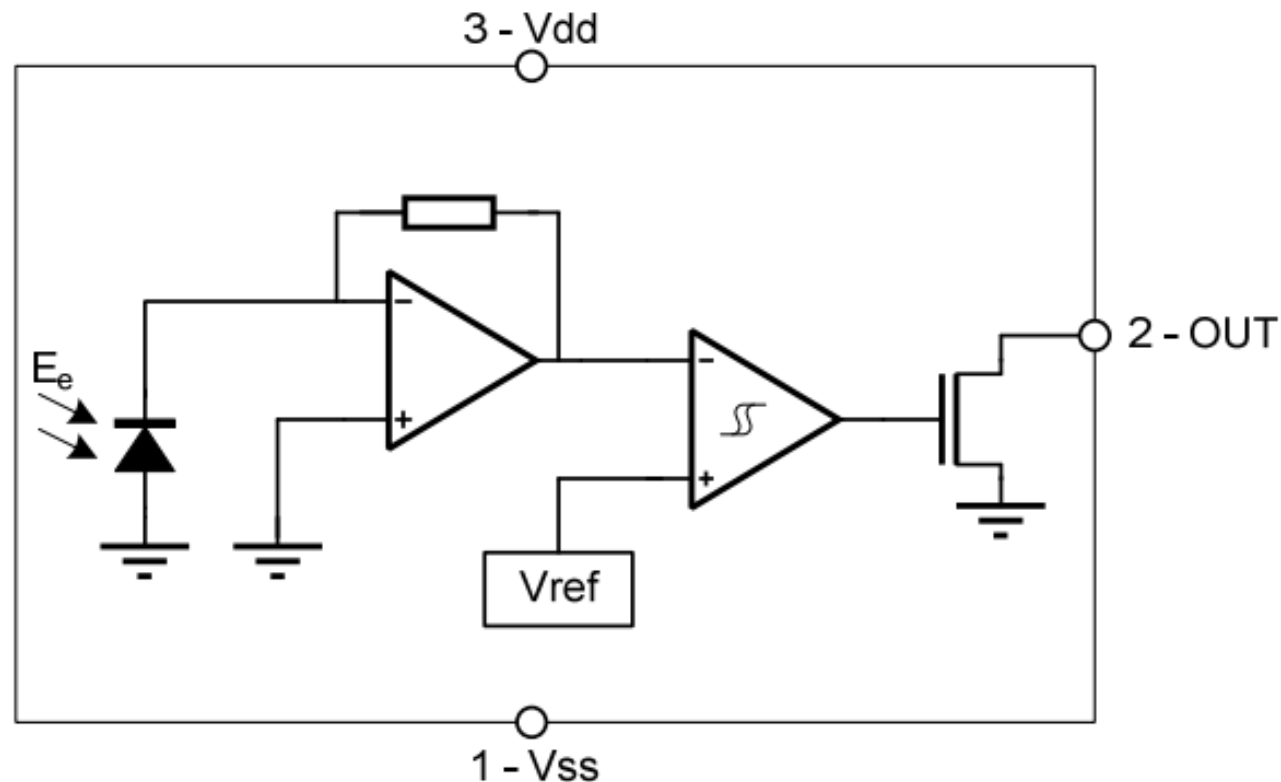
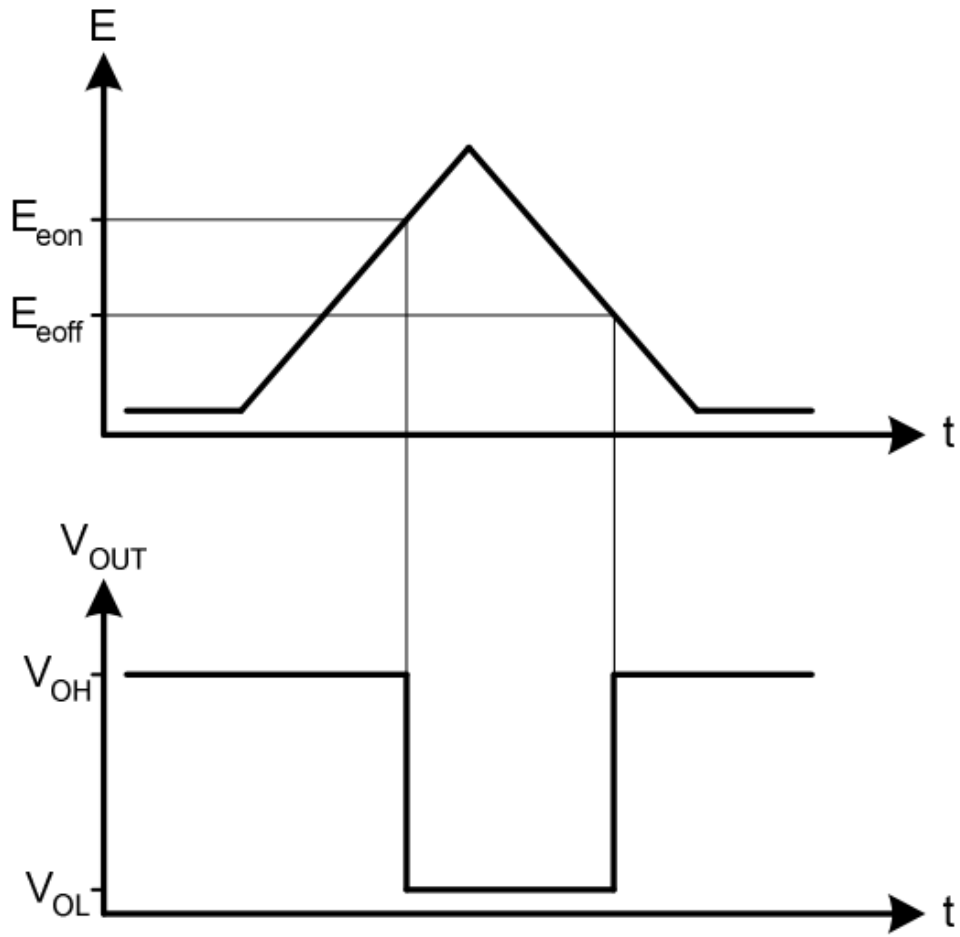


Figure 5

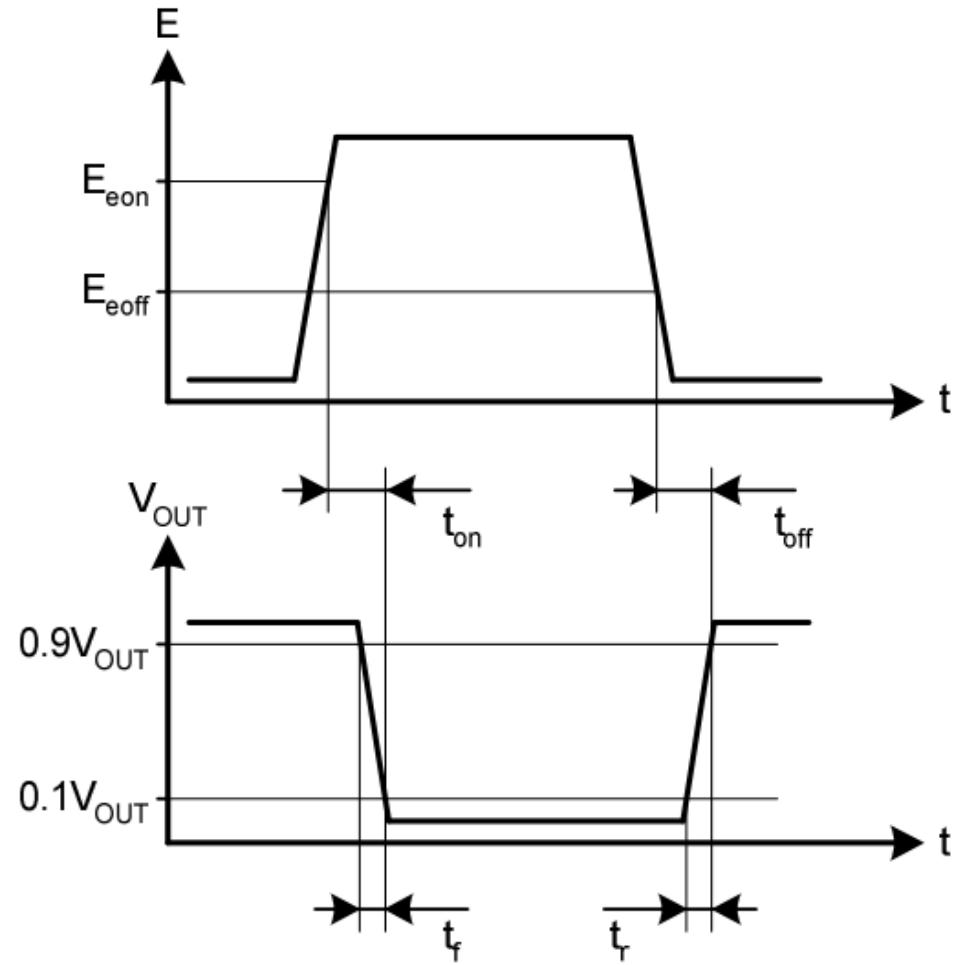
Decoupling capacitors between Vdd and Vss (1uF in parallel with 100nF) are highly recommended in all configurations.

Warto dodać, że firma Melexis opracowała bliźniaczy układ w identycznej obudowie, charakteryzujący się jednak innym rodzajem wyjścia – zamiast wzmacniacza z „górnym” tranzystorem w konfiguracji otwartego drenu, w czujniku MLX75303 zastosowano bowiem komparator z histerezą, sterujący tranzystorem podłączonym od strony masy układu:





Definition of the switch-on and switch-off thresholds



Definition of the switch-on and switch-off delays

Features

- ❑ High precision light switching level
- ❑ Low temperature dependency
- ❑ TTL and CMOS compatible
- ❑ Operating temperatures: -20..85degC (consumer) or -40..125degC (automotive)
- ❑ Supply voltage range 3V to 5.5V
- ❑ Target 0 ppm defects; guarantee <10 ppm defects
- ❑ Solder reflow 260degC, MSL3
- ❑ RoHS compliant lead-free
- ❑ Automotive version is AEC-Q100 qualified

Applications

General

- Contactless Switch
- Contactless Position Switch
- Hand presence detection, e.g. for water taps
- Range detection, e.g. staircase detection for robot vacuum cleaners
- Twilight Sensor, e.g. for sun screens, roof windows
- Security Screens

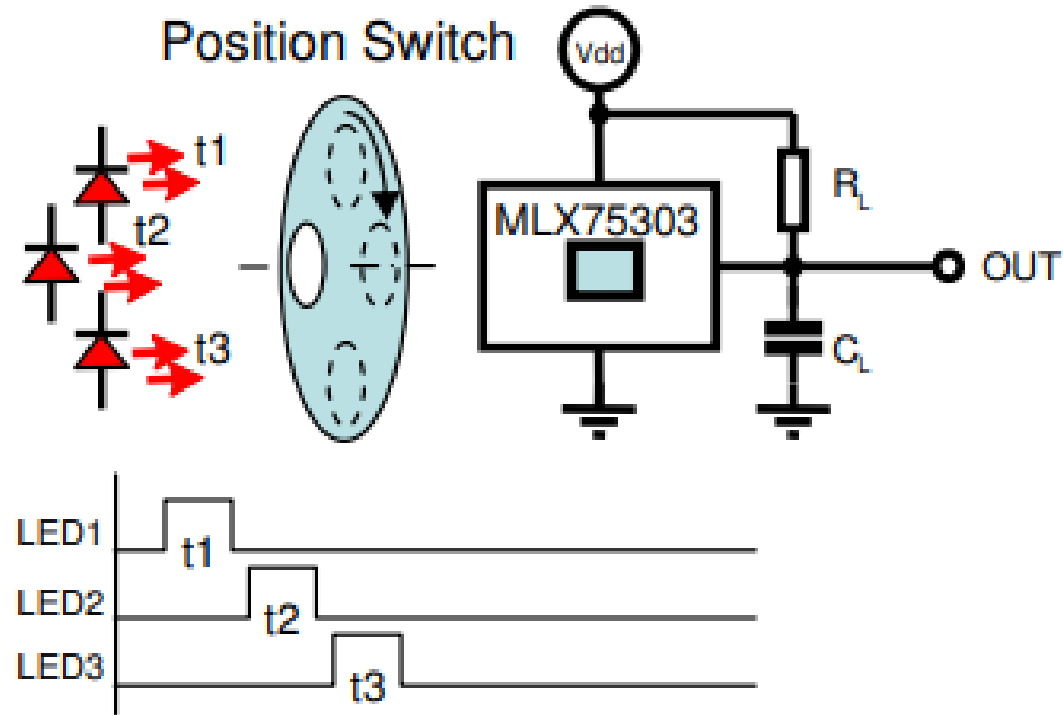
Automotive

- Steering angle measurement
- Contactless switch for steering stocks
- Headlights ON/OFF sensor
- Keyless car entry – hand presence detection

Printers/Copiers

- Paper feed detection
- Paper size and orientation detection
- Toner cartridge presence detection

Contactless Position Switch



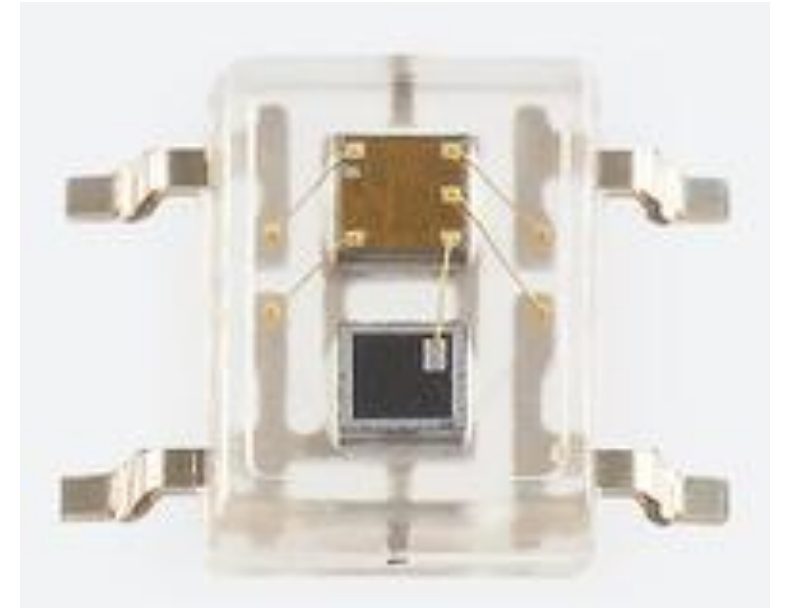
Explanation

The picture at the left describes how to use the MLX75303 for building a optical contactless multiple position switch. In this example we consider a position switch with 4 possible positions.

3 low-cost LEDs are needed for a switch with 4 possible positions. All LEDs are pulsed in a sequential way from t_1 to t_3 . If for instance the switch is set in position 2 then the light of LED2 will be able to reach the sensor. Comparison of the sensor output with the pulse times gives the switch position.

Oprócz sensorów z wyjściem liniowym lub dwustanowym na rynku można znaleźć także konwertery światło-częstotliwość, do których należy układ S9705-01DT marki Hamamatsu.

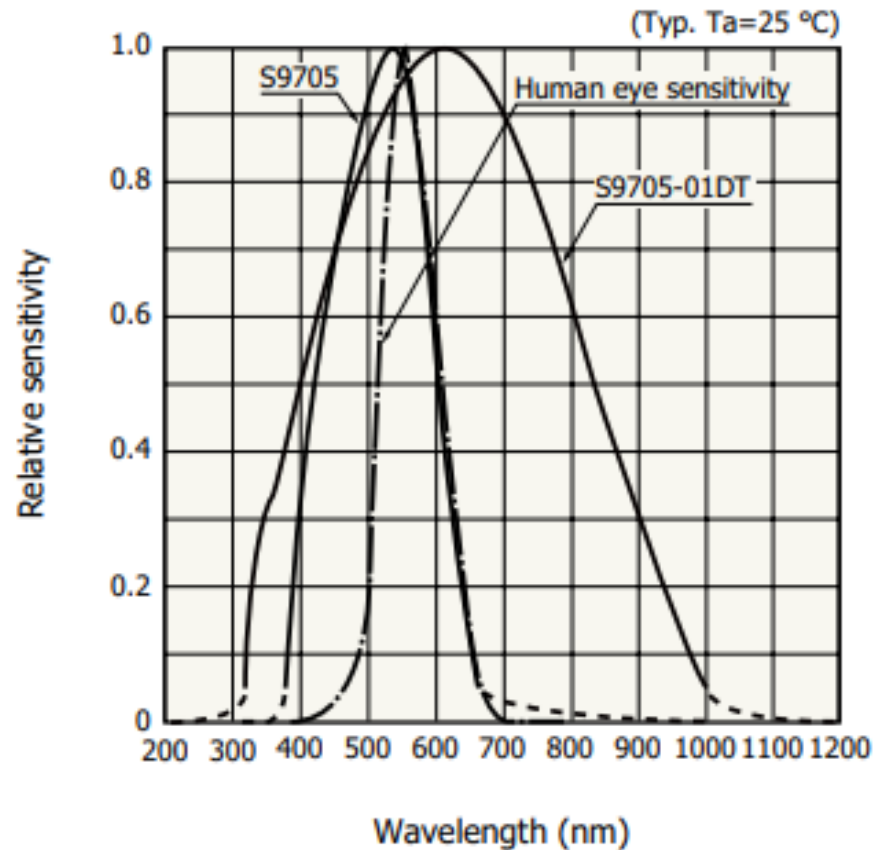
Podobnie jak MLX75305, produkt występuje także w dwóch wersjach o różnych charakterystykach wyjściowych, choć w tym przypadku nachylenie prostych jest identyczne, a modyfikacji podlega tylko sam offset zakresu mierzonej luminancji.



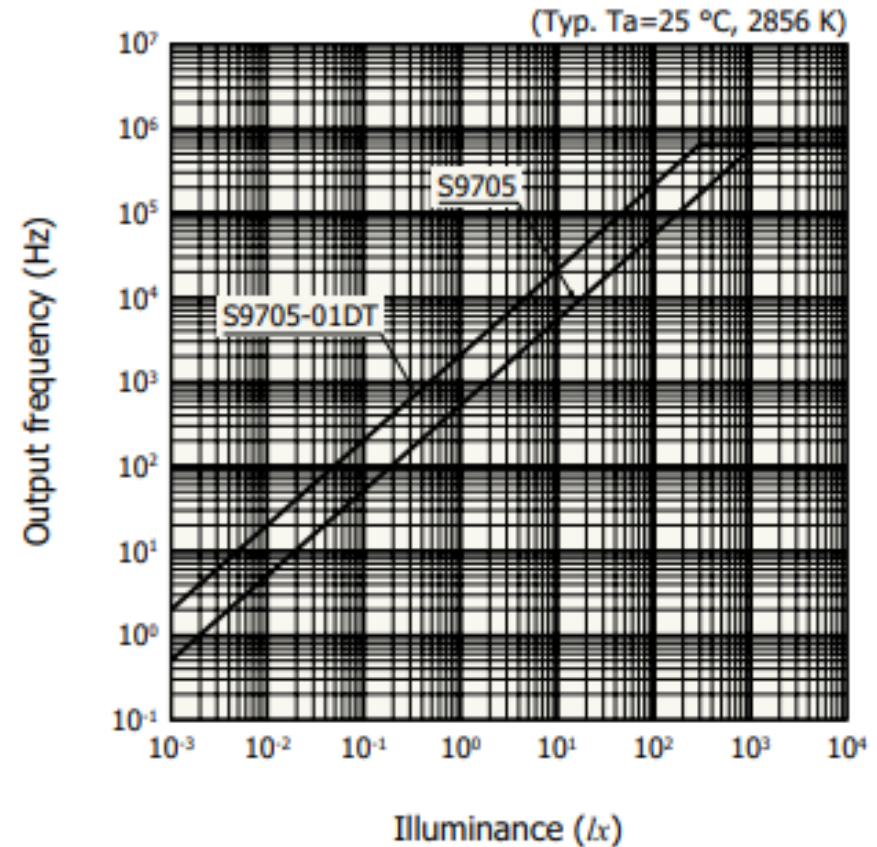
❖ Applications

- Liquid crystal monitor backlight dimmer for mobile devices
- Brightness adjustment for large-screen liquid crystal TV
- Lighting dimmer
- Replacement for CdS photoconductive cells

❖ Spectral response



❖ Output frequency vs. illuminance



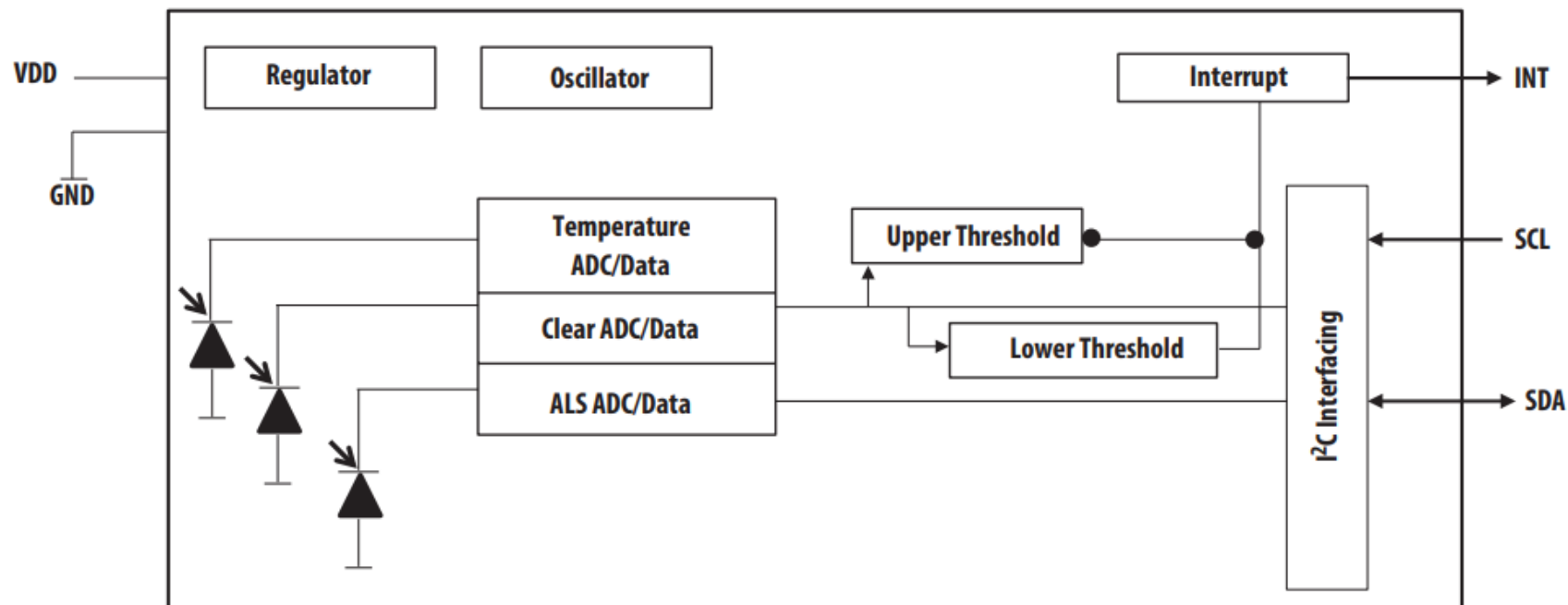
Znacznie szerszą grupę czujników ALS stanowią układy z wyjściem cyfrowym, pracującym (w większości przypadków) w standardzie I²C.

Na tym polu rynkowa rywalizacja odbywa się zarówno w kwestii daleko posuniętej miniaturyzacji, energooszczędności, zakresu oraz (ewentualnie) podziału charakterystyki widmowej na poszczególne pasma, jak i dostępności wbudowanych układów przetwarzania sygnałów.

Jak wspomnieliśmy wcześniej, spore znaczenie ma także zakres dynamiki, wiążący się w dużej mierze z rozdzielczością wbudowanego przetwornika ADC, choć także z zastosowaniem układów automatycznego przestrajania wzmocnienia (AGC), bez konieczności implementowania stosownych algorytmów po stronie hosta.

Firma Broadcom opracowała serię 20-bitowych sensorów ALS o zakresie dynamiki rzędu 18 000 000:1, zdolnych do akwizycji sygnałów na poziomie 0,01 lx.

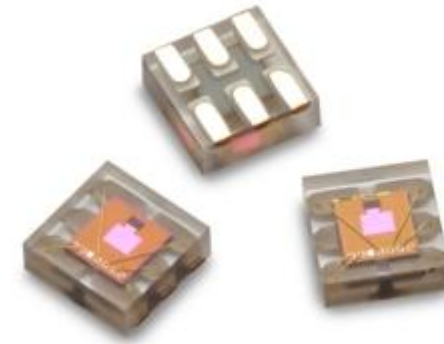
APDS-9306 zawiera osobne fotodiody z filtrem optycznym (kanał ALS) i bez filtra (kanał clear) oraz kontroler z programowalnym komparatorem (wyposażonym w specjalne wyjście przerwania – INT) oraz interfejs I²C.



Description

Avago Technologies' APDS-9306/APDS-9306-065 is a low-voltage Digital Ambient Light Sensor that converts light intensity to digital signal output with I²C interface. It consists of photodiode, ADC, oscillator and power-on reset to ensure consistent start-up. ADCs convert the photodiode currents to a digital output and the device is capable of rejecting 50Hz and 60Hz flicker caused by artificial light sources.

The APDS-9306/APDS-9306-065 approximates the response of the human-eye providing direct read out, where the output count is proportional to ambient light level. Low light functionality enables operation behind darkened glass. The APDS-9306/APDS-9306-065 supports programmable hardware interrupt with hysteresis to respond to events.



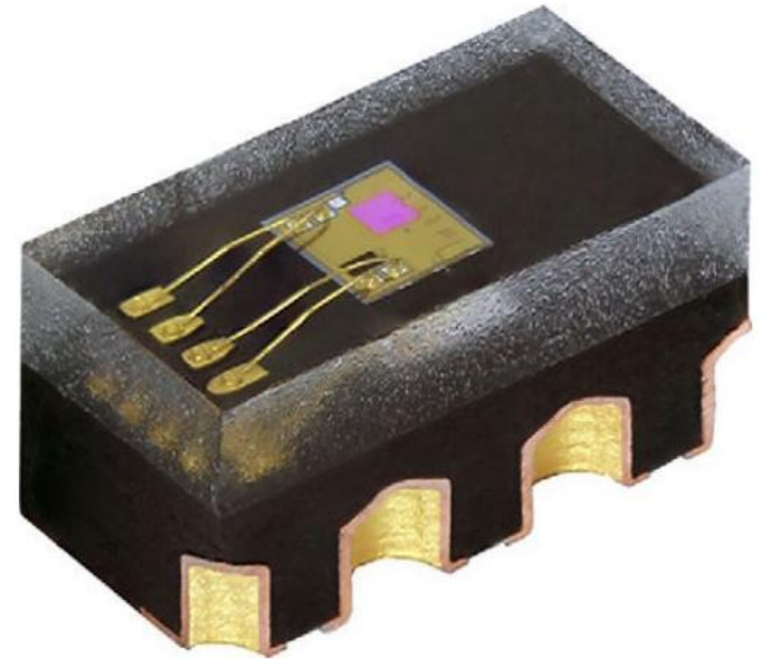
Applications

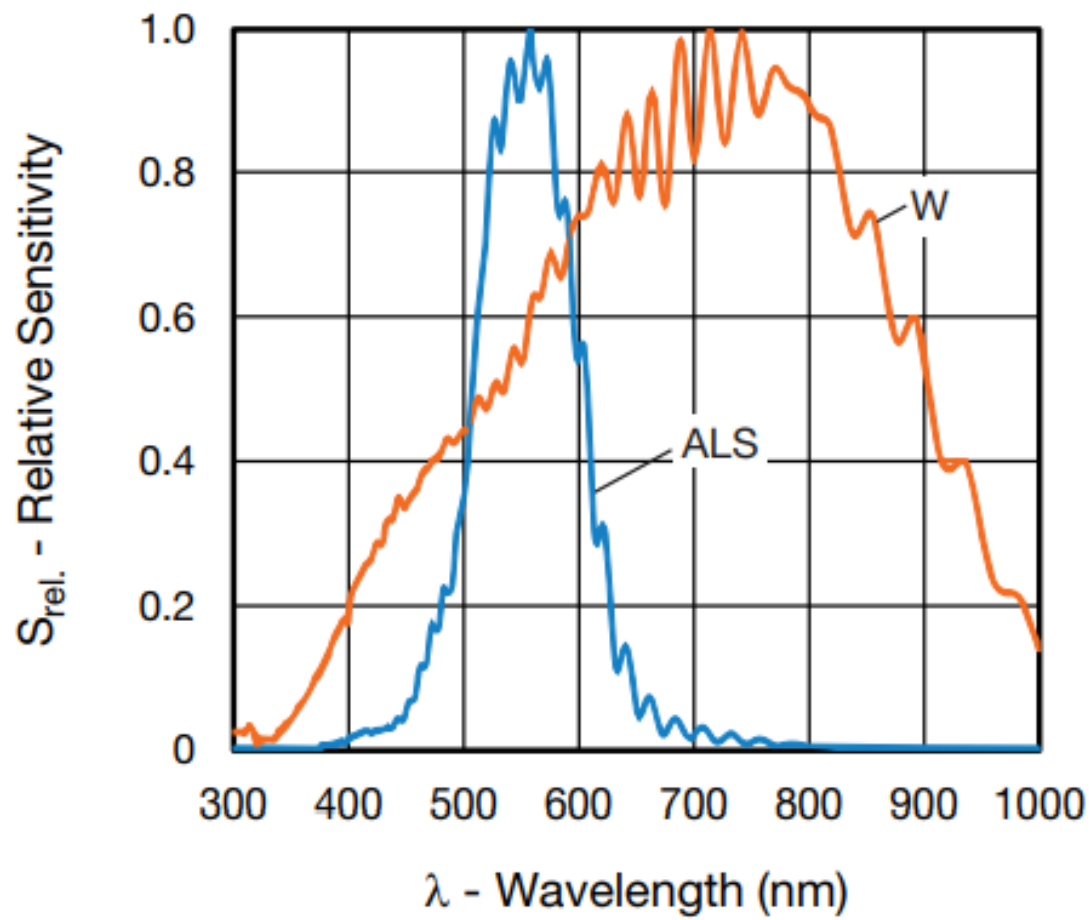
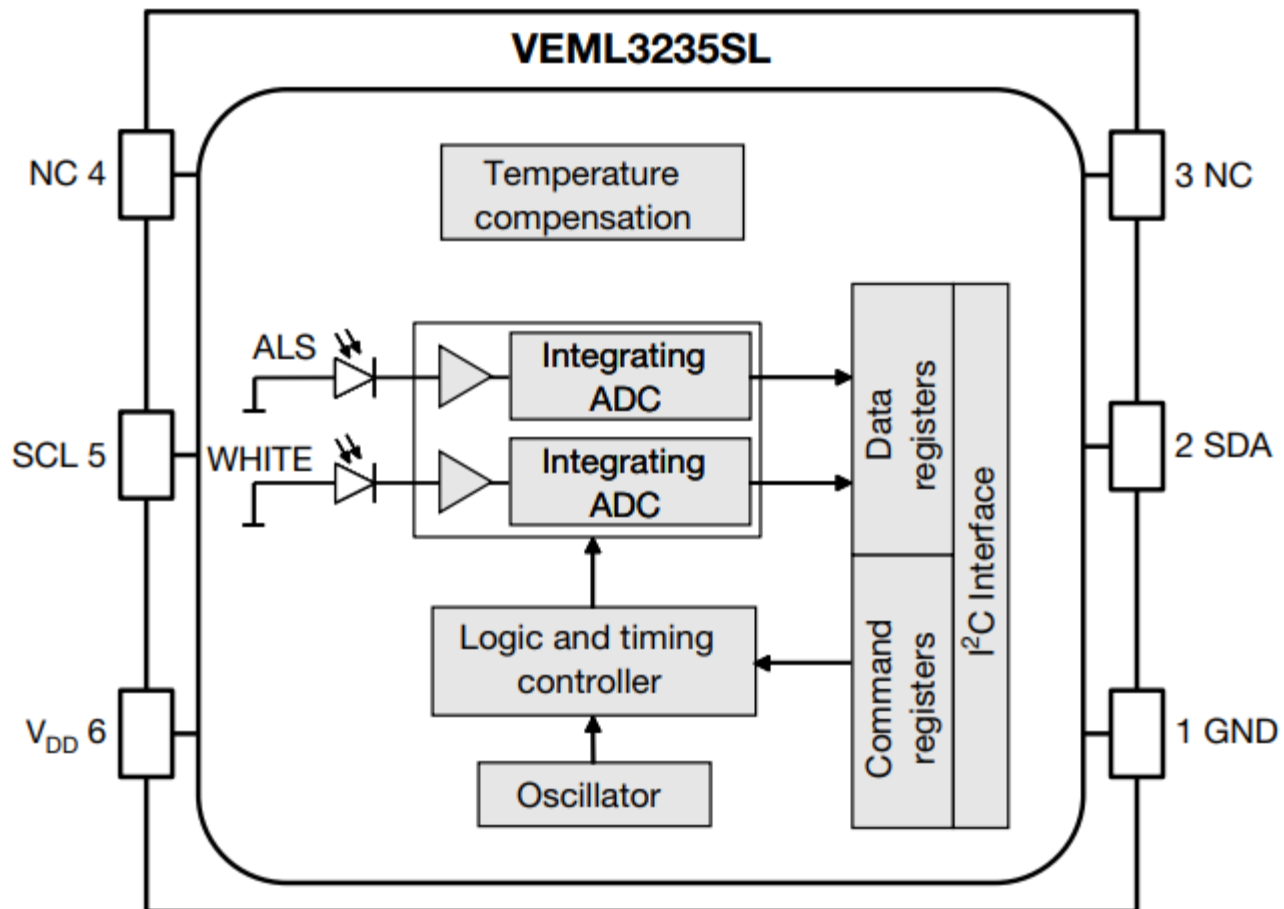
- Detection of ambient light to control display backlighting
 - o Wearable devices – Smart watch, Sport Watch
 - o Mobile devices – Cell phones, PDAs, PMP
 - o Computing devices – Notebooks, Tablet PC, Key board
 - o Consumer devices – LCD Monitor, Flat-panel TVs, Video Cameras, Digital Still Camera
- Automatic Residential and Commercial Lighting Management

Do oferty marki Vishay trafił natomiast czujnik o VEML3235SL o wymiarach 2,95×1,5×1,5 mm.

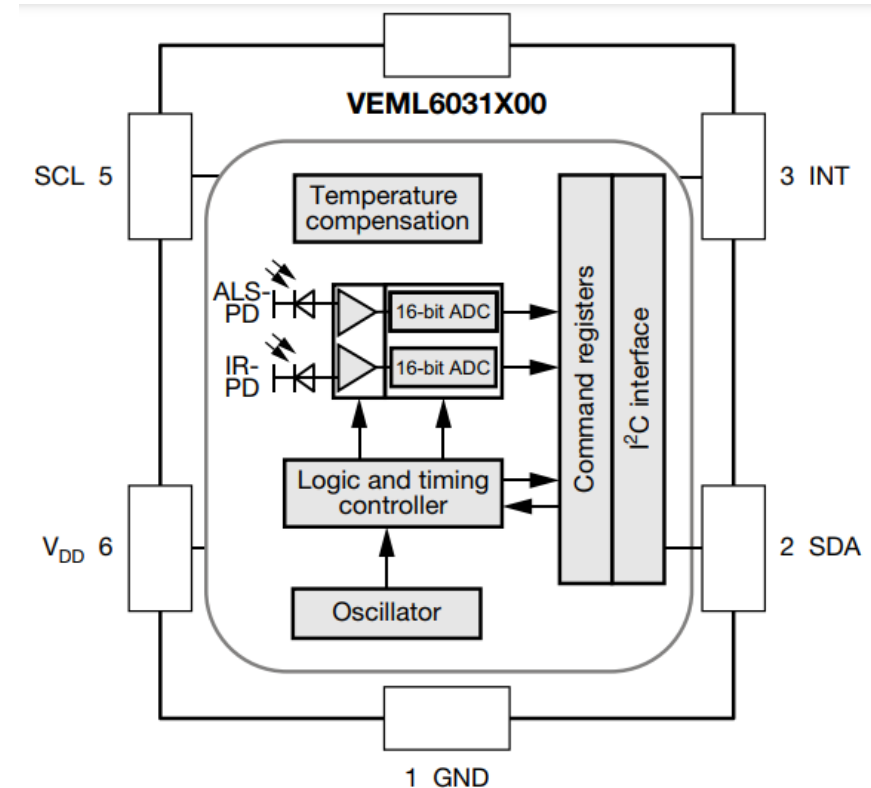
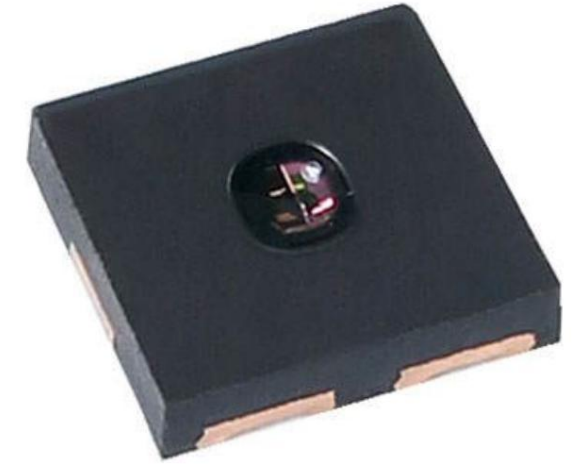
Minimalne natężenie wykrywanego światła wynosi niewiele ponad 0,002 lx, zaś rozdzielczość przetwornika ADC to 16 bitów.

Podczas pracy sensor pobiera wprawdzie 250 μA prądu zasilania, jednak wartość ta spada do zaledwie 1 μA w trybie uśpienia.



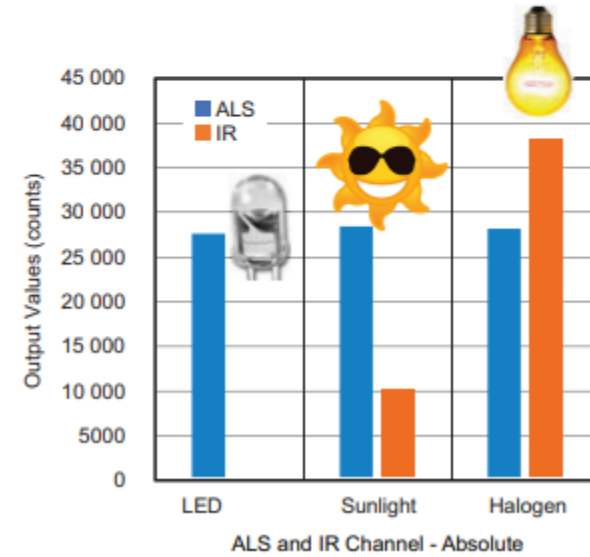
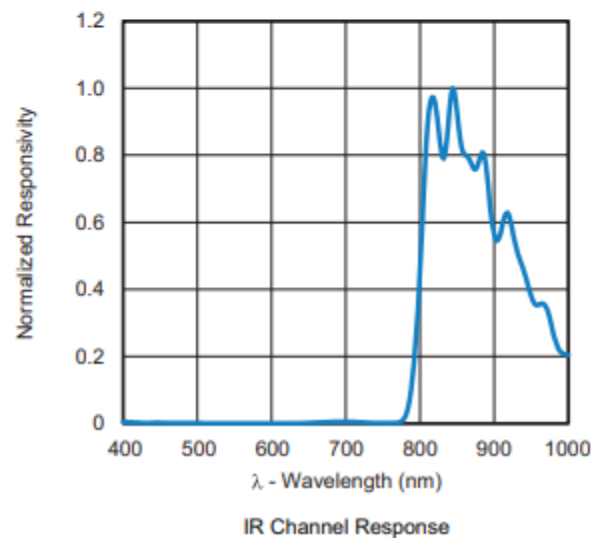
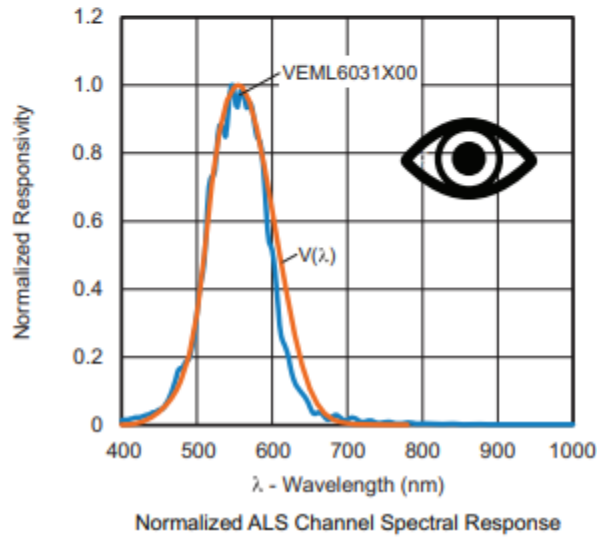


Układ VEML6031X00 oferuje z kolei dwa niezależne tory pomiarowe, pozwalające na różnicowanie światła widzialnego oraz bliskiej podczerwieni – każda z fotodiod jest wyposażona we własny wzmacniacz oraz 16-bitowy przetwornik ADC.

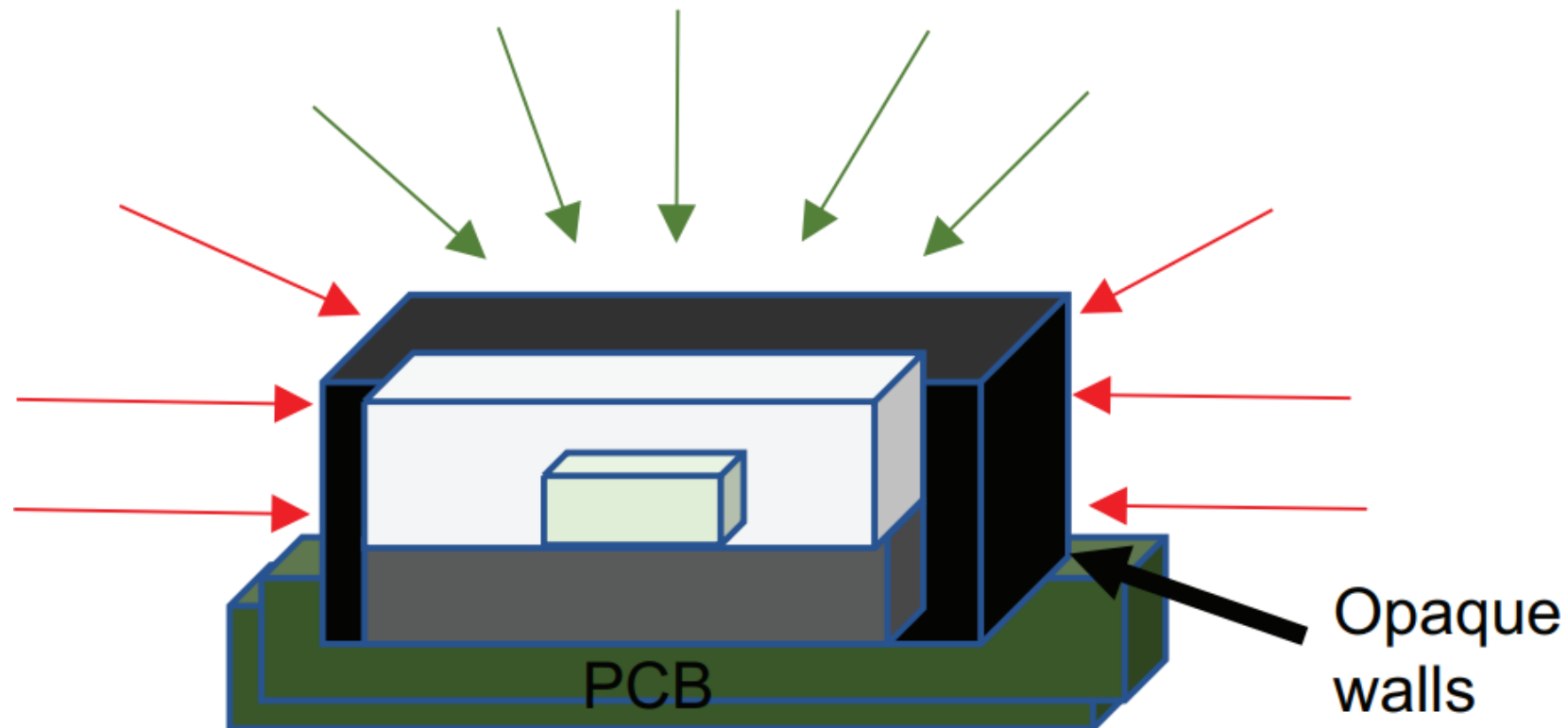


SPECTRAL RESPONSE

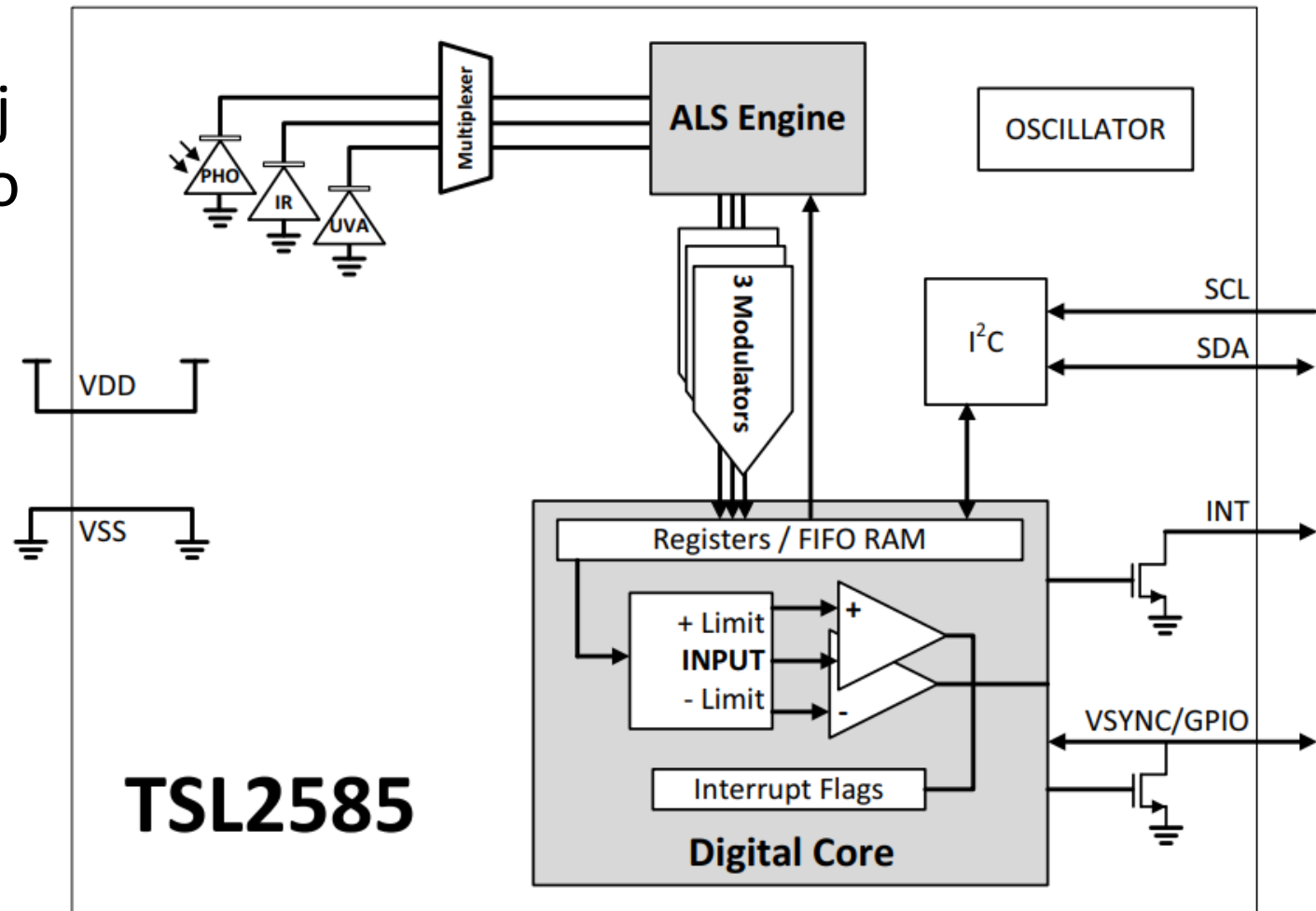
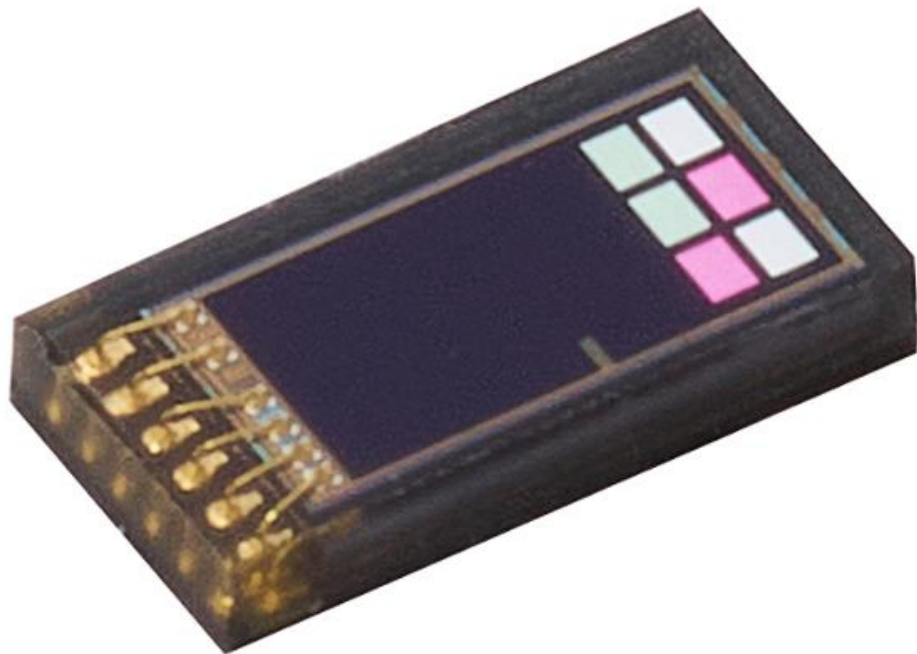
The human eye cannot see infrared light and the VEML6031X00 closely matches the λ curve of the human eye's sensitivity, with an emphasis on the suppression of infrared light. Most analog-output ambient light sensors do not fully suppress infrared wavelengths, as the filtering employed allows some near infrared light to corrupt the signal. The digital-output VEML6031X00 addresses this common issue by using two output channels: one which senses only visible light like our eyes, and a second to measure infrared light. Both channels are measured in parallel. This has two benefits. First, the sensor determines the lux level of the environment and can determine the type of light source. For example, sunlight has a high infrared content while white LED lighting has a very low infrared content. Readings from each channel can determine if the sensor is exposed to sunlight or LED lighting. Second, the two channels eliminate errors that are induced when cover glass material suppresses visible light and allows more infrared light to pass through.



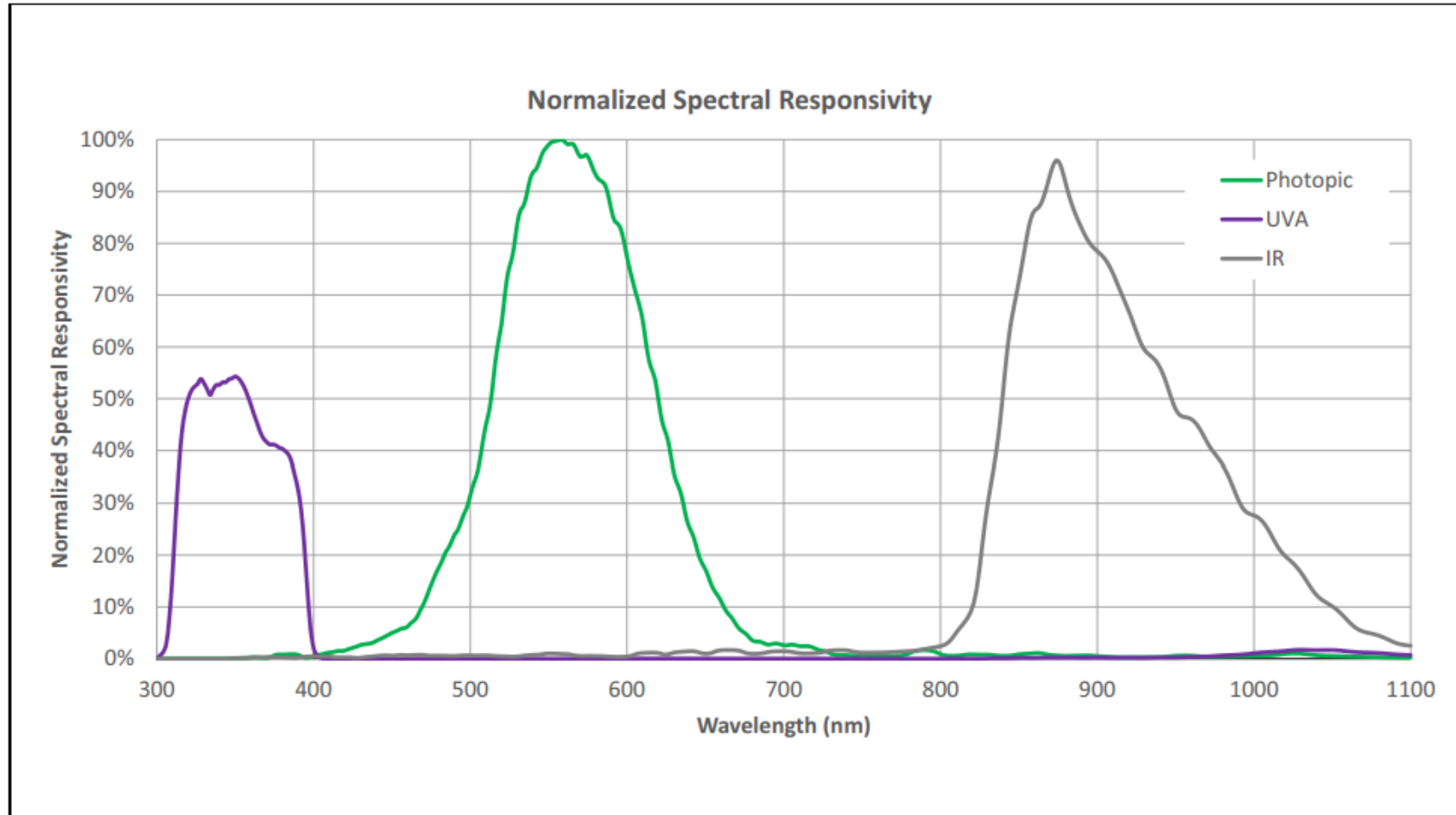
W odróżnieniu od znacznej części współczesnych czujników ALS, VEMML6031X00 jest wykonany w nieprzezierniej obudowie z niewielkim oknem optycznym, co pozwala na redukcję wpływu oświetlenia padającego równoległe lub pod niewielkim kątem do płytki drukowanej, dzięki czemu charakterystyka czułości kątowej została ograniczona do około $\pm 50^\circ$.



Z kolei w układzie TSL2585, w niewielkiej, przeźiernej obudowie o wymiarach zaledwie 2,0×1,0×0,35 mm znalazły się trzy fotoelementy z filtrami kształtującymi widmo optyczne w podzakresach: bliskiej podczerwieni, światła widzialnego oraz UV-A:



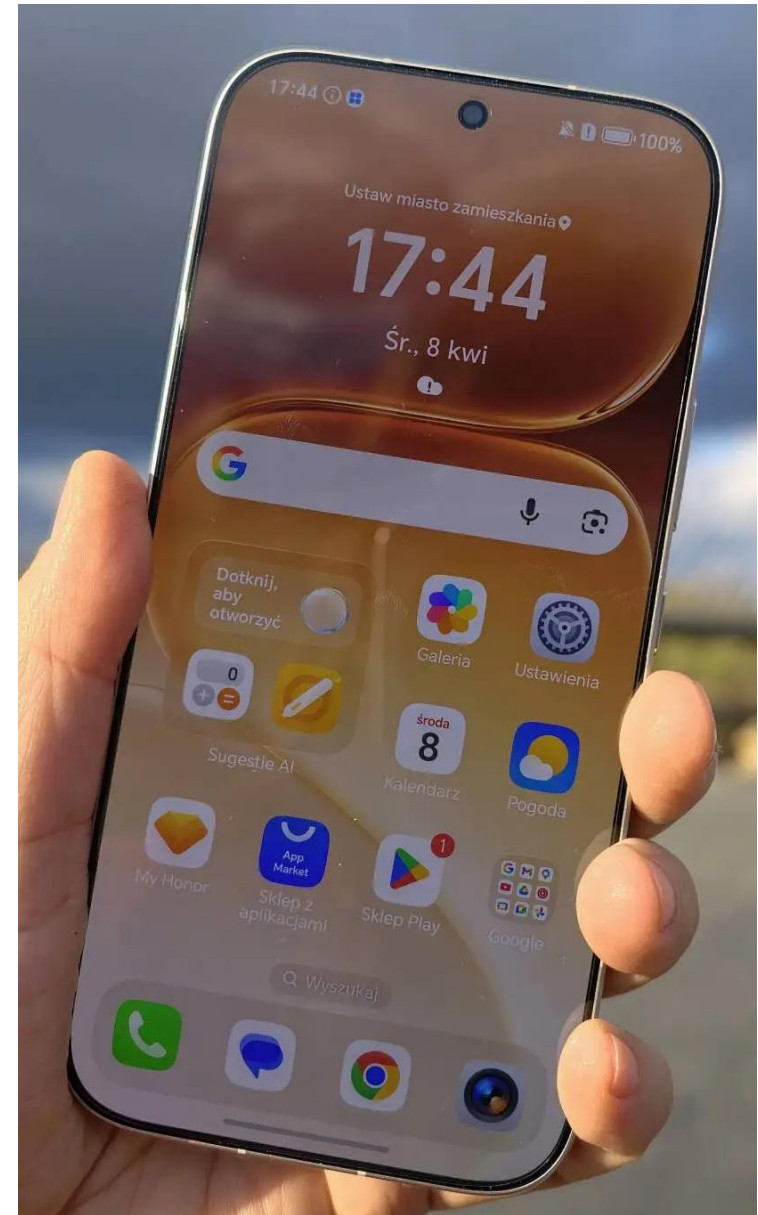
Zastosowane filtry zapewniają niemal całkowitą rozdzielność poszczególnych podzakresów pasma UV-VIS-IR:



Rozdzielność poszczególnych podzakresów pasma UV-VIS-IR, pozwala nie tylko na pomiar intensywności światła widzialnego, ale także estymację indeksu UV czy też automatyczną kontrolę ekspozycji kamery cyfrowej.

W aplikacjach takich, jak ostatnia z wymienionych, cennym narzędziem będzie także funkcja pomiaru częstotliwości migotania światła w szerokim zakresie (np. do 7 kHz), co pozwala znacznie lepiej ustawiać parametry urządzenia obrazującego podczas pracy przy sztucznym oświetleniu konwencjonalnym (żarowym), fluorescencyjnym czy też LED.

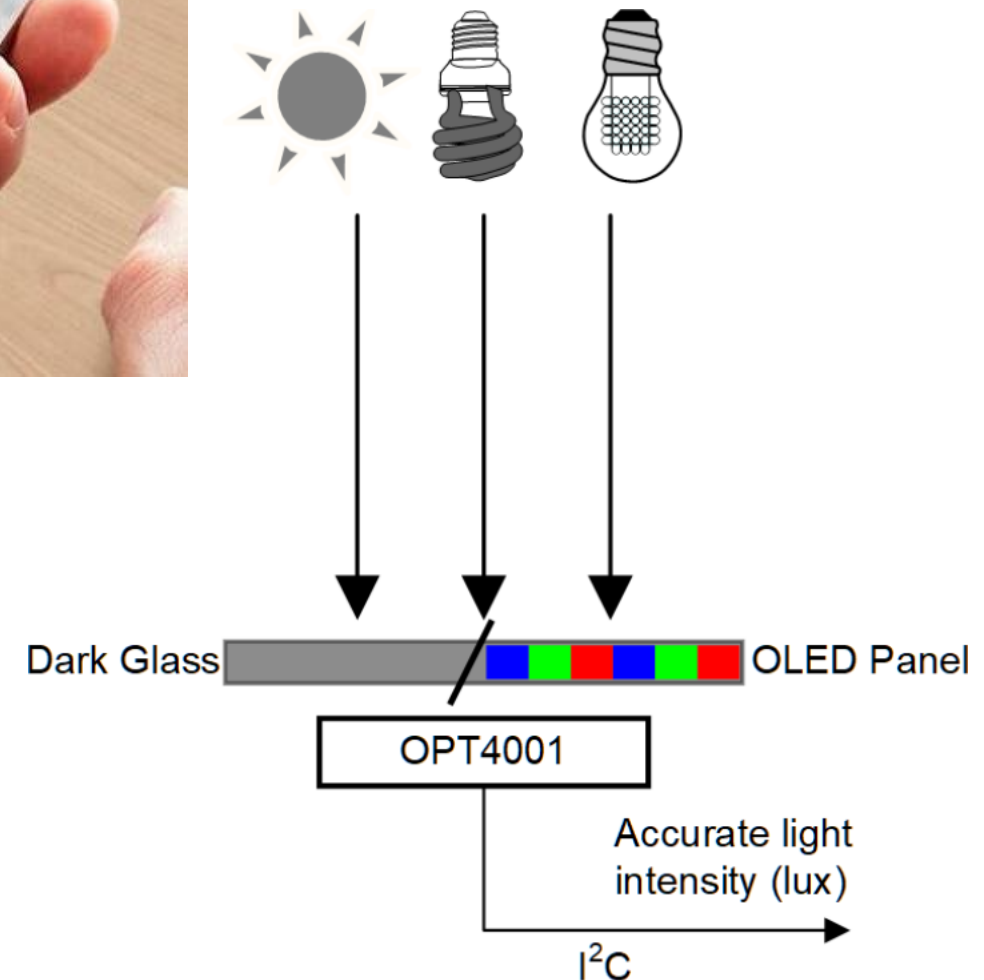
Warto dodać, że ułożenie fotodiod przy samym brzegu obudowy układu także nie jest przypadkowe – celem takiego zabiegu jest umożliwienie realizacji projektów urządzeń mobilnych o bardzo wąskiej ramce, mającej szerokość nawet od 0,4 mm.



Innym pomysłem w kontekście sprzętu mobilnego jest stosowanie czujników o wysokiej czułości.

Np. sensor OPT4001 może pracować nie tylko za przyciemnianym szkłem (spotykanym w większości współczesnych smartfonów i innych urządzeń mobilnych), ale nawet za samym ekranem OLED.

Takie rozwiązanie jest coraz bardziej pożądane przez producentów urządzeń bezramkowych.



Czujniki zbliżeniowe

Drugą, niezwykle szeroką, ważną i często stosowaną grupę czujników optycznych stanowią **sensory zbliżeniowe**.

W większości przypadków główna funkcjonalność czujników zbliżeniowych polega na zgrubnym, pośrednim pomiarze odległości obiektu na drodze analizy ilości światła, wygenerowanego przez diodę LED lub laser VCSEL, a następnie odbitego od przeszkody i powracającego do fotodetektora.

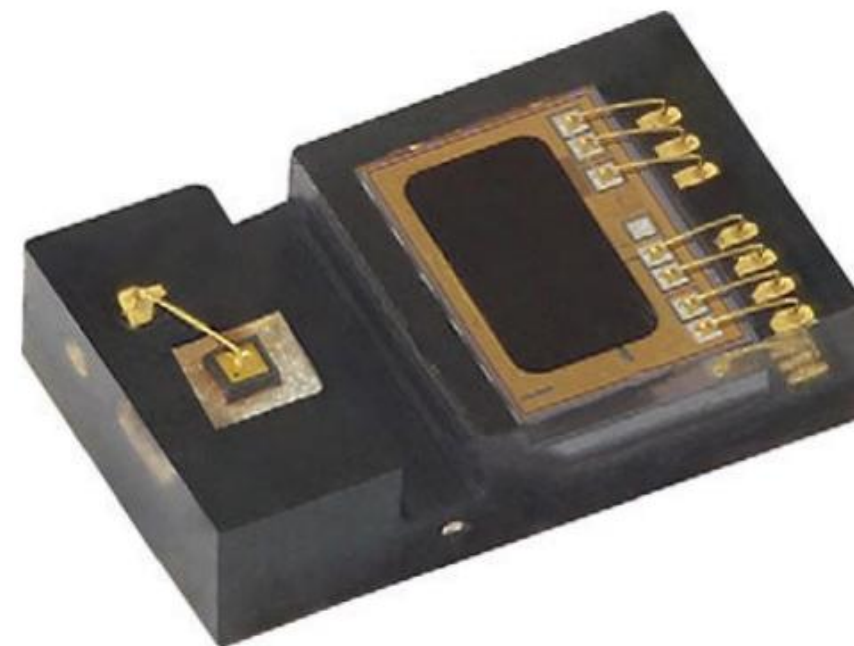
Rzecz jasna, wiarygodny pomiar odległości w konkretnej jednostce (np. milimetrach) nie byłby możliwy na podstawie samego tylko natężenia odbitej wiązki promieniowania (každorazowo należałoby bowiem uwzględnić reflektancję obiektu, jego geometrię, wpływ ewentualnych przeszkód dodatkowych – głównie w postaci szkła osłonowego itp.), jednak nie to jest celem stosowania takich czujników – chodzi głównie o stwierdzenie samego faktu pojawienia się przeszkody w pewnym zakresie odległości od czujnika oraz względnych zmian tejże odległości.

Pomimo to, rejestry wyjściowe optycznych czujników zbliżeniowych umożliwiają odczyt wartości wyjściowej przetwornika ADC, co – przy zastosowaniu odpowiednio ustawionych progów detekcji – umożliwia wykrycie np. faktu przyłożenia telefonu do ucha użytkownika podczas rozmowy telefonicznej.

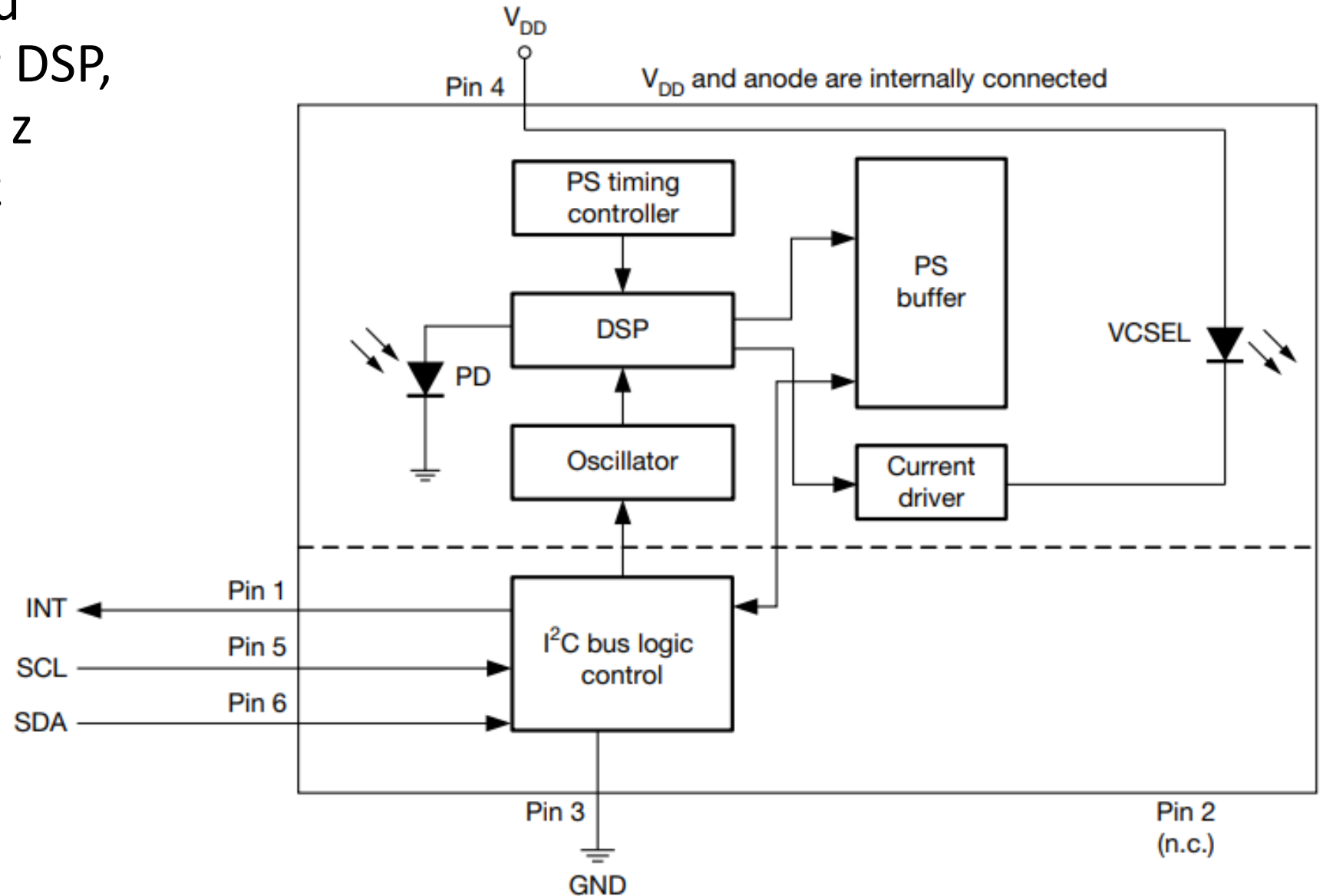
To zaś pozwala na automatyczne wyłączenie ekranu – stąd też w konstrukcjach produkowanych obecnie sensorów zbliżeniowych można zauważyć szereg cech ułatwiających ich aplikację w urządzeniach mobilnych.

Dobrym przykładem nowoczesnego, subminiaturowego czujnika zbliżeniowego jest układ VCNL36825T marki Vishay, bazujący na nadajniku w postaci diody VCSEL oraz czułym odbiorniku, umieszczonym wraz z układem sterującym w oddzielnym optycznie przedziale obudowy.

Całość ma kompaktowe wymiary (zaledwie $2,0 \times 1,25 \times 0,5$ mm), a rozstaw elementów optoelektronicznych pozwala na pracę czujnika za pojedynczym okienkiem optycznym o średnicy 1,6 mm.



W strukturze układu znalazł się procesor DSP, oscylator, kontroler z interfejsem I²C oraz źródło prądowe do sterowania diodą laserową.



Konstruktorzy tego układu przewidzieli także kompensację temperatury otoczenia w zakresie od -40 do $+85^{\circ}\text{C}$.

Czujnik ten radzi sobie także z kompensacją światła słonecznego w zakresie do 100 klx.

PROXIMITY FUNCTION

- Immunity to red glow (940 nm IRED)
- Programmable I_{VCSEL} sink current
- Intelligent cancellation to reduce cross talk phenomenon
- Smart persistence scheme to reduce PS response time
- Low power consumption mode
- Sunlight cancellation up to 100 klx

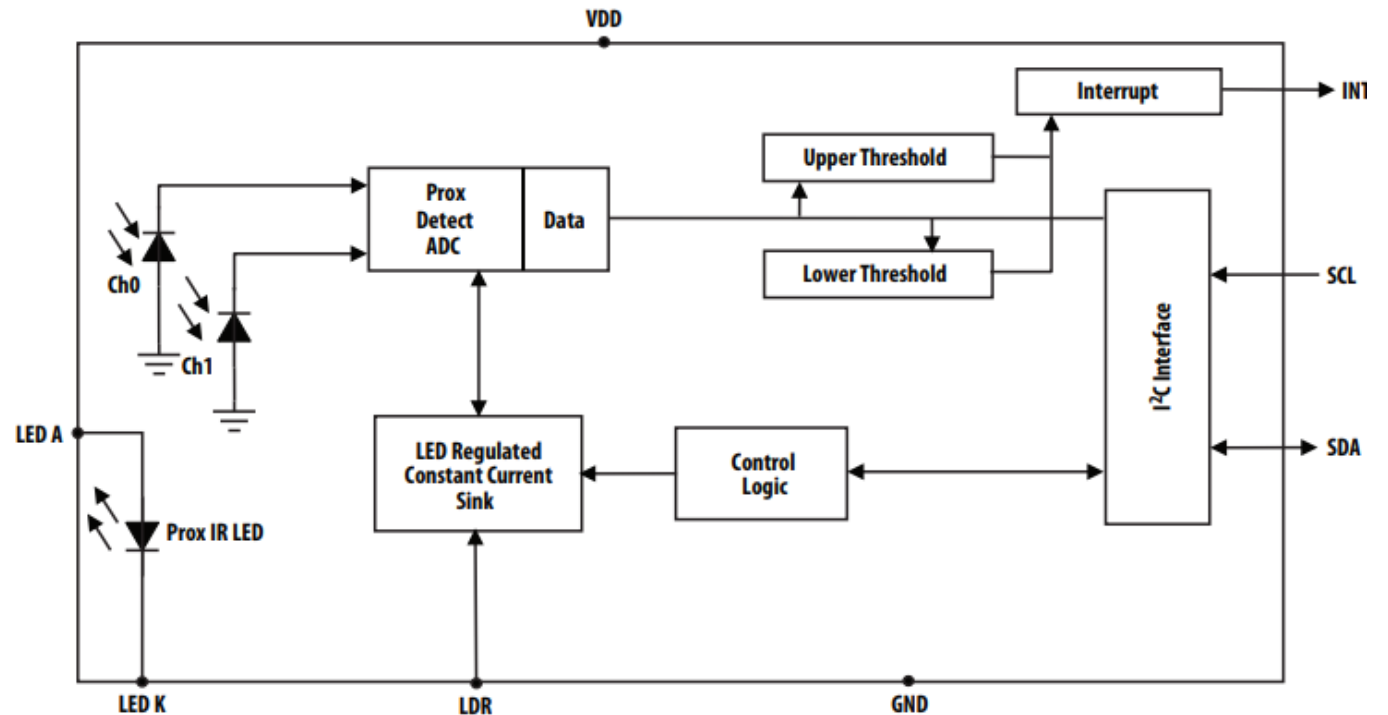
INTERRUPT

- Programmable interrupt function for PS with upper and lower thresholds
- Adjustable persistence to prevent false triggers for PS

APPLICATIONS

- Handheld device
- Consumer device
- Industrial application
- True wireless stereo (TWS) earphones

Kolejny układ - APDS-9190 zawiera w swojej strukturze dwie fotodiody – jeden z kanałów odpowiada za szerokopasmowy pomiar natężenia światła w zakresie zahaczającym nawet o ultrafiolet i bliską podczerwień, zaś drugi jest czuły głównie na promieniowanie podczerwone (z pikiem czułości spektralnej około 850 nm).



Czujnik ten zapewnia fabryczną kalibrację dla odległości od standardowej przeszkody (szara karta Kodak o refleksyjności 90%) równej 100 mm, dzięki czemu wytwórcy urządzeń docelowych nie muszą martwić się o indywidualną kalibrację każdego urządzenia na etapie produkcji.

W przypadku powtarzalnych warunków instalacji sensora (grubość szkła osłonowego, jego przezierność, odległość od czujnika i wynikający z niej poziom przesłuchów, średnica otworu okna optycznego, rodzaj i obecność dodatkowych „izolatorów” optycznych, itd.) raz ustalony poziom czułości może być więc programowany we wszystkich produktach.

Features

- IR LED and Proximity Detector in an Optical Module
- Proximity Detection
 - Fully Calibrated to 100 mm Detection
 - Integrated IR LED and Synchronous LED Driver
 - Eliminates “Factory Calibration” of Prox
 - Covers a 2000: 1 Dynamic Range
- Programmable Wait Timer
 - Wait State Power – 70 μ A Typical
 - Programmable from 2.72 ms to > 6 Sec
- I²C Interface Compatible
 - Up to 400 kHz (I²C Fast-Mode)
 - Dedicated Interrupt Pin
- Sleep Mode Power - 2.5 μ A Typical
- Small Package L3.94 x W2.36 x H1.35 mm

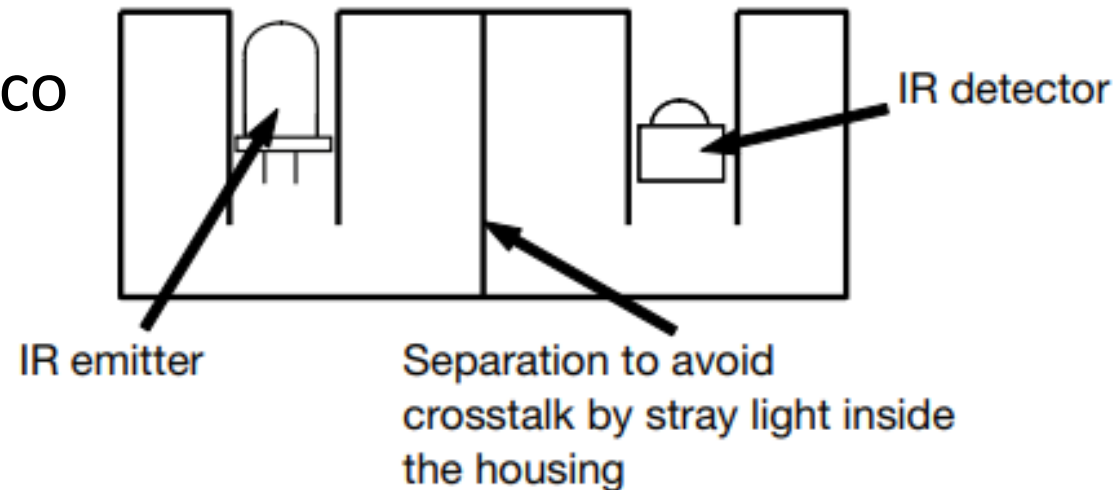
Applications

- Cell Phone Touch-screen Disable
- Notebook/Monitor Security
- Automatic Speakerphone Enable
- Automatic Menu Pop-up
- Digital Camera Eye Sensor

Czujniki zbliżeniowe na bazie odbiorników IR

Warto dodać, że w przypadku aplikacji o znacznie luźniejszych wymagach dotyczących miniaturyzacji, często lepszym rozwiązaniem – w porównaniu do scalonych sensorów zbliżeniowych – może być zastosowanie nieco bardziej złożonego układu, zawierającego scalony odbiornik podczerwieni oraz dyskretny nadajnik IR.

W najprostszej realizacji w czujniku można zastosować klasyczny odbiornik, stosowany w systemach zdalnego sterowania oraz zwykłą diodę nadawczą IR.



Takie zestawienie pozwala uzyskać zasięg rzędu nawet kilku metrów, choć rzeczywiste osiągi zależą oczywiście od mocy i zbieżności wiązki podczerwieni, rozmiaru i reflektancji obiektu (przeszkody), kąta ustawienia przeszkody względem osi optycznej czujnika, a także obecności zakłóceń w otoczeniu pracującego urządzenia (problematyczne są zwłaszcza lampy fluorescencyjne).

Firma Vishay opracowała nawet specjalną wersję odbiorników IR o takiej właśnie konstrukcji.

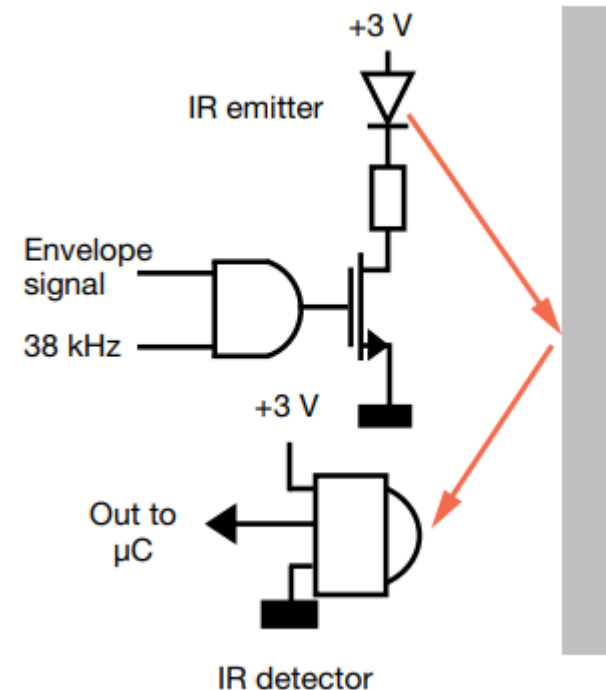
Przykładem odbiornika dostosowanego stricte do aplikacji zbliżeniowych może być czujnik TSSP4P38.

APPLICATIONS

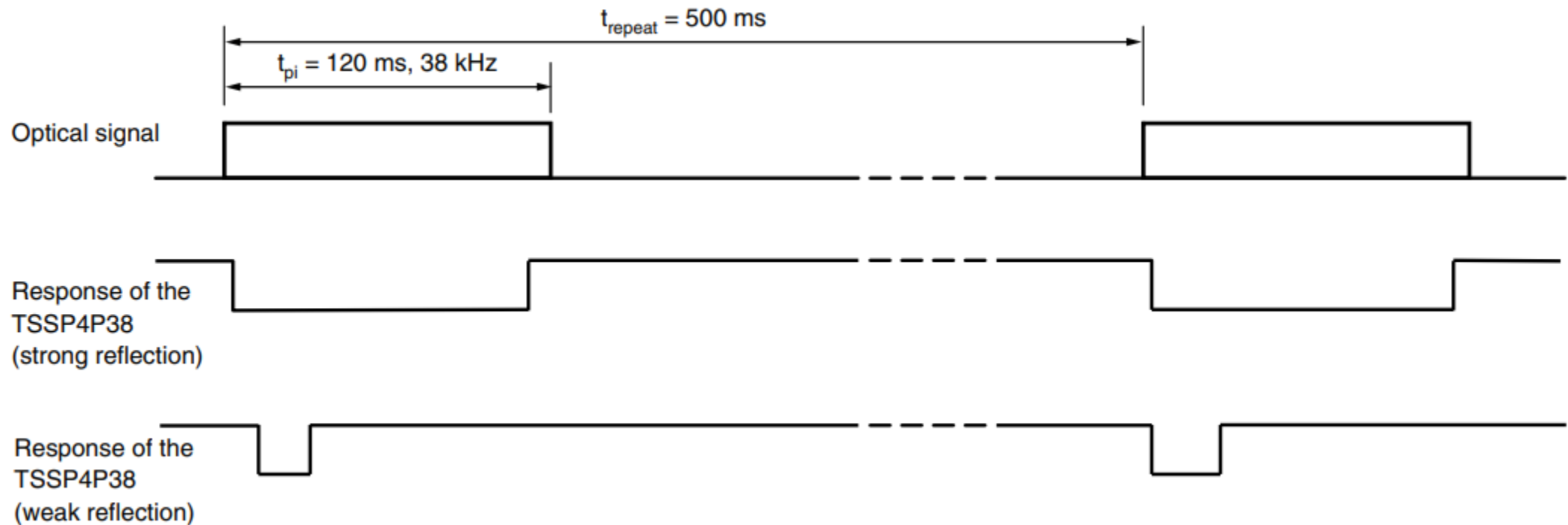
- Object approach detection for activation of displays and user consoles, signaling of alarms, etc.
- Simple gesture controls
- Differentiation of car arrival, static, car departure in parking lots
- Reflective sensors for toilet flush
- Navigational sensor for robotics



23196



W tym przypadku długość impulsu wyjściowego nie odpowiada już rzeczywistemu czasowi trwania paczki impulsów świetlnych (co jest warunkiem koniecznym w systemach zdalnego sterowania) – impuls jest bowiem tym dłuższy, im silniejsza jest wiązka odbita, powracająca do fotodetektora.



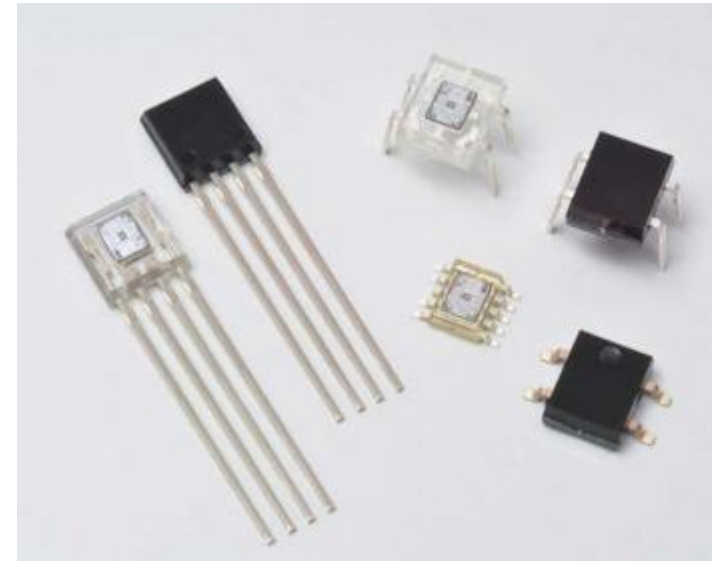
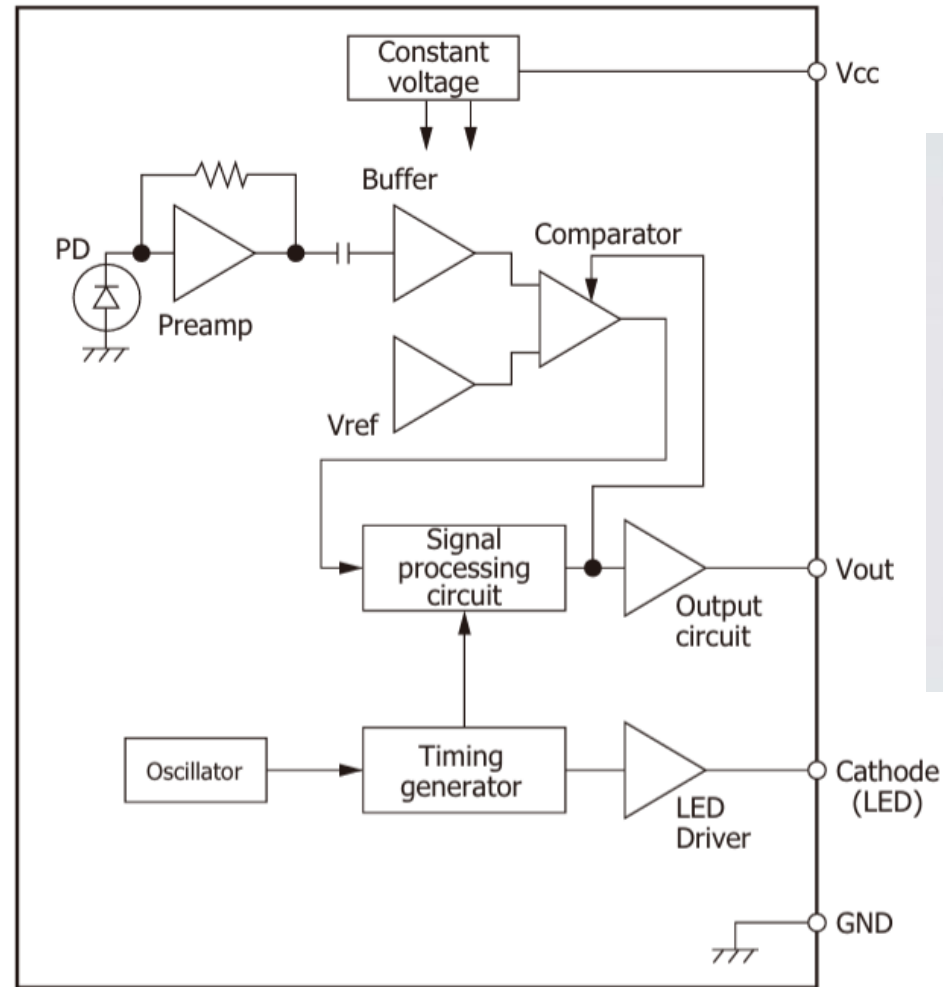
Umożliwia to różnicowanie względnej odległości (czyli – innymi słowy – zmian dystansu pomiędzy przeszkodą a czujnikiem), co byłoby niemożliwe do określenia w przypadku klasycznych odbiorników, stosowanych np. w systemach sterowania z użyciem kodu RC-5.

Wspólną wadą detektorów opartych na odbiornikach modulowanej podczerwieni jest konieczność zapewnienia przez projektanta odpowiedniego sygnału sterującego nadajnikiem IR.

Choć nie stanowi to większego problemu w przypadku zaawansowanych mikrokontrolerów, to mimo wszystko implementacja wspomnianej funkcjonalności wymaga użycia przynajmniej jednego timera sprzętowego – projekty bazujące na najprostszyc MCU mogą więc przy tym nieco ucierpieć.

W takich sytuacjach dobrym wyjściem okaże się zastosowanie scalonego sensora zawierającego wyjście sterujące diodą LED.

Np. firma Hamamatsu opracowała serię układów: S4282-51, S6809, S6846, S6986, S7136/-10, S10053/-01DT – każdy z nich zawiera wbudowaną fotodiode ze wzmacniaczem transimpedancyjnym, tor przetwarzania sygnałów z komparatorem oraz oscylator i układ czasowy, zsynchronizowany z driverem nadajnika.



Jak już podkreśliliśmy wcześniej, współczesne urządzenia mobilne korzystają zarówno z czujników natężenia oświetlenia (ALS), jak i z sensorów zbliżeniowych (proximity sensor).

Wysoce pożądane okazuje się zatem połączenie obydwu tych funkcjonalności w ramach tego samego układu scalonego, co nie tylko upraszcza podłączenie i montaż w oknie optycznym (lub pod wyświetlaczem), ale także znakomicie redukuje ilość zajętego miejsca na PCB.

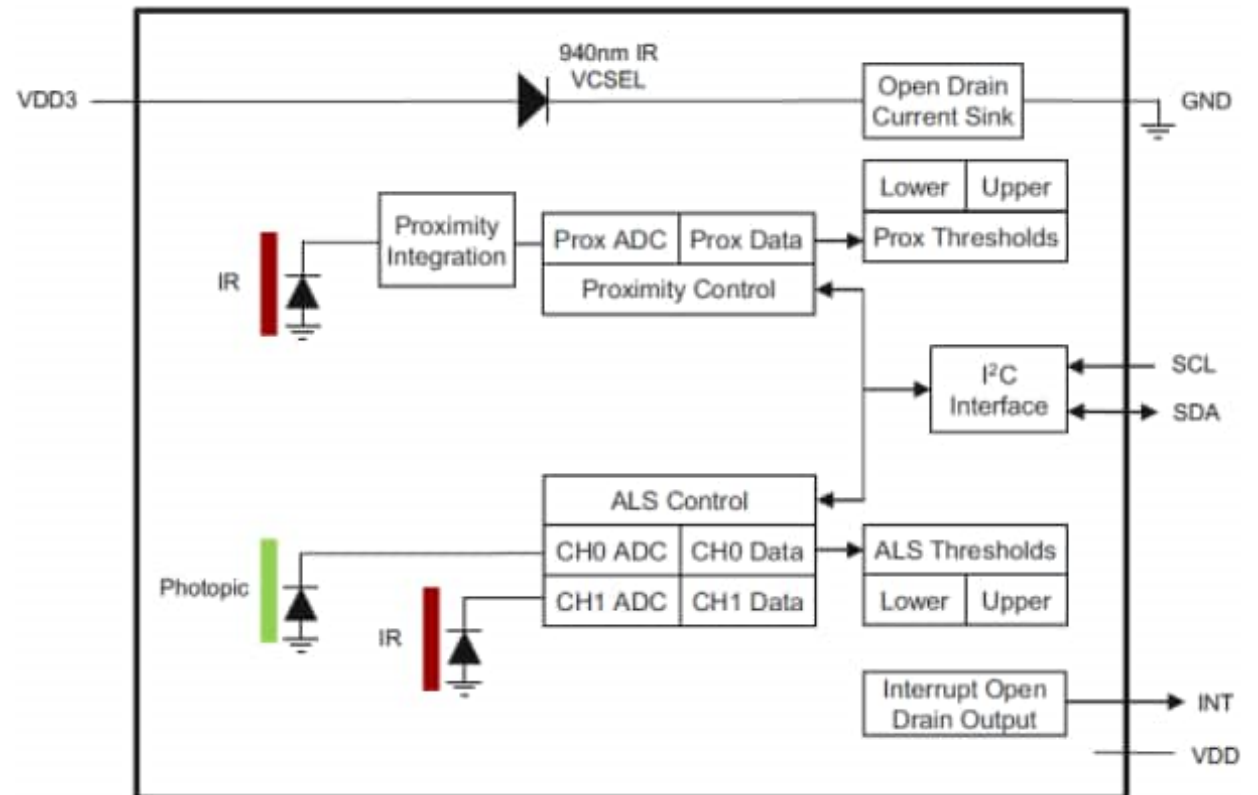
Układ TMD2712 to przykładowa propozycja czujnika zbliżeniowego z funkcją pomiaru natężenia światła otoczenia.

Ten miniaturowy układ ma wymiary 1,0×2,0×0,5 mm.



Układ ten w swojej strukturze zawiera trzy fotodiody z indywidualnymi przetwornikami ADC: jedna z nich jest wyposażona w filtr IR i służy do pomiaru odległości (przy współpracy z 940-nanometrowym laserem VCSEL), zaś dwie pozostałe – z filtrami podczerwieni oraz światła widzialnego odpowiadają za pomiar światła otoczenia.

Do obydwu funkcjonalności użytkownik może przypisać progi (górny i dolny), po przekroczeniu których pojawi się sygnał aktywny na wyjściu INT.



Od prostszych czujników zbliżeniowych już tylko krok do bardziej zaawansowanych interfejsów człowiek-maszyna – coraz większą popularność w nowoczesnych systemach multimedialnych (w tym także motoryzacyjnych), urządzeniach mobilnych, a nawet wielu aplikacjach profesjonalnych zyskują rozmaite czujniki gestów.

Czujniki gestów

Czujniki gestów (2D/3D)

U źródeł optycznej detekcji gestów leży tak naprawdę rejestracja położenia (a raczej – zmian położenia) ręki użytkownika w pobliżu czujnika, dokonywana poprzez porównanie ilości światła odbitego od ręki i powracającego do kilku odpowiednio rozdzielonych przestrzennie fotodetektorów.

Pewną modyfikacją tej metody jest zastosowanie zestawu multipleksowanych nadajników (diod LED), które – rozmieszczone wokół monitorowanego obszaru i włączane kolejno – umożliwiają uzyskanie analogicznych wyników detekcji gestów, jak w przypadku zestawu osobnych fotoelementów.

Dobrym przykładem może być tutaj czujnik APDS-9960. Układ jest wyposażony w osiem fotodiod – cztery przeznaczone do pomiaru natężenia oraz koloru oświetlenia zewnętrznego (fotoelementy z filtrami czerwonym, zielonym i niebieskim oraz czwarty pozbawiony filtrów) oraz cztery kierunkowe (góra/dół/prawo/lewo).

W strukturze znalazł się także impulsowy sterownik oświetlacza (z możliwością przełączenia na zewnętrzną diodę LED) oraz FIFO o rozmiarze 32×4 bajty.

Zasada wykrywania gestów opiera się na porównaniu fazy i amplitudy sygnałów, pochodzących z fotodiod kierunkowych.

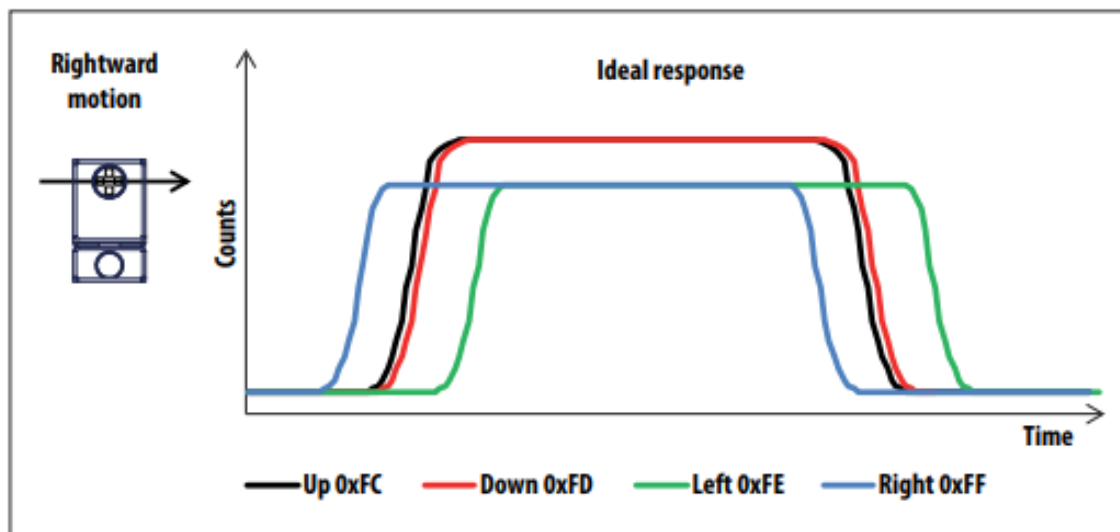
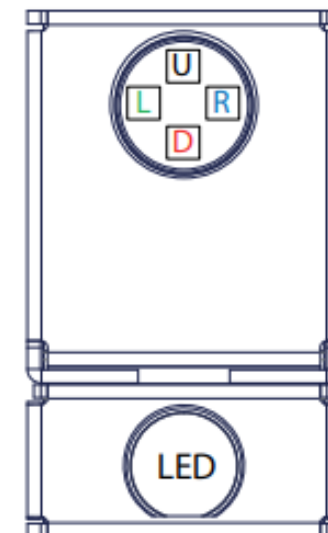
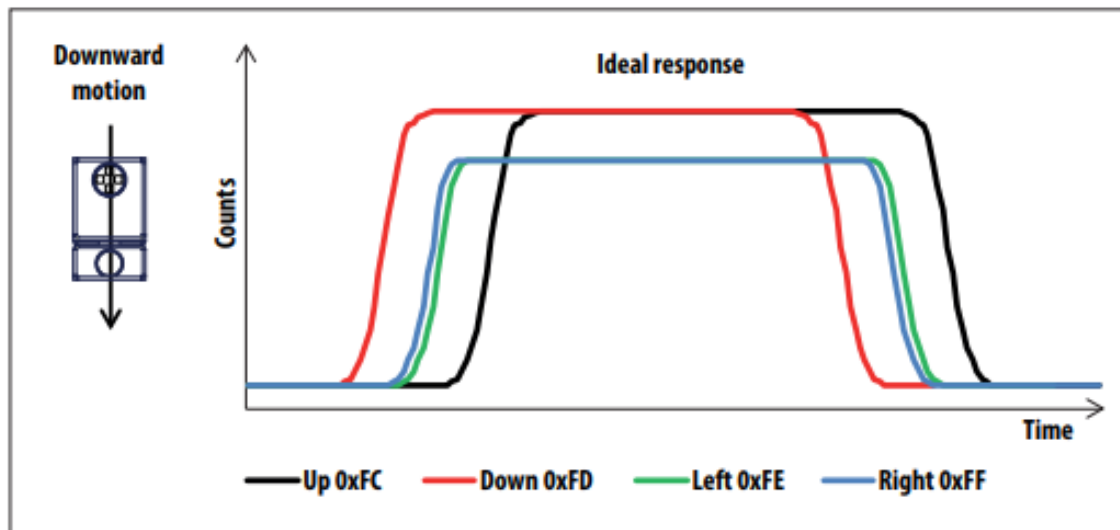


Rysunek na następnym slajdzie pokazuje przebiegi wyjściowe fotoelementów oraz ich fizyczne ułożenie w strukturze czujnika.

Z uwagi na obecność soczewki odwracającej, jako pierwsza reaguje na światło odbite ta fotodioda, w kierunku której użytkownik wykonuje ruch.

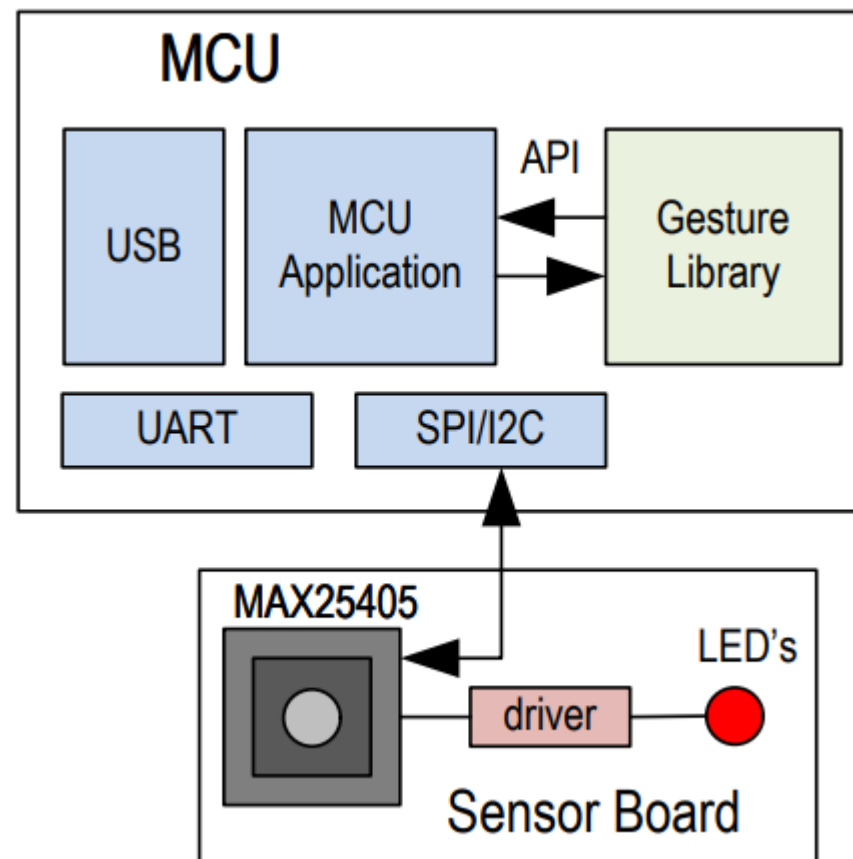
Przykładowo – podczas ruchu z góry na dół najwcześniej odpowiada czujnik umieszczony właśnie na dole, po nim – fotodiody prawa i lewa, zaś na samym końcu – fotodioda górna.

W przypadku ruchu z lewej na prawą stronę najwcześniej reaguje detektor prawy, najpóźniej – lewy.



Większe możliwości – ale kosztem bardziej rozbudowanego oprogramowania zaimplementowanego w nadrzędnym procesorze – daje zastosowanie układów bazujących na niewielkich matrycach (przetwornikach obrazu).

Przykładowo, układ MAX25405 zawiera w swojej strukturze 60-pikselową macierz fotoelementów (ułożonych w prostokącie 6×10 px) oraz zsynchronizowany z nią sterownik zewnętrznego oświetlacza LED.



- Hand swipe gestures (left, right, up, down, wave)
- Air click
- Flicks
- Finger and hand rotation (clockwise and counter clockwise)
- Multizone proximity detection
- Linger to click

Applications

- Central Information Display Control
- Rear-Seat Entertainment Systems
- Door, Moon Roof, and Trunk Control
- Mechanical Switch Replacement
- Occupant Detection



Znacznie prostszą implementację umożliwiają czujniki gestów wyposażone we wbudowany procesor sygnałowy, odpowiedzialny za interpretację obrazu uzyskiwanego z macierzy fotodiod.

Np. układ APDS-9500 zawiera matrycę o rozdzielczości 60×60 pikseli, obsługiwaną przez 9-bitowy przetwornik ADC i zaawansowany procesor DSP, zapewniający komplet gotowych algorytmów ekstrakcji obiektów i rozpoznawania gestów, wykonywanych przez użytkownika w polu obrazowania sensora.



Czujnik ten zawiera interesujące rozwiązanie w postaci podwójnego interfejsu komunikacyjnego czujnika – podczas gdy nastawy oraz odczyty rejestrów są dokonywane za pośrednictwem I²C, to dodatkowa szyna SPI umożliwia odczyt nieprzetworzonych danych z matrycy czujnika w trybie obrazowym (image mode).

Sensor pracuje wówczas jako prosta kamera monochromatyczna.

Description

The APDS-9500 provides an imaging-based gesture recognition function with an I²C-bus interface in a single 18-pin package. It can recognize nine gestures, including move up, move down, move left, move right, move forward, move backward, circle-clockwise, circle-counter-clockwise and wave. This gesture information can be easily accessed via the I²C bus.

The APDS-9500 also provides built-in proximity detection for sensing objects approaching or departing.

Applications

- Gesture Detection
- Cell Phone Touch-Screen Disable
- Mechanical Switch Replacement

Czujniki (oparte na) podczerwieni

Szczególnie dużo komponentów optoelektronicznych pracuje w paśmie promieniowania podczerwonego.



Za wyborem tej właśnie części spektrum fal elektromagnetycznych przemawia szereg czynników – z jednej strony jest ono całkowicie niewidoczne dla człowieka (a zatem sprawdza się np. w zastosowaniach wymagających dyskretnej pracy), z drugiej – znacznie bezpieczniejsze od nadfioletu (UV) przy porównywalnej mocy.

LED IR mają ponadto najniższe napięcie przewodzenia spośród wszystkich rodzajów tego typu elementów, co obniża pobór mocy sensorów aktywnych i świetnie radzą sobie z impulsami prądowymi wielokrotnie przekraczającymi typową wartość prądu przewodzenia.

Produkcja diod bliskiej podczerwieni i kompatybilnych z nimi fotoelementów jest także tania i dopracowana pod względem technologicznym.

Color	Wavelength (nm)	Forward Voltage (V)
White	395 – 530	3.0 – 5.0
Ultraviolet (UV)	< 400	3.1 – 4.4
Violet	400 – 450	2.8 – 4.0
Blue	450 – 500	2.5 – 3.7
Green	500 – 570	1.9 – 4.0
Yellow	570 – 590	2.1 – 2.2
Orange	590 – 610	2.0 – 2.1
Red	610 – 760	1.6 – 2.0
Infrared (IR)	> 760	< 1.9

Zalety te determinują szeroki wachlarz zastosowań elementów IR w różnego rodzaju czujnikach, które – przynajmniej teoretycznie – mogłyby także bazować na diodach i laserach półprzewodnikowych, pracujących np. w paśmie światła czerwonego.

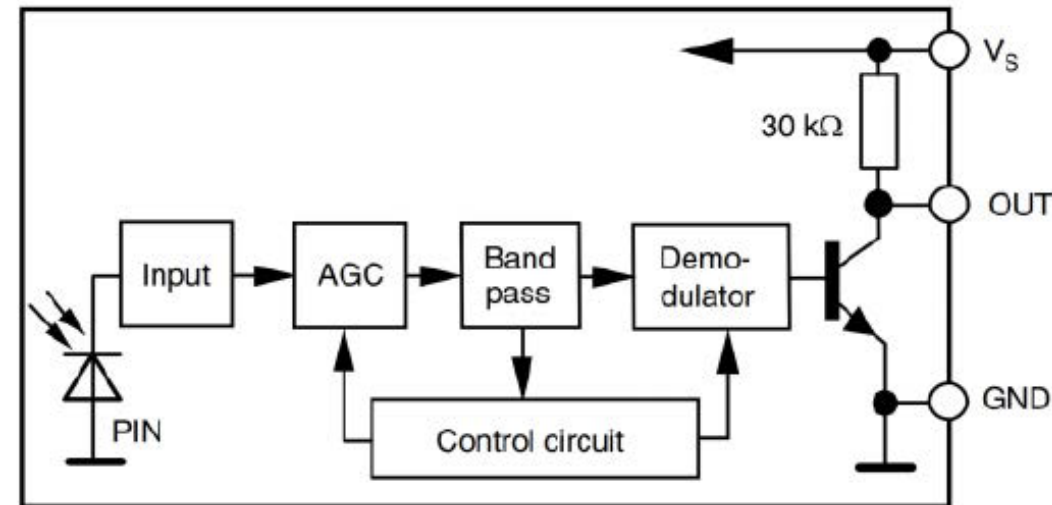
Nie można jednak zapominać, że właśnie w paśmie podczerwieni odbywa się szereg niezwykle ważnych zjawisk fizycznych – dość wspomnieć chociażby o promieniowaniu termicznym, umiejętnie wykorzystywanym do bezdotykowego pomiaru temperatury punktowej lub jej rozkładu na większej powierzchni (termowizja).

Z tego względu istnieje wiele zastosowań, w których podczerwieni po prostu nie da się zastąpić jakimkolwiek innym promieniowaniem.

Odbiorniki i moduły nadawczo-odbiorcze do systemów zdalnego sterowania

Systemy zdalnego sterowania (RC – *Remote Control*) oparte na podczerwieni stosowane są z powodzeniem od kilkudziesięciu lat.

W przypadku komunikacji jednokierunkowej wystarczające są proste odbiorniki, wyposażone we wbudowaną fotodiodeę PIN z obwodami automatycznej regulacji wzmacnienia oraz filtrem pasmowoprzepustowym (o stosunkowo wąskiej charakterystyce częstotliwościowej) i demodulatorem.



Sz szczególnie szeroką ofertę tego typu podzespołów proponuje firma Vishay.

Przykładowo odbiorniki z serii TSOP są dostępne w wersjach czułych na częstotliwość modulacji równą 30 kHz, 33 kHz, 36 kHz, 38 kHz, 40 kHz oraz 56 kHz, a dodatkowo występują w trzech grupach (AGC1, AGC3 oraz AGC5) – poszczególne z nich różnią się poziomem tłumienia zakłóceń.

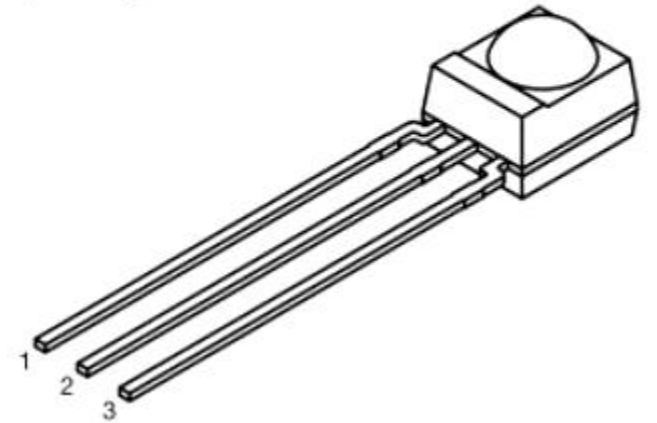
Ponadto producent oferuje każdy z odbiorników w dwóch wersjach, różniących się rozkładem wyprowadzeń.

Pinning for TSOP14...:

1 = OUT, 2 = GND, 3 = V_S

Pinning for TSOP12...:

1 = OUT, 2 = V_S , 3 = GND

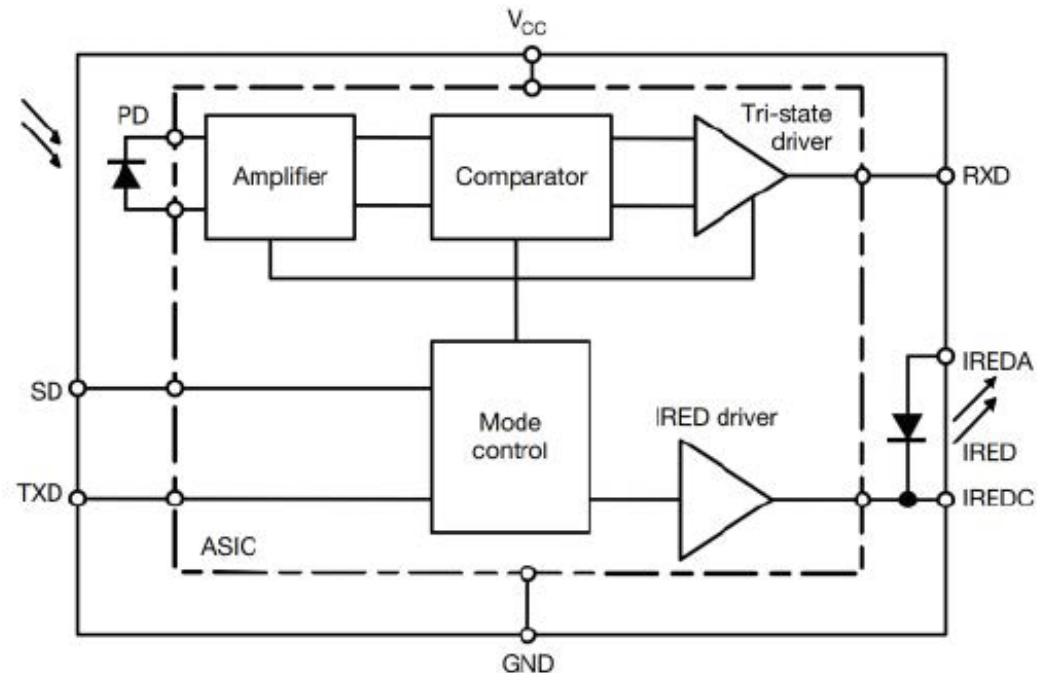


Transceiver IR to zintegrowane urządzenie optoelektroniczne łączące nadajnik i odbiornik służące do dwukierunkowej transmisji danych.

Umożliwia bezprzewodową komunikację na krótkie dystanse, często wykorzystując standard IrDA.

Działają na krótkich dystansach (kilkadziesiąt centymetrów, kilka metrów).

Transceivery IR są często używane do zapewnienia komunikacji bezprzewodowej, gdzie wymagana jest bezpośrednia widoczność między urządzeniami.



Czujniki pirometryczne

Większość pirometrów opartych jest na czujnikach typu termostos (*thermopile*).

Są to w zasadzie szeregowo połączone, mikroskopijne termopary, umieszczone w układzie tworzącym wydzielony obszar detekcji – czuły na promieniowanie, odstępiony dla okna optycznego znajdującego się w obudowie i zawierający „gorące” końce poszczególnych termopar – oraz obszar okalający, możliwie najlepiej odizolowany od pola detekcji i obejmujący zimne końce termoelementów.



Nowoczesne czujniki tego typu są coraz częściej produkowane jako MEMS.

Dzięki temu możliwa jest redukcja wymiarów oraz integracja układu elektronicznego, odpowiedzialnego za wzmacnianie i przetwarzanie sygnału z termopar (kompensacja temperatury otoczenia, kalibracja, obsługa przerwań z „watchdoga termicznego” itp.), a wreszcie – komunikację z zewnętrznymi urządzeniami (zwykle za pośrednictwem I²C).



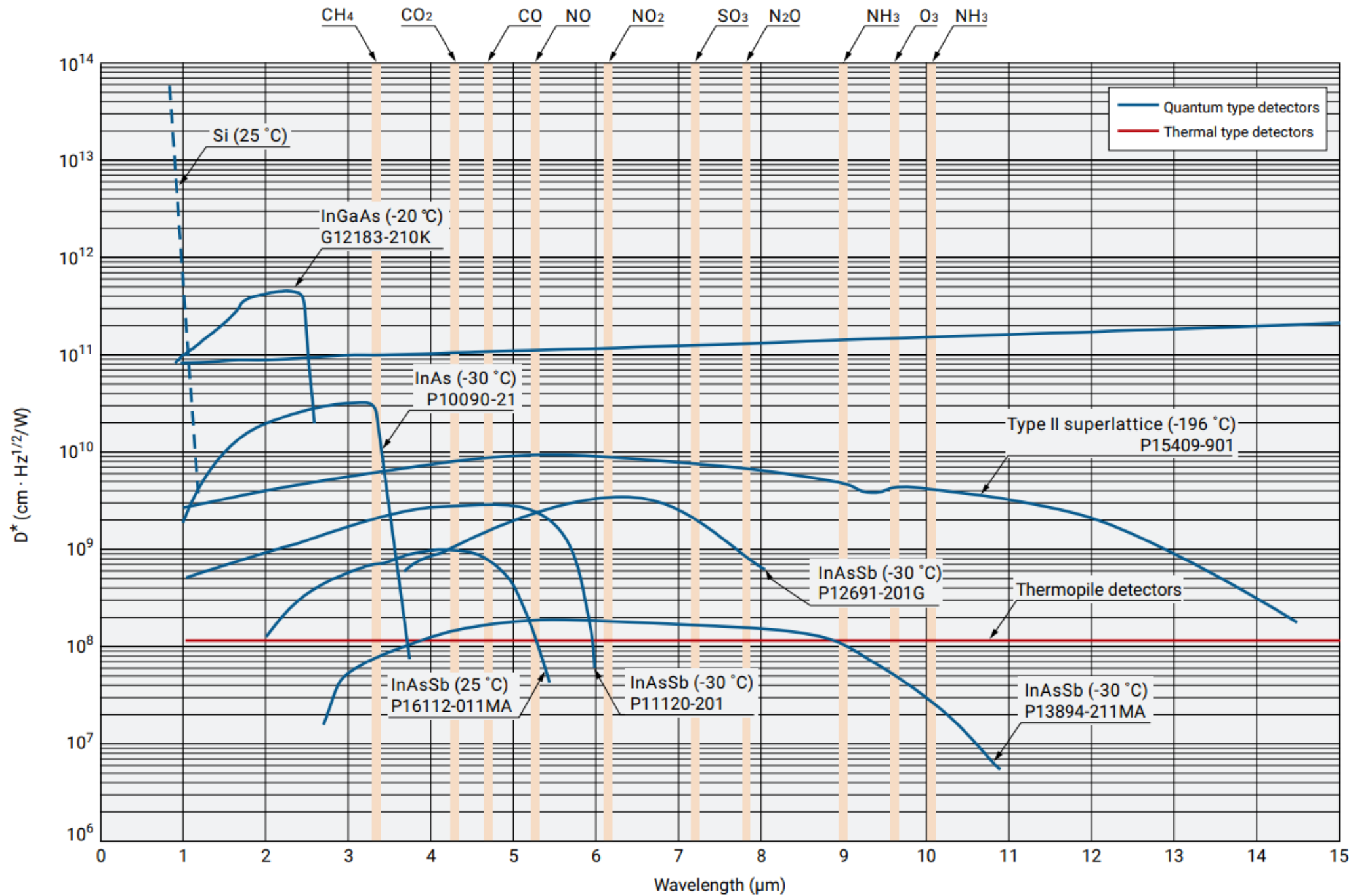
Termostos reaguje na promieniowanie docierające do detektora, więc nie trzeba czekać, aż czujnik kontaktowy fizycznie ogrzeje się od badanego obiektu.

Dzięki temu można szybko wykrywać zmiany temperatury powierzchni.

Wykorzystanie termostosu ma szereg zalet – sygnał podawany na wbudowany front-end czujnika jest już wstępnie wzmacniony (poprzez proste sumowanie napięć generowanych przez poszczególne termopary), co upraszcza konstrukcję układu i poprawia stosunek sygnał-szum.

Co również ważne, przestrzenne rozłożenie gorących końców termopar pozwala uzyskać efekt uśredniania promieniowania, padającego na całą powierzchnię aktywnej detektora.

Detektory te oferują też niezwykle szeroki zakres wykrywanego widma, a sama konstrukcja czujnika pirometrycznego na bazie termostosu nie wykazuje zależności czułości od długości fali padającego promieniowania (innymi słowy – ma płaską charakterystykę czułości widmowej).



Z wykresu tego wynika jednocześnie „wada” tego rozwiązania – jak widać czujniki termostosowe są mniej czułe niż pokazane na tym samym wykresie detektory fotonowe podczerwieni.

Porównanie innych cech:

Detector	Sensitivity	Wavelength dependence	Time response characteristics	Cooling	Cost benefit
Quantum type detectors	☆☆☆	Yes	☆☆☆☆	Cooled (partially not required)	☆☆
Thermal type detectors	☆☆	None	☆	Non-cooled	☆☆☆

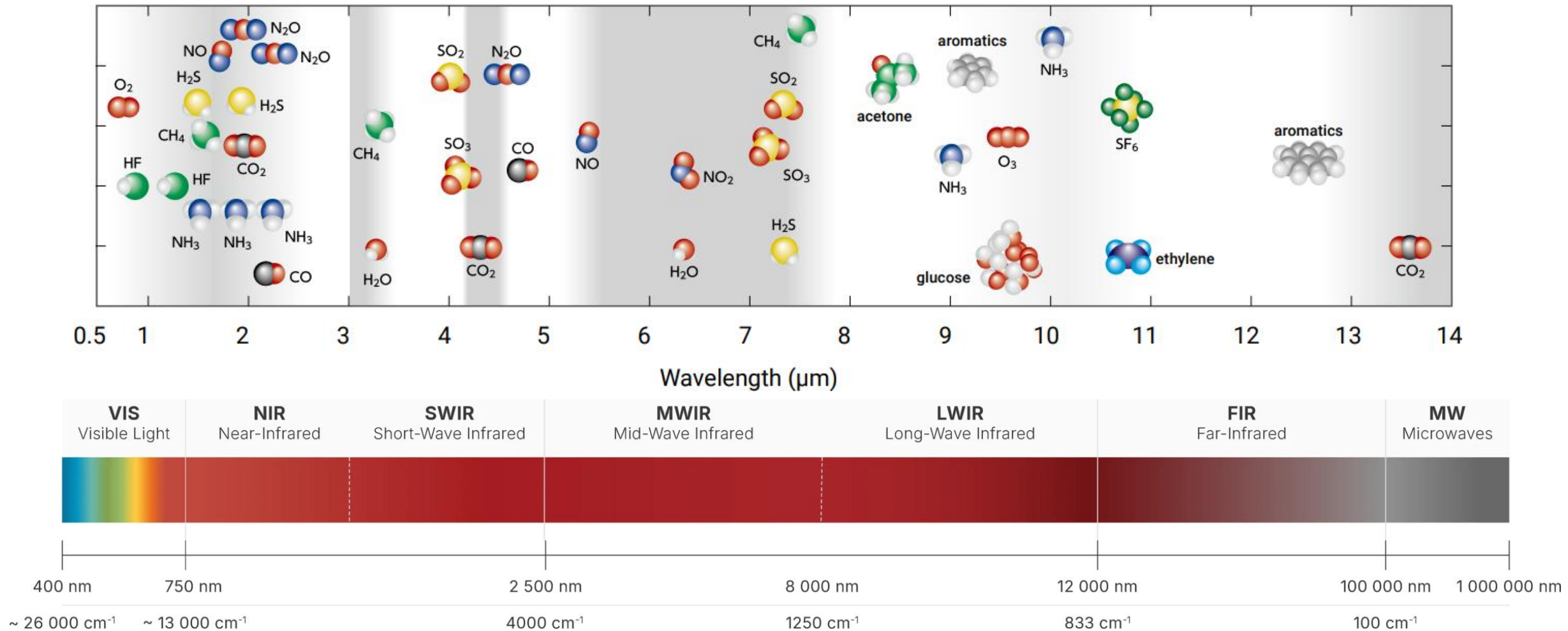


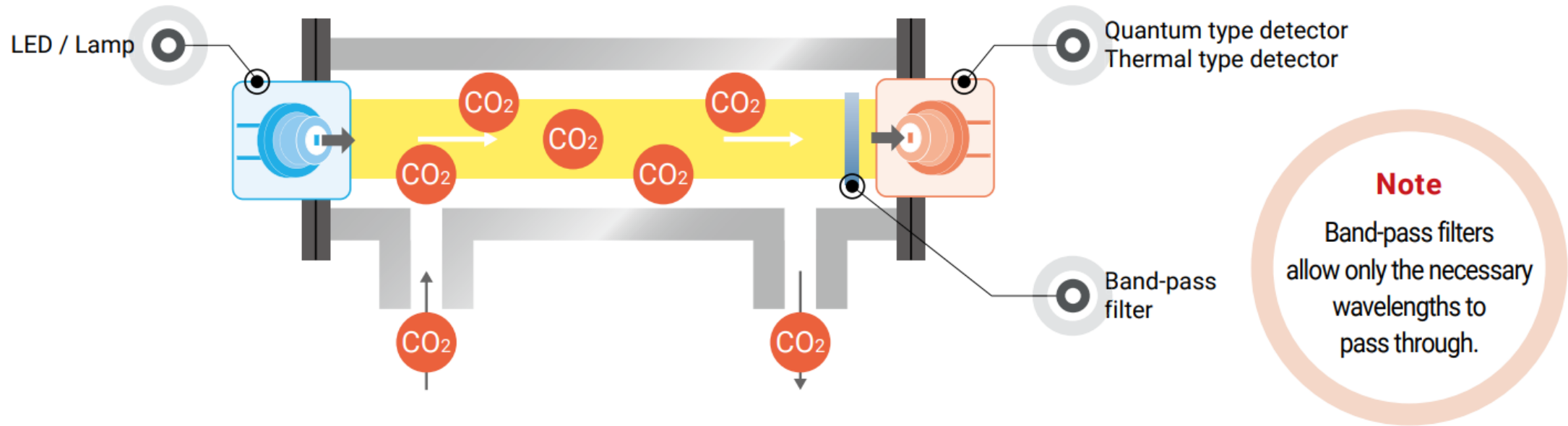
Product Specifications

The Quantum Cascade Photodetector is an ultrafast mid-infrared photodetector with a 20 GHz response bandwidth. It is ideal for high-frequency, high-time-resolved measurements like heterodyne detection in the mid-infrared region. It features a peak sensitive wavelength of 4.65 μm and typical photosensitivity of 1 mA/W, requiring no cooling or operation bias.

Product Code	P16309-01	Clear Aperture	4.5 mm
Wavelength Range	4650 nm (Peak Sensitivity)	Detection Wavelength Region	Mid IR
Detector Bandwidth	20 GHz (Typical)	Noise Equivalent Power	3×10^{-10} W/Hz ^{1/2} (Typical)
Package	SMA	Peak Response Wavelength	4650 nm (Typical)
Photosensitivity	1 mA/W (Typical)	Specific Detectivity	1.5×10^9 cmHz ^{1/2} /W (Typical)

Oba typy czujników poza pomiarami temperatury świetnie sprawdzają się w szybkich, dokładnych pomiarach stężeń gazów, urządzeniach do pomiaru stężenia gazów, wykorzystując specyficzne właściwości ich widm absorpcyjnych:

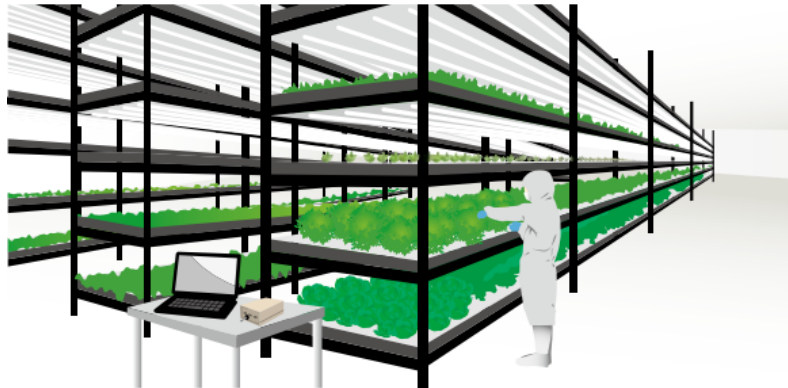




■ Applications

CO₂ measurement in hydroponics farms

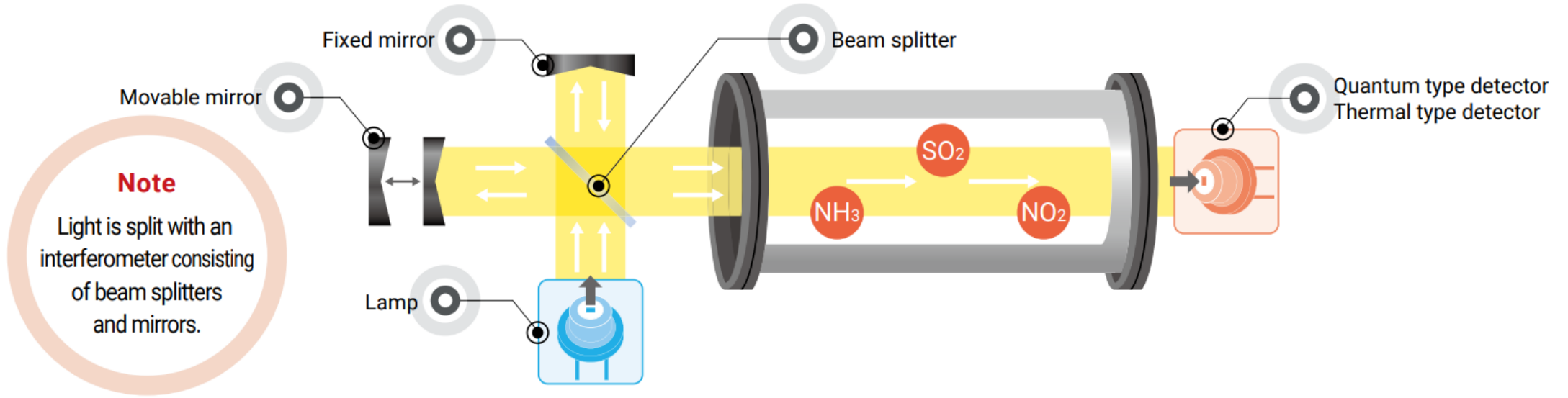
Measuring CO₂ concentration required for photosynthesis.



Portable gas sensor

Gas leak detection at factories and other work sites.





■ Applications

Vehicle exhaust gas test

Concentration analysis of complex gas in vehicle exhaust gas.

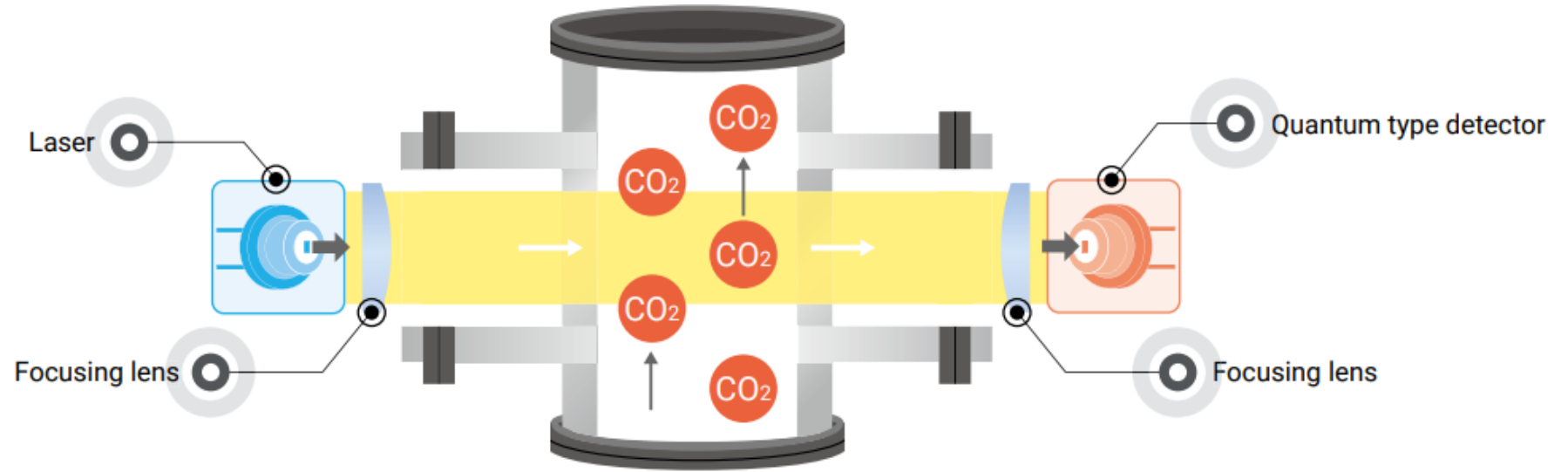


Flue gas monitor

Analysis of complex gases emitted from factories and the like.



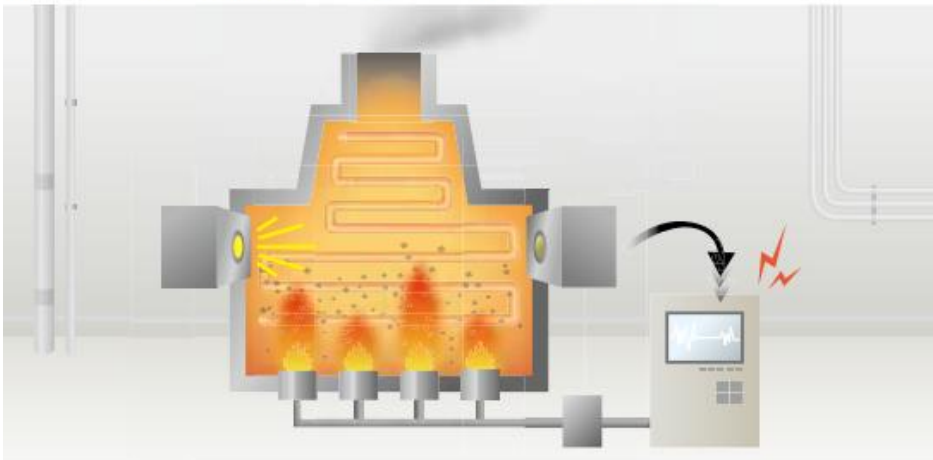
Note
Uses a single specific wavelength according to the target gas.



■ Applications

Industrial process control

Process control with real-time measurement of industrial gas.

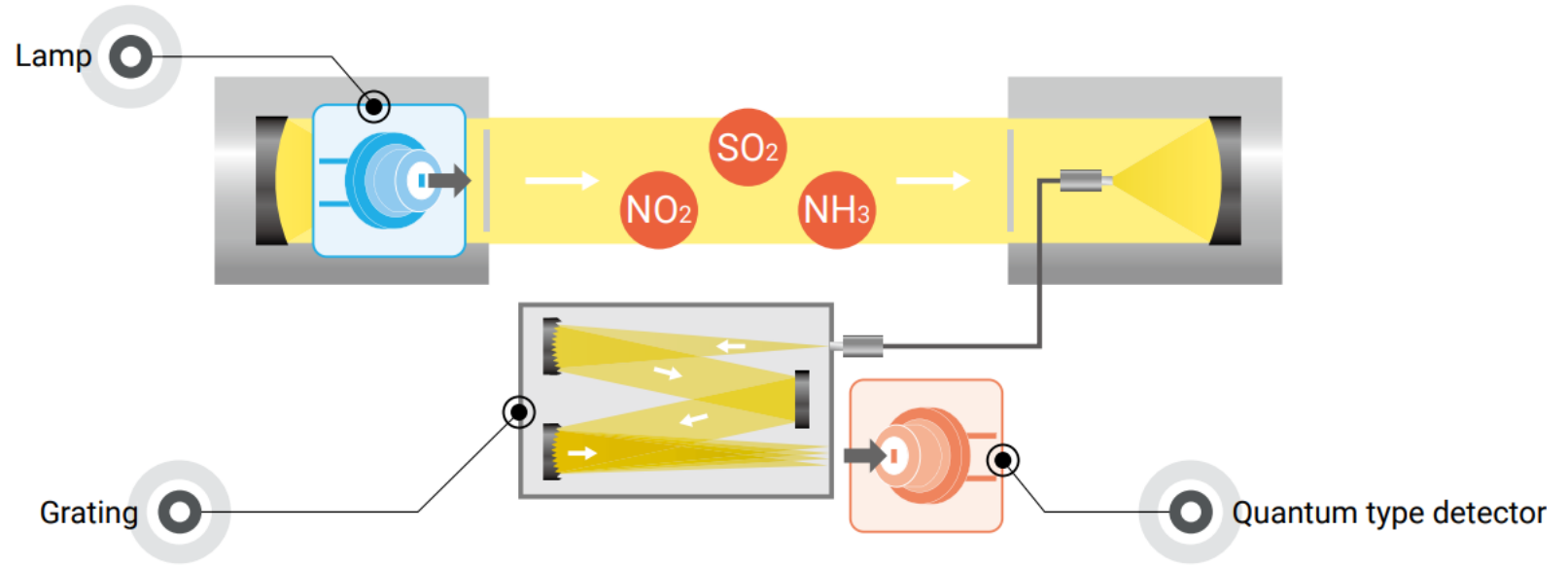


Flue gas monitor

Analysis of SOx and NOx in gases emitted from factories and the like.



Note
Broad light is split by grating.



■ Applications

Vehicle exhaust gas measurement

Real-time monitoring of vehicle exhaust gas



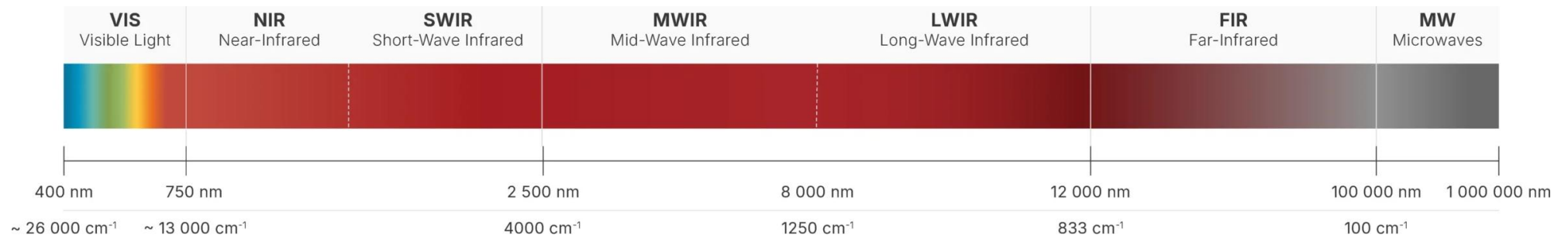
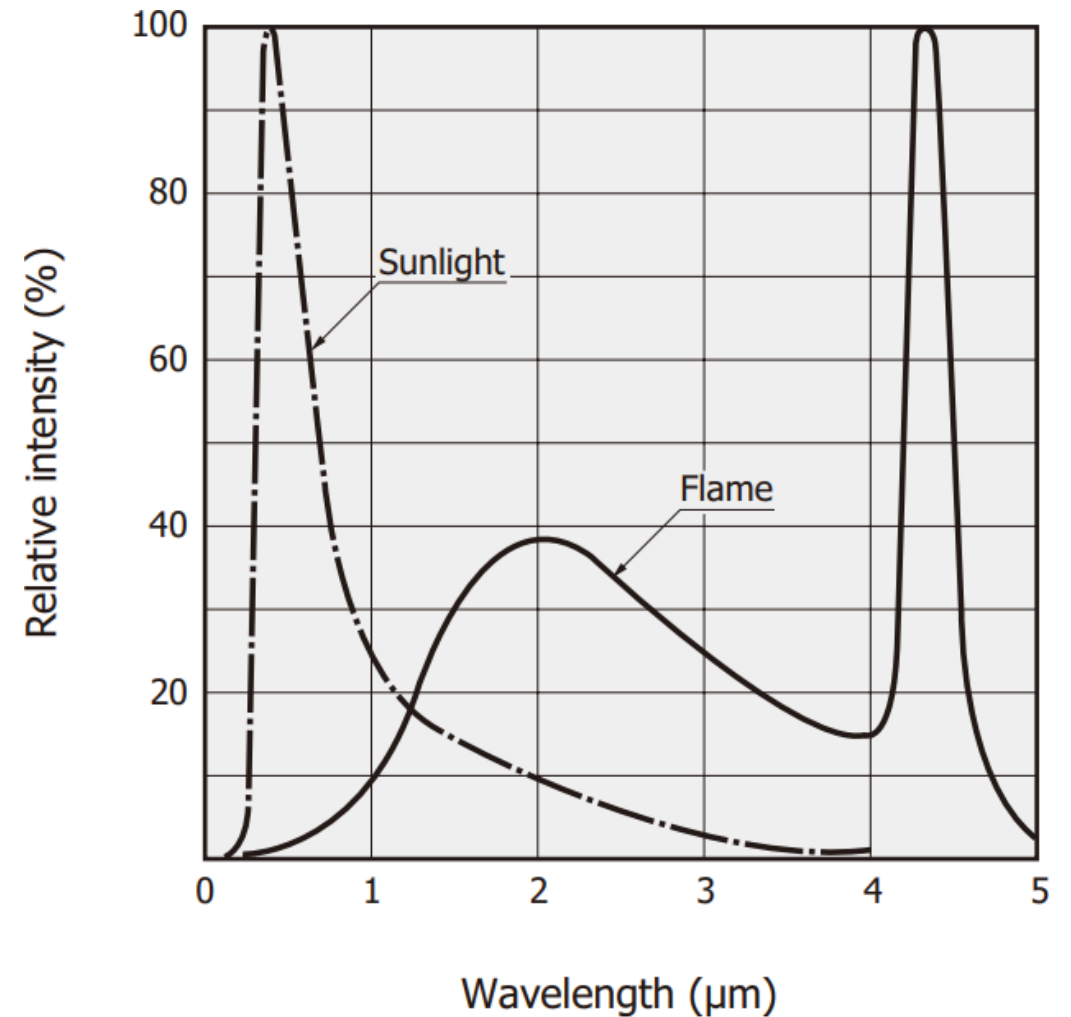
Air quality monitoring

Analysis of pollutant gases in the atmosphere



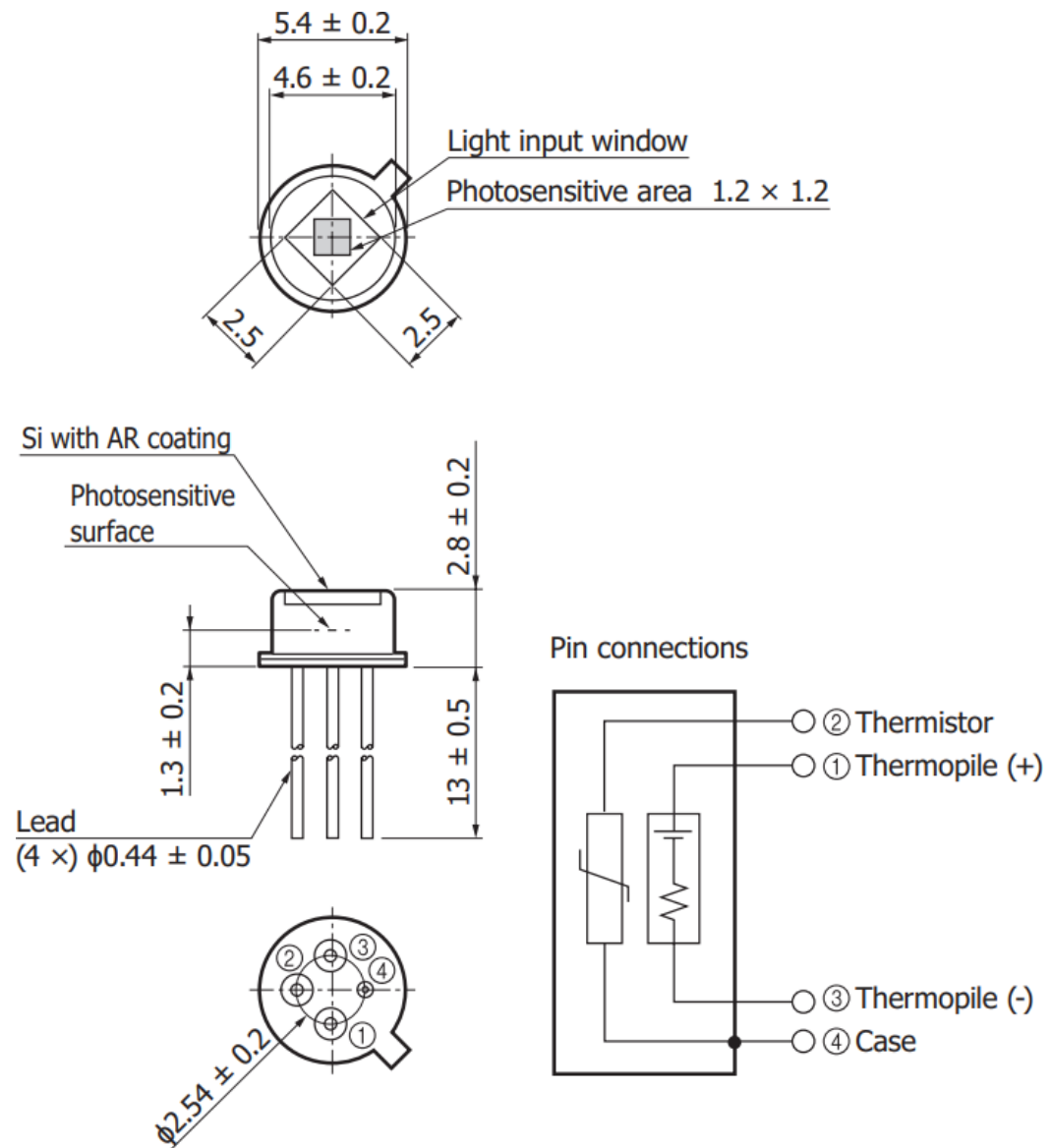
Znajomość widm emisji oraz absorpcji poszczególnych zjawisk lub obiektów pozwala na stosowanie czujników IR (głównie termicznych) w wielu innych aplikacjach.

Przykładowo – termiczne detektory płomieni korzystają z faktu, iż ogień wiąże się z emisją fal szczególnie silnych w zakresie piku 4,45 μm .



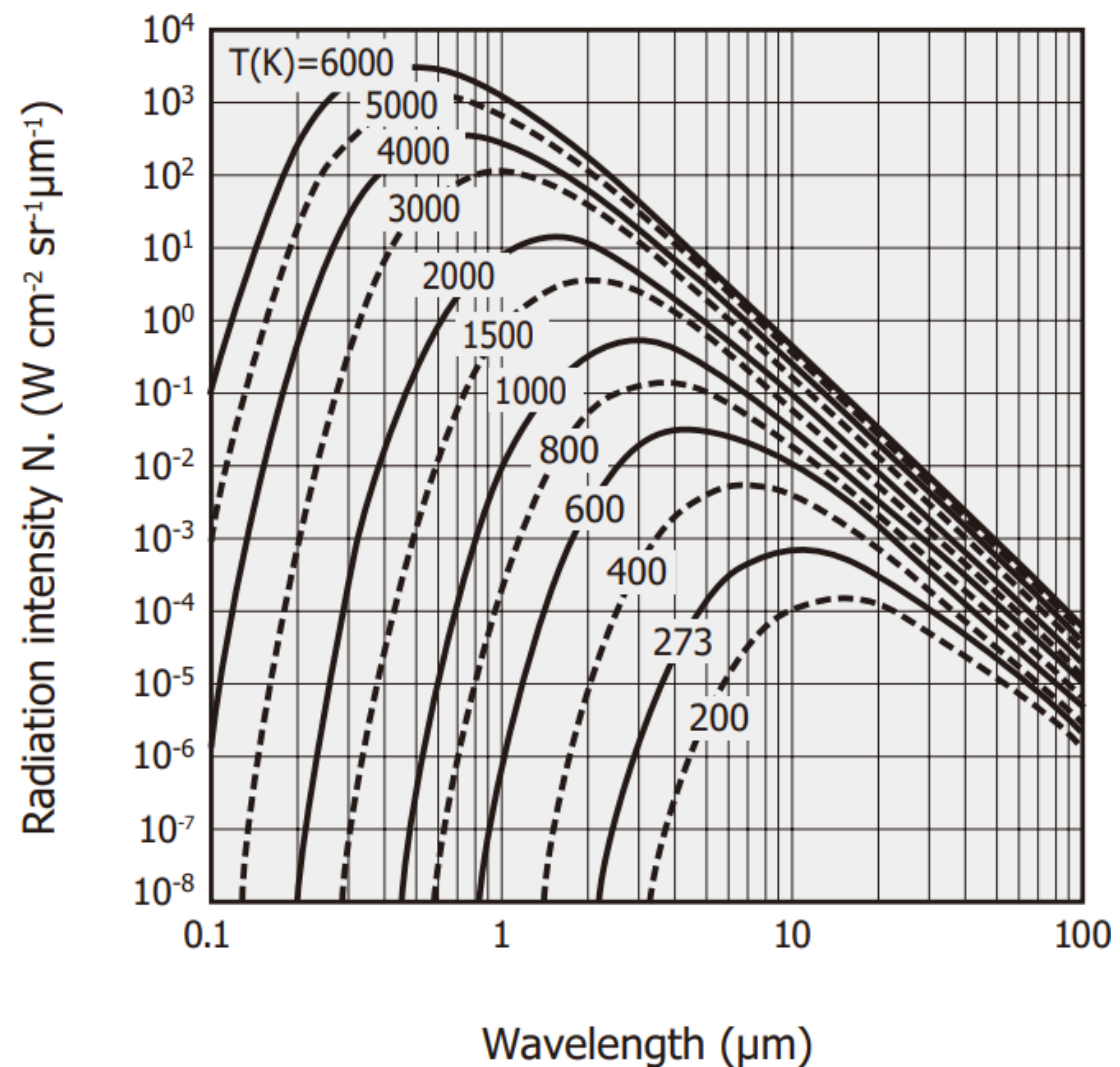
Różnicowy charakter pomiarów dokonywanych za pomocą termopary wymusza dokładne określenie temperatury zimnych końców (utożsamianej z temperaturą otoczenia czujnika).

Z tego względu zdecydowana większość sensorów pirometrycznych ma fabrycznie wbudowane termistory, umożliwiające pomiar warunków panujących wewnątrz obudowy pirometru, a co za tym idzie – określenie bezwzględnej temperatury zdalnie mierzonego obiektu.



Innym problemem czujników pirometrycznych jest wpływ emisyjności powierzchni na wynik pomiaru. Zgodnie z prawem Plancka **ciało doskonale czarne** emituje promieniowanie o intensywności zależnej od temperatury i długości fali.

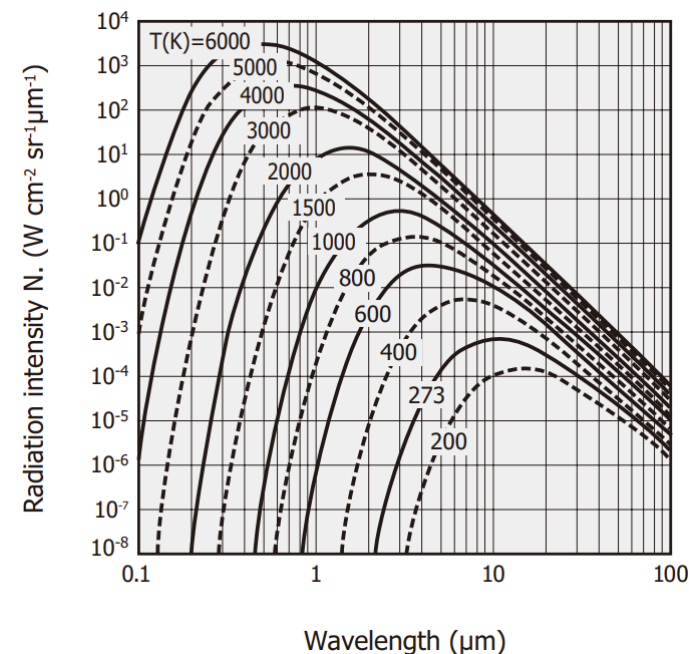
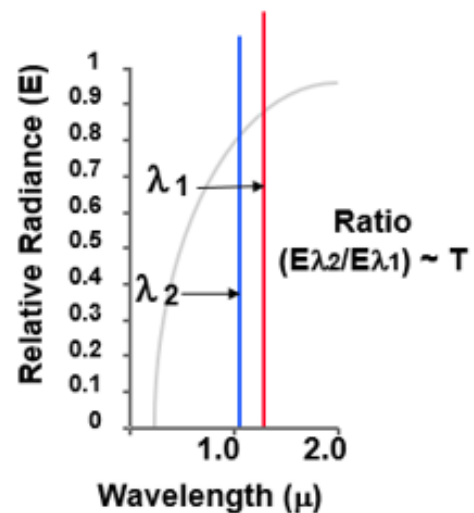
W praktyce jednak niezwykle rzadko zdarza się, by mierzony obiekt mógł choć w przybliżeniu być potraktowany jako ciało doskonale czarne – w rzeczywistości emisyjność różnych powierzchni jest znacznie niższa.



W najprostszyc termometrach na podczerwień emisyjność jest ustawiona fabrycznie na wartość domyślną równą 0.95, zaś w modelach nieco bardziej zaawansowanych producenci umożliwiają użytkownikowi ręczne ustawienie poziomu emisyjności, co pozwala na wprowadzenie programowej korekty wyniku pomiaru temperatury.

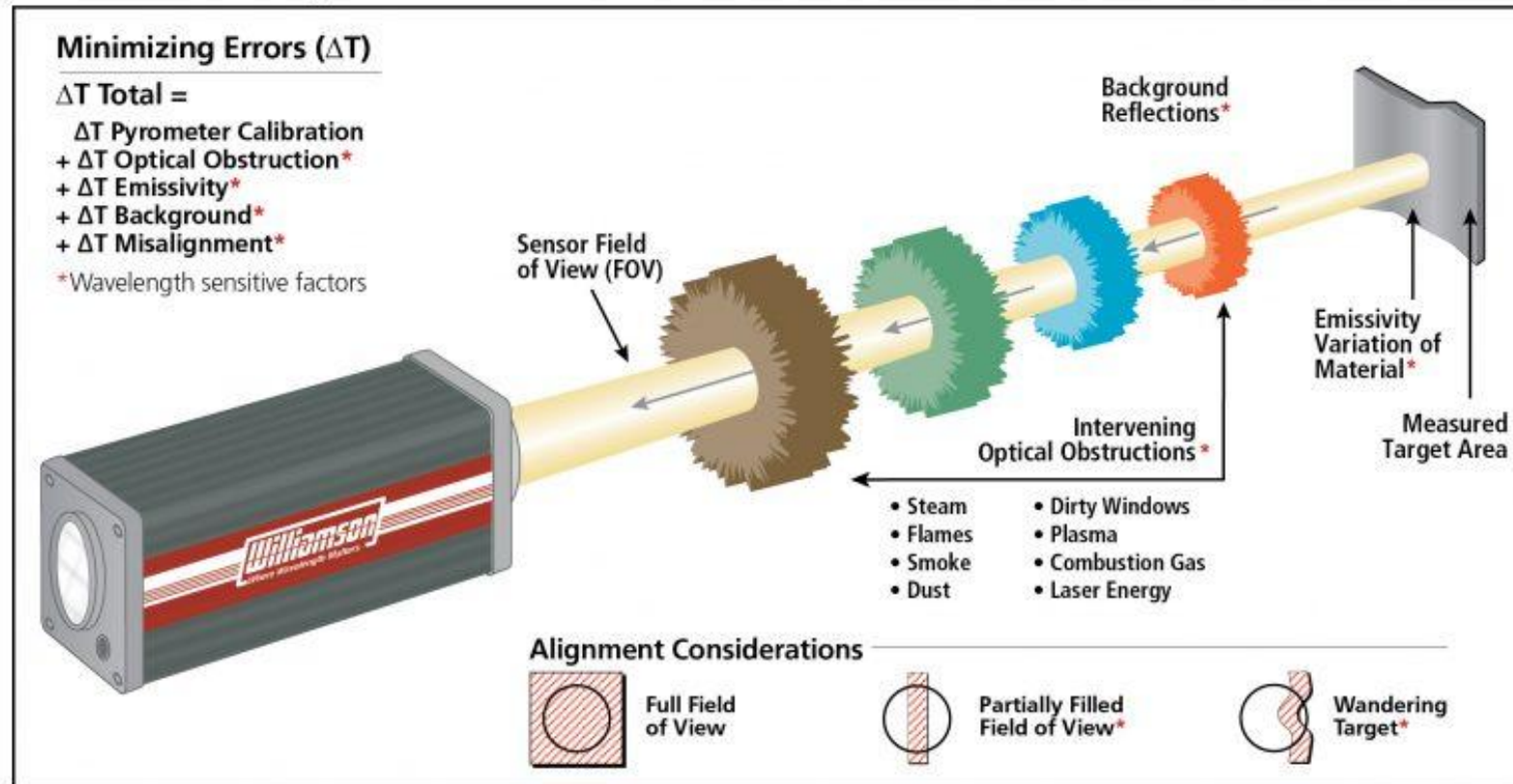


Profesjonalne termometry bezdotykowe mogą też korzystać z dwóch czujników o zróżnicowanych pikach czułości widmowej. Takie rozwiązanie (*ratio pyrometer*) opiera się nie na pomiarze wprost intensywności promieniowania w danym paśmie, ale na stosunku odczytów wykonanych dla dwóch różnych długości fali – nie jest zatem podatne na rozmaite zakłócenia, w tym parę, dym, czy też większe zanieczyszczenia stałe, obecne w przestrzeni pomiędzy mierzoną powierzchnią a optyką czujnika.



Najwyższą klasą pirometrów są czujniki typu *multi wavelength*:

Common Causes of Pyrometer Measurement Errors



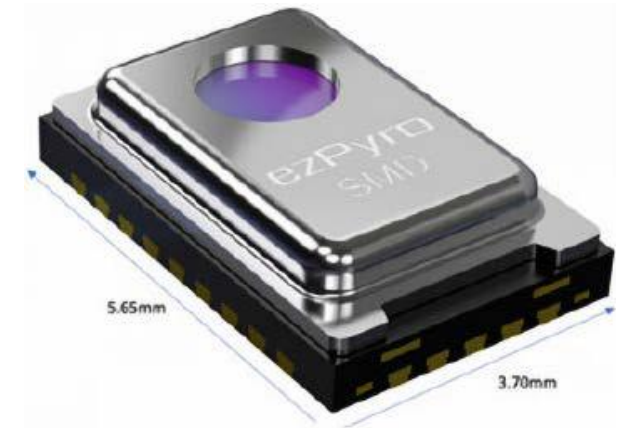
Kolejną obszerną grupą elementów pracujących w pasmie podczerwieni są **czujniki PIR** (piroelektryczne, *Passive InfraRed*).

Ich działanie opiera się na efekcie piroelektrycznym, który można wyobrazić sobie jako termiczny analog efektu piezoelektrycznego – w tym przypadku bowiem sygnał elektryczny powstaje w wyniku **zmian** temperatury materiału (zwykle odpowiedniego kryształu).

Nie jest zatem konieczne istnienie gradientu temperatury (co ma miejsce w przypadku zjawiska Seebecka, wykorzystywanego w termoparach), ważne jest jedynie, by temperatura zmieniała się w czasie.

Z tego też względu czujniki piroelektryczne nie nadają się do pomiaru temperatury czy też np. detekcji statycznej obecności obiektów (np. ludzi) w monitorowanych przestrzeniach.

Doskonale sprawdzają się natomiast w czujnikach ruchu, stosowanych w systemach alarmowych, automatycznych włącznikach światła, itp.



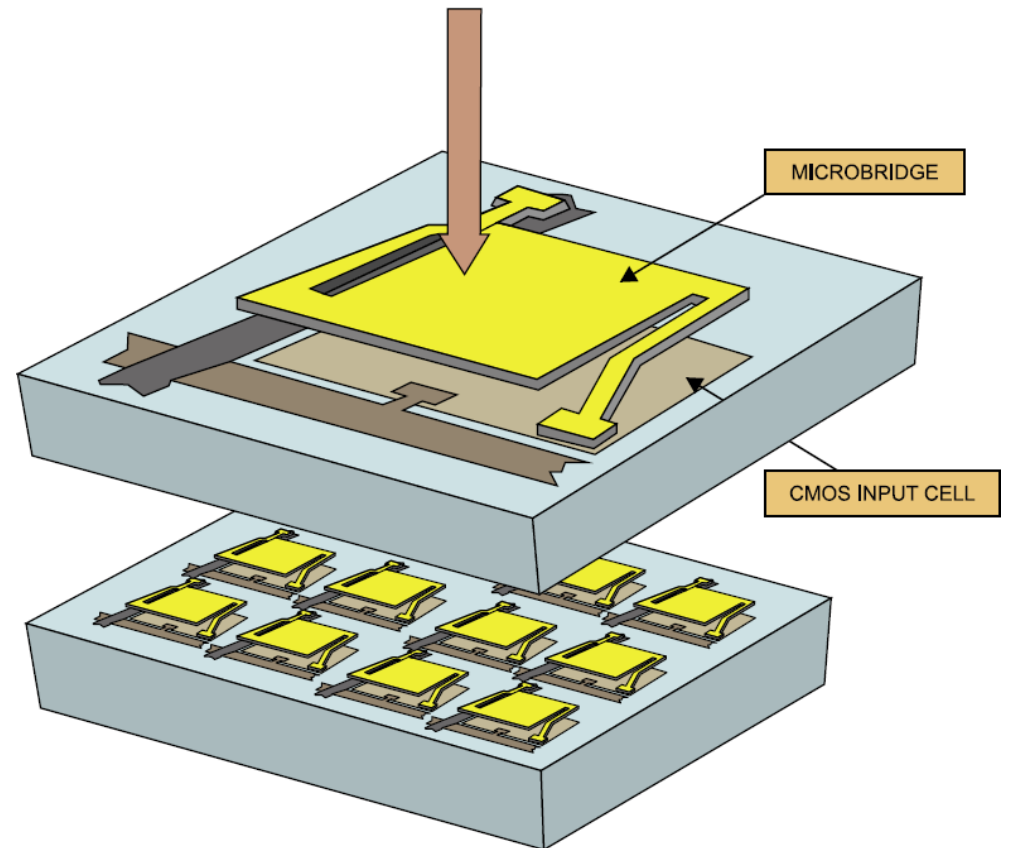
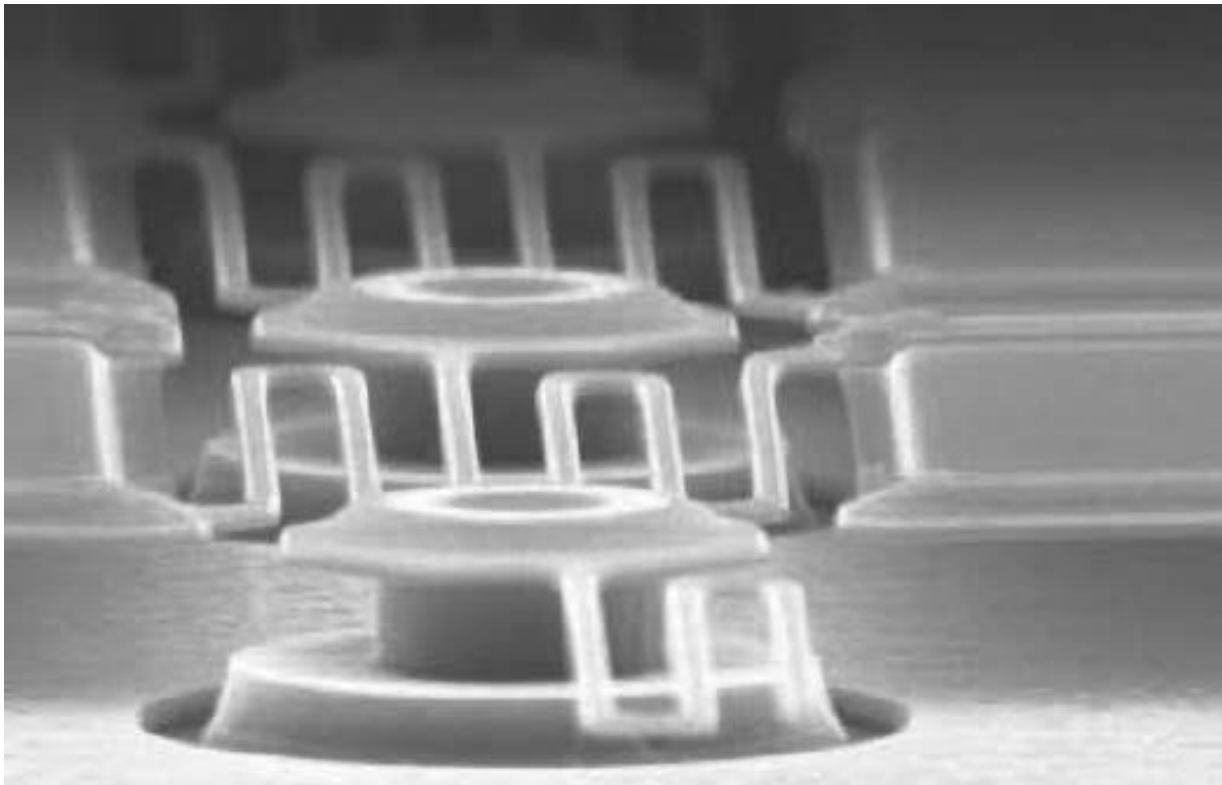
Na koniec zdecydowanie najbardziej zaawansowane i kosztowne spośród rozwiązań czujnikowych, przeznaczonych do pracy w paśmie podczerwieni.

Mowa oczywiście o kamerach termowizyjnych.

Obecnie kluczowe są technologie bazujące na tlenkach wanadu (VO_x) i antymonku indu (InSb).

Materiały te są wykorzystywane do wytwarzania tzw. mikrobolometrów – struktur planarnych w technologii MEMS, pełniących funkcję czułych na promieniowanie podczerwone termorezystorów.

Cienkie płytki Vox/InSb , naniesione na cienką membranę, są niejako zawieszane w przestrzeni, tuż nad powierzchnią monolitycznych układów odczytujących (wykonanych już w technologii CMOS) i wsparte na cienkich wążach, zapewniających, zapewniających maksymalną możliwą izolację cieplną od podłoża.

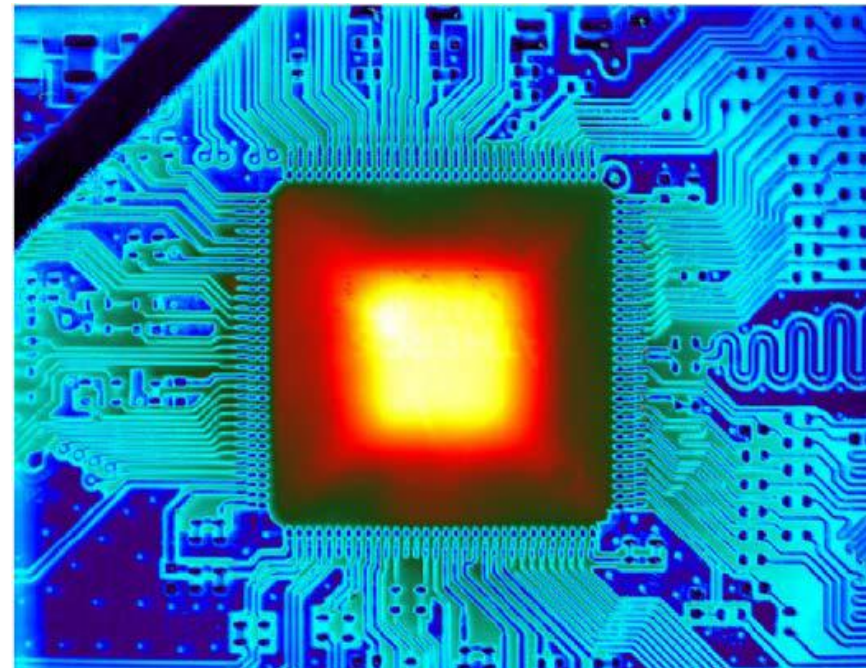


Co ważne, nowoczesne matryce, w przeciwieństwie do kamer termowizyjnych starego typu, nie wymagają chłodzenia, mogą być zatem wykonywane w wersjach subminiaturowych modułów o wielkości konwencjonalnej kamery współczesnego smartfona.

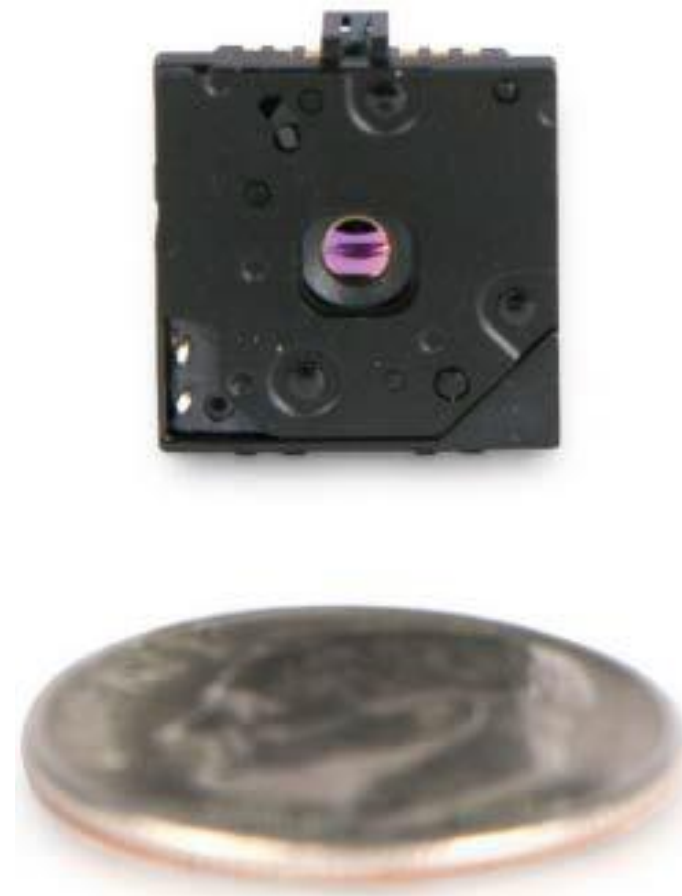
Technologia matryc MEMS zdecydowanie nie należy jednak do najprostszych, a miniaturyzacja generuje nowe problemy – dość powiedzieć, że w niewielkiej komorze, w której umieszczona jest macierz mikrobolometrów, panują warunki próżniowe, mającej na celu zapewnienie możliwie najlepszej izolacji pomiędzy detektorami a ich otoczeniem.

Jeśli chodzi o parametry...

Podczas gdy konwencjonalne kamery termowizyjne nie przekraczają zwykle rozdzielczości rzędu 320×240 px czy 640×480 px, to najnowocześniejsze modele mają już przetworniki obrazowe o rozdzielczości przeszło czterokrotnie większej (1280×1024 px, czyli 1,2 MPx), przy bardzo wysokiej szybkości akwizycji (do 181 fps).



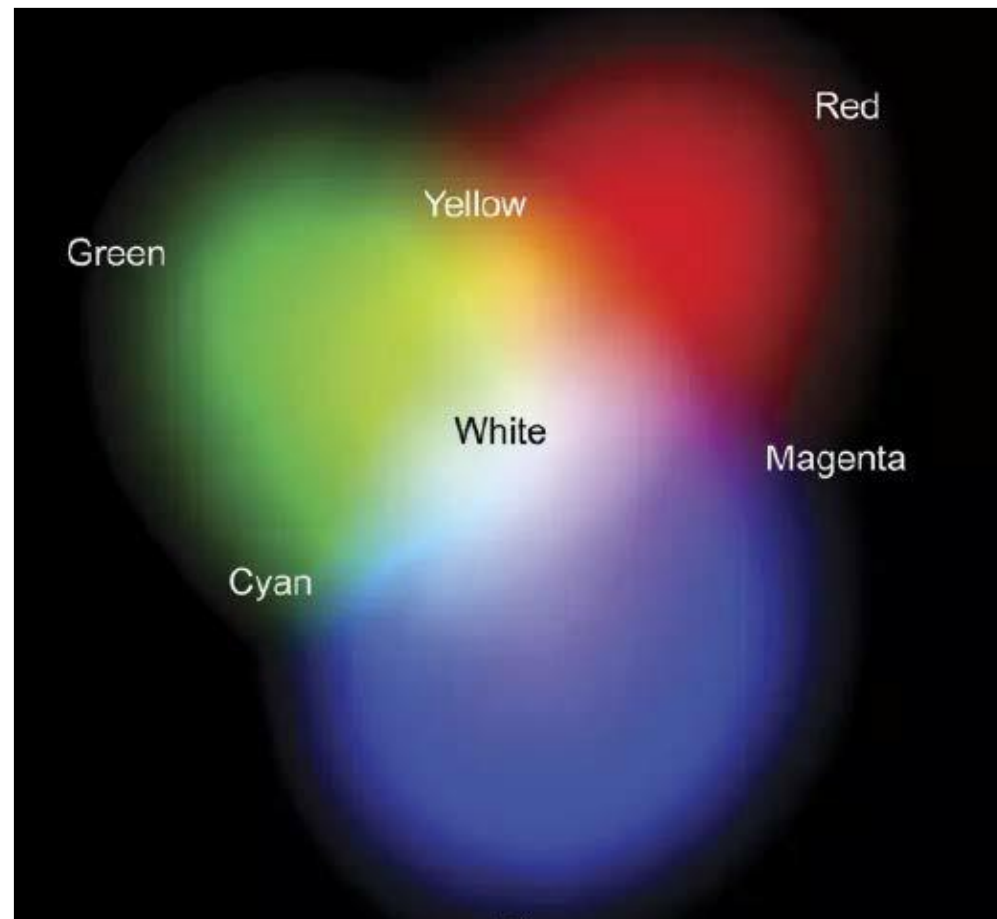
Z drugiej strony mamy kamery modułowe, np. Flir Lepton. Kamera ta ma wymiary 10,50×12,7×7,14 mm i oferuje rozdzielczość 160×120 px przy czułości na poziomie 50 mK i prędkością do 9 fps.



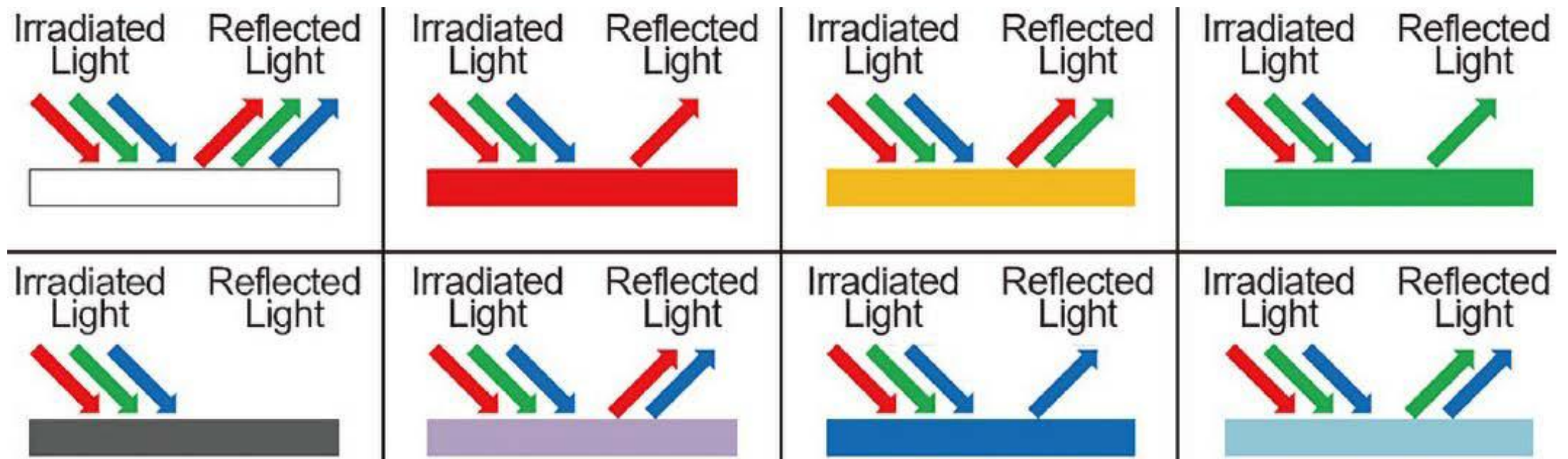
Czujniki koloru

Rozpatrując widzenie barwne, które u człowieka bazuje na trzech rodzajach barwników, pełniących rolę naturalnych filtrów dla komórek wzrokowych, nie zastanawiamy się zwykle nad tym, że odbierany przez nas obraz świata jest de facto oszustwem;)

Jak wiadomo, barwy podstawowe ulegają mieszaniu, dzięki czemu – przykładowo – oświetlenie receptorów wzrokowych jednocześnie światłem czerwonym i zielonym daje wrażenie, że obserwujemy światło żółte. Mózg ludzki nie jest zatem w stanie odróżnić, czy rejestrowane światło jest efektem złudzenia optycznego, czy też faktycznie stanowi monochromatyczną falę o danej długości.



Jeżeli technicznie realizowany pomiar koloru ma znaczenie dla „ludzkich zastosowań” (np. w celu dobrania koloru farby lub lakieru), to rzeczywisty skład widmowy światła nie ma większego znaczenia – z tego też względu do aplikacji typowo użytkowych w zupełności wystarczające są czujniki koloru, zdolne do rozróżniania trzech barw podstawowych – czerwieni, zieleni i niebieskiego.



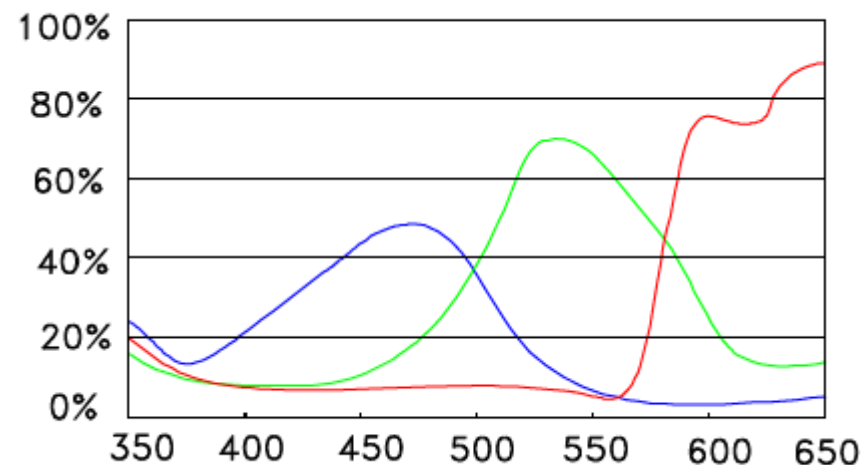
Z zupełnie inną sytuacją mamy jednak do czynienia, jeżeli dane dotyczące składu widmowego światła mają stanowić podstawę dla bardziej zaawansowanych technik pomiarowych, np. analizy składu chemicznego czy też pomiaru stężeń substancji w próbkach roztworów za pomocą spektrofotometru.

W tym przypadku trzy dość szerokie przedziały widma optycznego to zdecydowanie za mało – konieczne jest podzielenie spektrum na węższe pasma i pomiar natężenia światła w każdym z nich z osobna.

Bodaj najprostszą możliwą realizację czujnika koloru oferuje np. firma Kingbright.

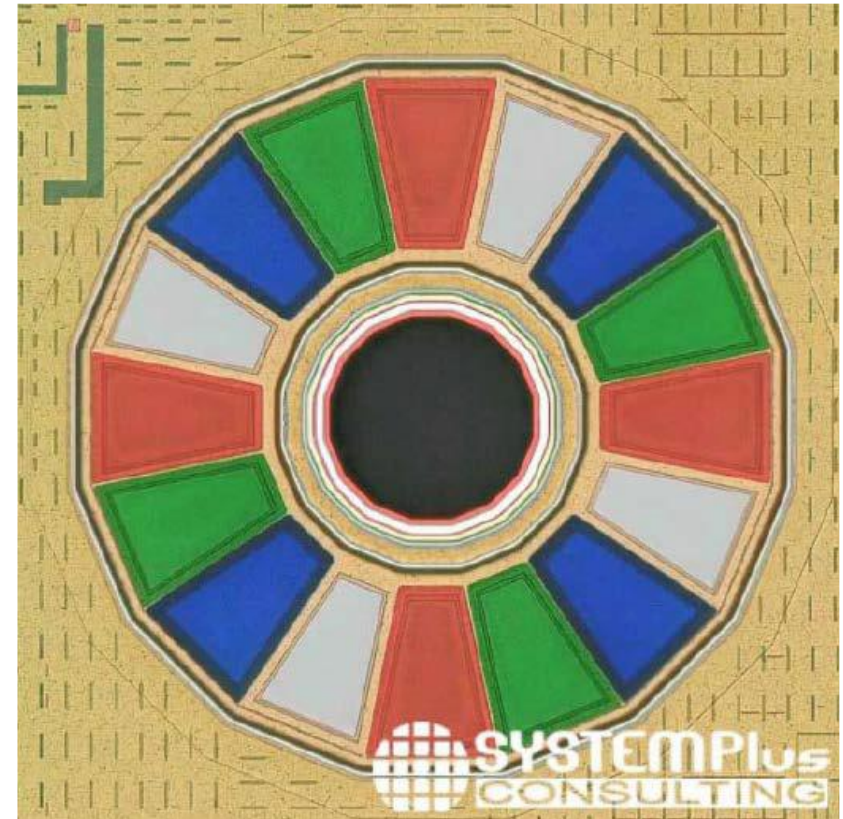
Sensor KPS-5130PD7C składa się z 3-sekcyjnej fotodiody, wyposażonej w filtry optyczne RGB.

Tego typu elementy dają znaczną elastyczność projektową.

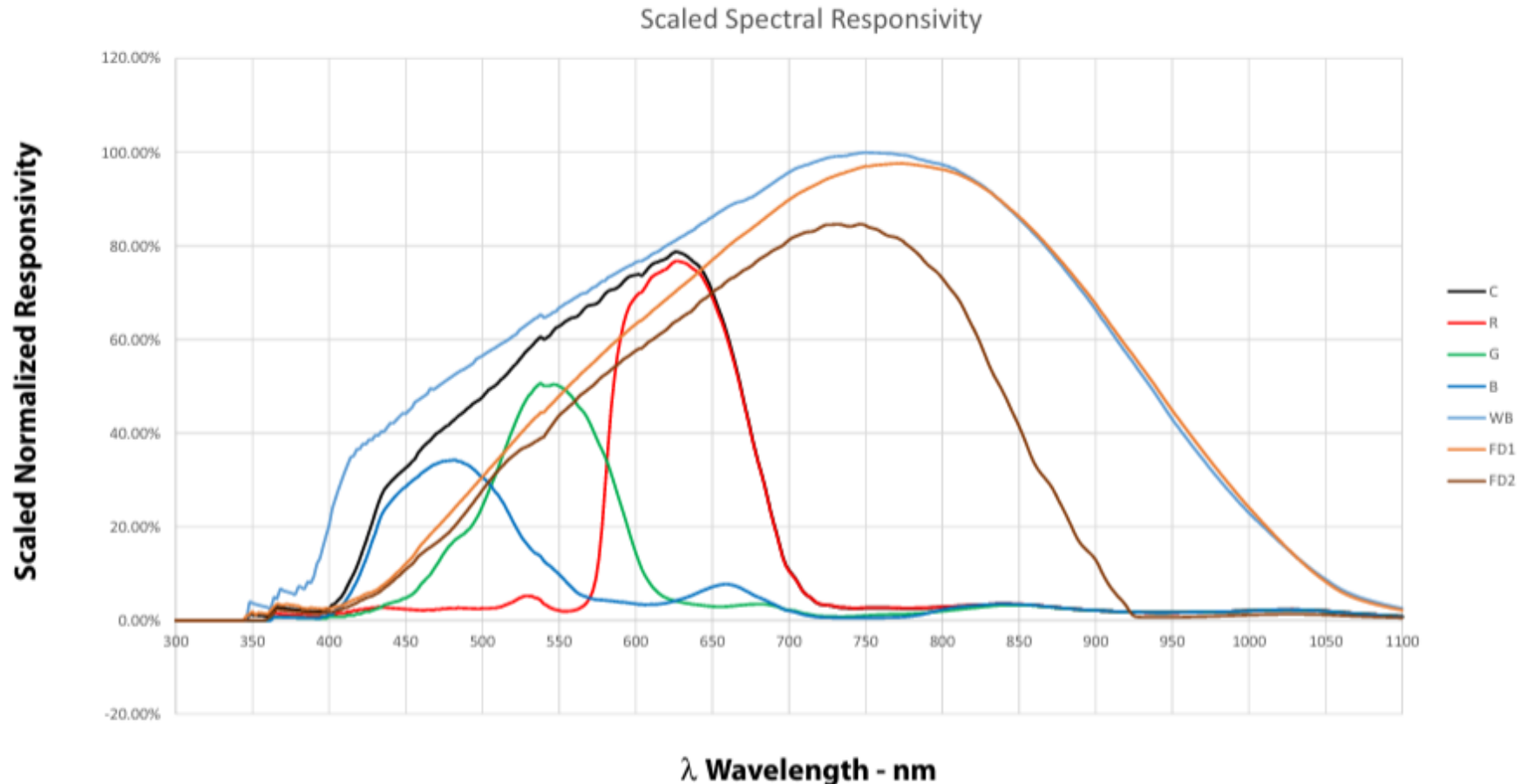


Czujnik TCS3400 marki ams-OSRAM zawiera już znacznie bardziej rozbudowaną, pierścieniową macierz fotoelementów, składającą się z czterech powtarzalnych sekcji, przesuniętych kątowno względem siebie co kolejne 90° .

Takie rozmieszczenie pozwala na uniezależnienie wartości odczytów poszczególnych kanałów od kierunku padania światła na strukturę sensora. Środkowe pole pełni rolę dodatkowej fotodiody, czułej już tylko na promieniowanie podczerwone – rozwiązanie to ma na celu umożliwienie rozpoznawania źródła światła przez nadrzędny procesor.

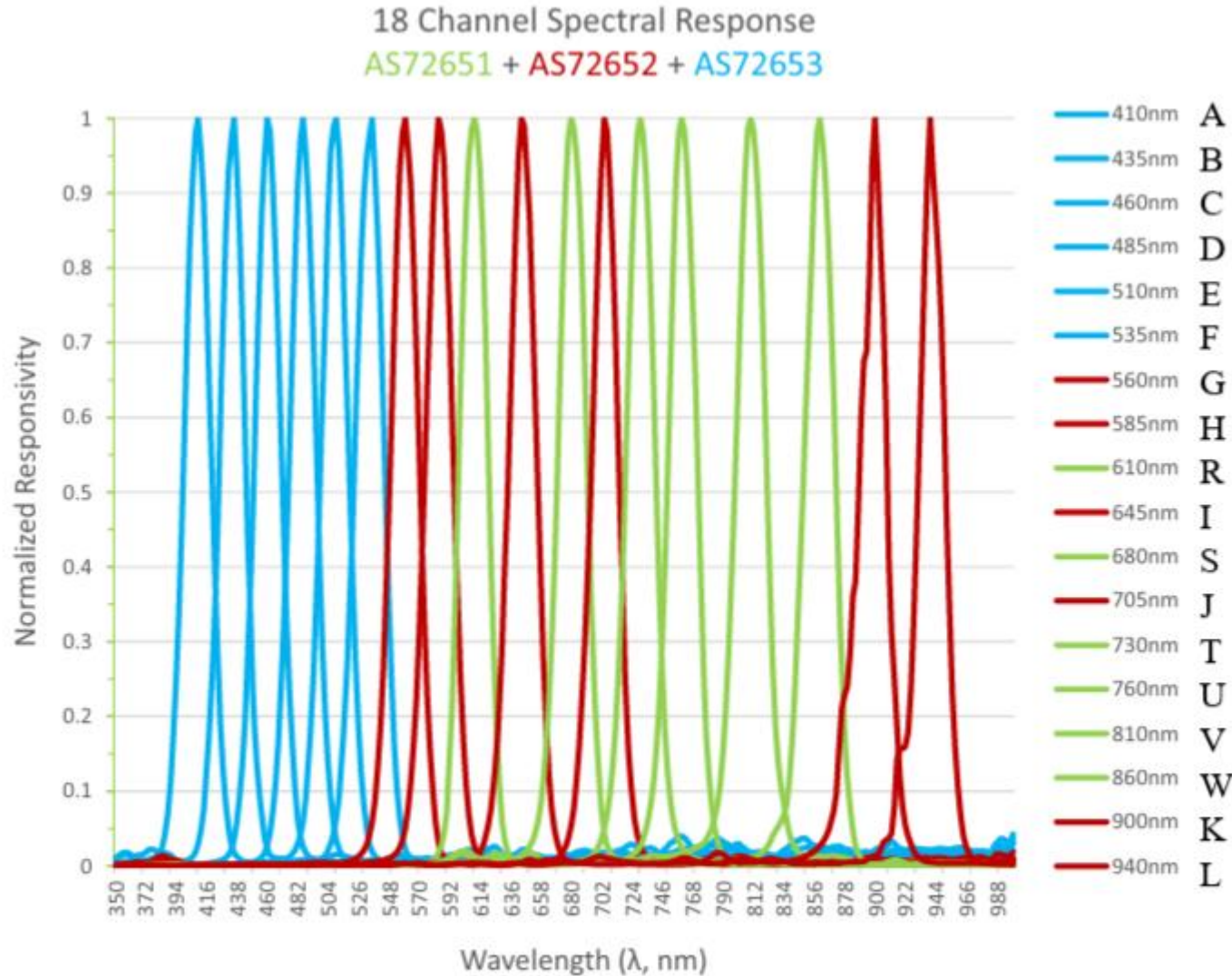


Z kolei zastosowanie czujników typu TCS 3408 czy TCS3430, który poza RGB ma dodatkowe kanały WB (szerokopasmowy) oraz FD1 i FD2 (używane do detekcji migotania, spowodowanego przez oświetlenie elektryczne), pozwala np. na dopasowanie do kompensacji temperatury barwowej otoczenia.





Warto jeszcze wspomnieć o czujnikach multispektralnych...



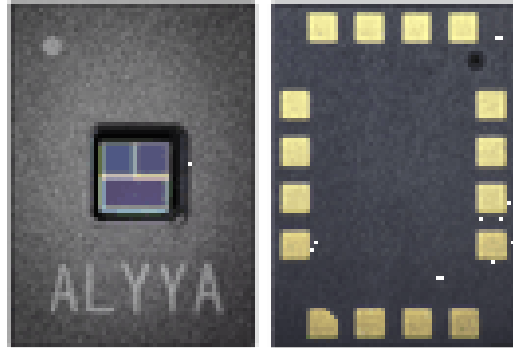
Applications

The AS7265x applications include:

- Product/Brand authentication
- Anti-counterfeiting
- Portable spectroscopy
- Product safety/adulteration detection
- Horticultural and specialty lighting
- Material analysis

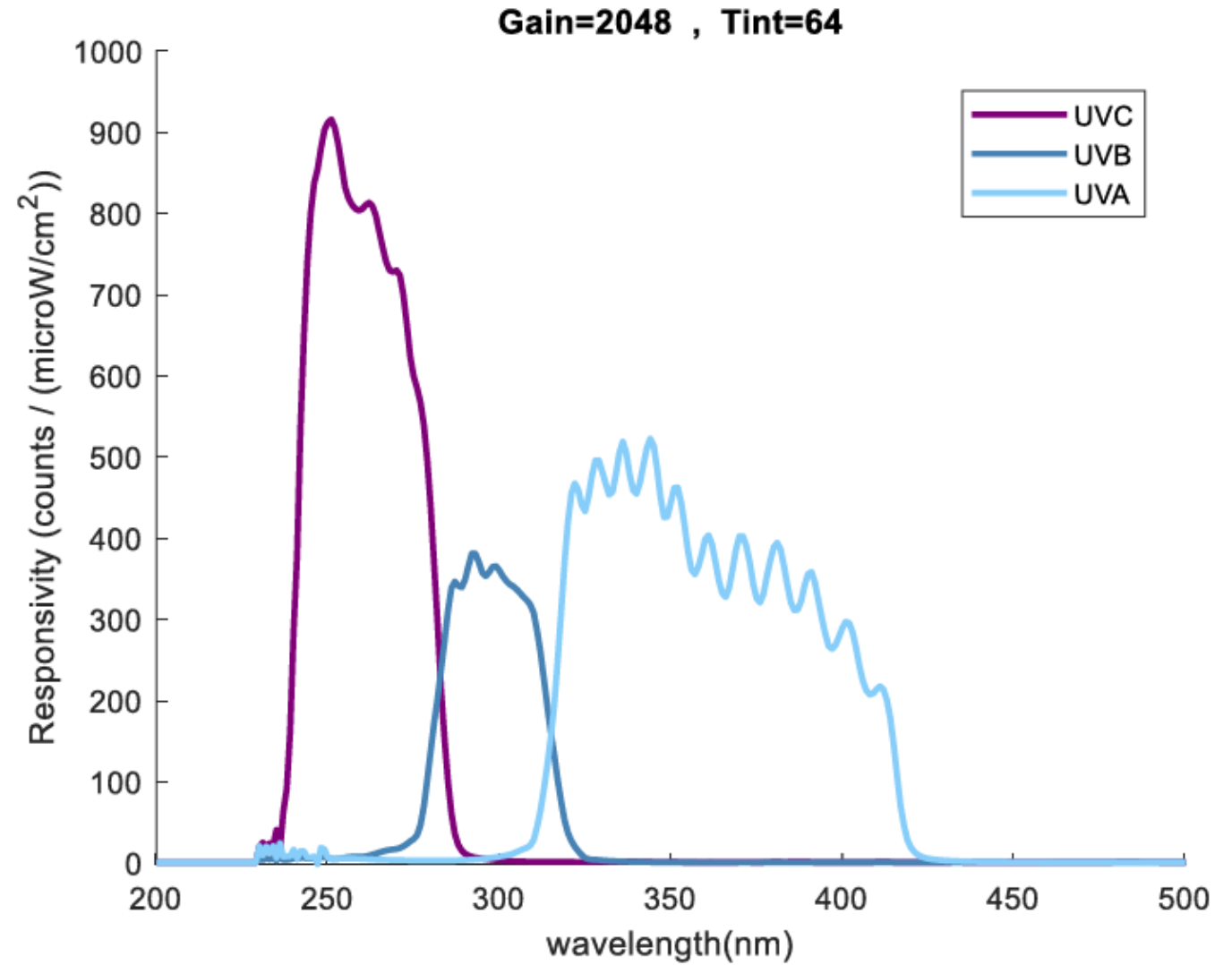


... i UV.



Applications

- UV-Disinfection (water, air, surfaces)
- UV-Curing
- Phototherapy
- Analytics
- Home Appliances
- Horticulture



Dziękuję za uwagę