



Grunderna kring fotodioder och fototransistorer

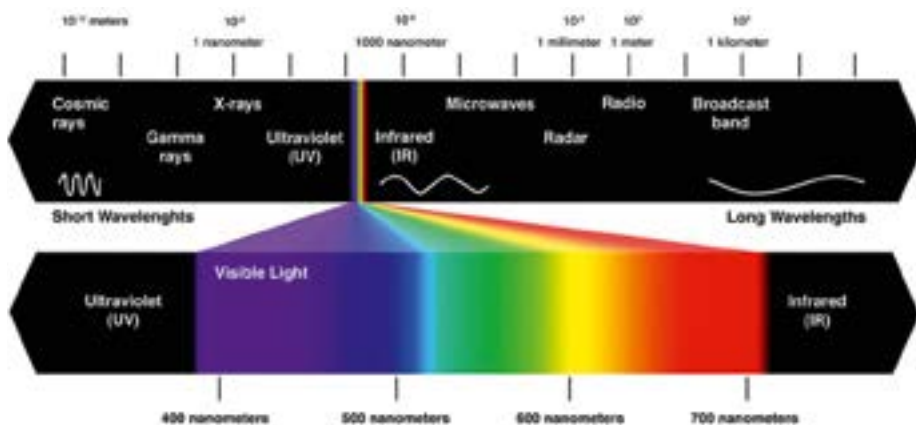
...och hur man tillämpar dem



Av Rolf Horn, DigiKey

(med bidrag av DigiKeys nordamerikanska redaktörer)

Rolf Horn, applikationsingenjör på DigiKey, har arbetat i den europeiska tekniska supportgruppen sedan 2014 med huvudansvar för att besvara utvecklings- och teknikrelaterade frågor från emea-kunder, samt att skriva och korrekturläsa tyska artiklar och bloggar på DigiKeys TechForum och maker.io-plattformar.



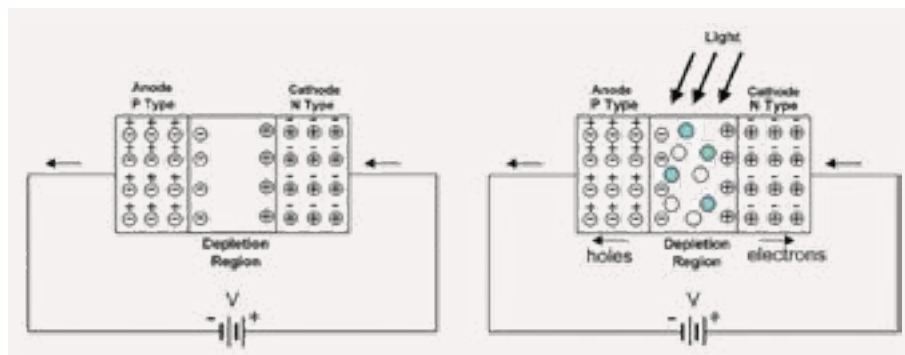
Figur 1. Det optiska spektrumet är en del av det elektromagnetiska spektrumet och sträcker sig från UV till IR. Det synliga spektrumet ligger däremellan. Här ser du våglängder och motsvarande frekvenser.

Color	Wavelength (nm)	Frequency (THz)
Ultraviolet (UV)	<380	>789
Violet	380 – 450	618 – 789
Blue	450 – 485	619 – 667
Cyan	485 – 500	600 – 619
Green	500 – 565	530 – 600
Yellow	565 – 590	508 – 530
Orange	590 – 635	472 – 508
Red	625 – 700	428 – 472
Infrared (IR)	>700	<428

ONCE LIGHTING (ÖVERST) OCH ART PINI (NEDERST)

Figur 2. Den omvänt förspända fotodioden genererar en ström som är proportionell mot ljusintensiteten på grund av elektronhålspar som skapas i det utarmade området. De blå fyllda cirkelarna representerar elektroner och de vita cirkelarna representerar hål.

ART PINI



Det finns en typ av konstruktionsproblem som en människa enkelt löser med hjälp av synen. Ta till exempel utmaningen att se till att ett papper hamnar rätt i skrivaren. Det är trivialt för en människa att lösa men svårt för en mikroprocessor. Andra problem: när en mobilkamera behöver mäta omgivningsljuset för att avgöra om blixten behöver aktiveras. Eller när syrehalten i blodet behöver mätas men det måste ske icke-invasivt.

Fotodioder och fototransistorer kan vara svaret på konstruktionsproblemet av det här slaget. De är optoelektroniska komponenter som omvandlar ljus (fotoner) till elektriska signaler. De sätter ögon på mikroprocessorer och mikrokontrollrar. Via deras ljusinteraktion går det att undersöka papperets position och riktning, att bestämma ljusets intensitet och att mäta ett materials fysiska egenskaper.

Den här artikeln förklarar teorin bakom fotodioder och fototransistorer, och ger läsaren grundläggande insikter i hur de kan tillämpas. Som exempel använder vi komponenter från Advanced Photonix, Vishay, Excelitas, Genicom, Marktech och NTE.

Det optiska spektrumet som används

Fotodioder och fototransistorer är känsliga för olika optiska våglängder. I vissa fall är detta av konstruktionsmässiga skäl, som till exempel för att göra användningen osynlig för det mänskliga ögat. Konstruktören behöver känna till spektrumet för att kunna anpassa sina apparater till tillämpningen.

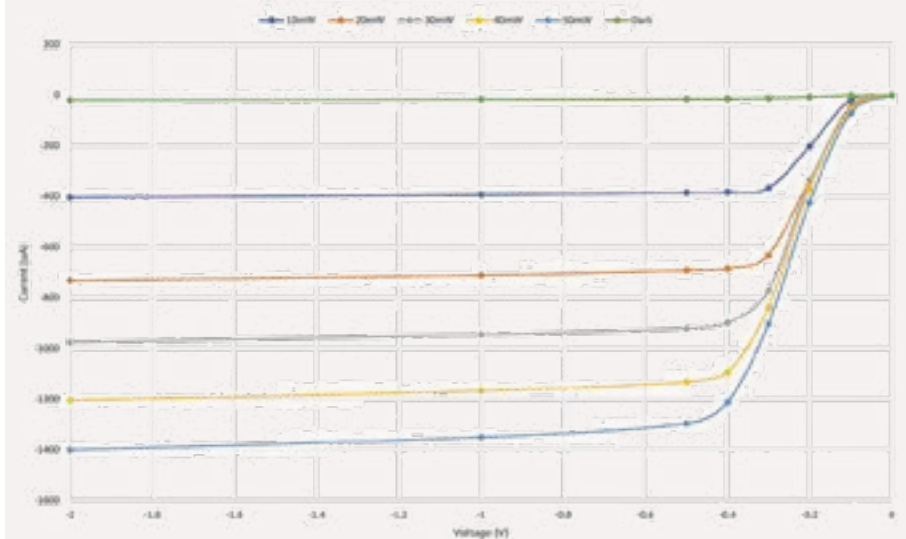
Det optiska spektrumet sträcker sig från de långa våglängderna i infrarött (IR) till de korta i ultraviolett (UV). De synliga våglängderna ligger däremellan. Se diagrammet i figur 1.

Optoelektroniska komponenter anger typiskt sina våglängder i nanometer (nm). Frekvens är mindre frekvent.

Fotodioder av kisel (Si) är känsliga för synligt ljus. IR-känsliga enheter använder indiumantimonid (InSb), indiumgalliumarsenid (InGaAs), germanium (Ge) eller kvicksilverkadmiumtellturid (HgCdTe). I UV-känsliga enheter används ofta kiselkarbid (SiC).

Fotodioder

Fotodioden är en P-N- eller PIN-övergång som exponeras för ljus genom en transparent



Figur 3. Det karakteristiska V-I-diagrammet för en omvänt förspänd fotodiod visar stegvisa förändringar i diodströmmen som funktion av ljusnivån. ART PINI

kropp eller lock. När ljuset träffar övergången genereras en ström eller spänning beroende på användning. Fotodioden fungerar i tre olika lägen beroende på den förspänning som appliceras: fotovoltaiskt, fotokonduktivt eller i lavinläge.

En fotodiod som inte är förspänd är i fotovoltaiskt läge och skapar en liten utgångsspänning när den belyses med en ljuskälla. I detta läge fungerar fotodioden som en solcell. Läget är användbart i lågfrekventa tillämpningar (typiskt under 350 kHz) och i låg ljusintensitet. Utgångsspänningen är låg och fotodiodens utgång kräver oftast en förstärkare.

Det fotokonduktiva läget å sin sida kräver att fotodioden är omvänt förspänd. Den omvända förspänningen skapar en utarmningsregion vid P-N-övergången. Ju större förspänning, desto bredare utarmningsområde.

Det bredare utarmningsområdet medför en minskad kapacitans jämfört med en diod utan förspänning, vilket leder till kortare svarstider. Detta läge har högre störningsnivåer och det kan krävas bandbreddsbe-gränsning för att kontrollera dessa.

Om den omvända förspänningen ökas ytterligare arbetar fotodioden i lavinläge – med hög omvänt förspänning. Det tillåter multiplikation av de fotoproducerade elektronhålpären via lavinnebrytning. Detta resulterar i intern förstärkning och högre känslighet i fotodioden. Läget ger en funktion som liknar ett fotomultiplikatorrör.

I de flesta tillämpningar opererar fotodioder i fotokonduktivt läge med omvänt förspänning (figur 2).

Den omvänt förspända, obelysta fotodiodförbindelsen har en utarmningszon med få fria bärare. Den ser ut som en laddad kondensator. Det finns en liten ström kallad dark current, mörkerström, som orsakas av termiskt exciterad jonisering. En ideal fotodiod skulle ha noll mörkerström. Den, och de termiska störningsnivåerna, är proportionella mot diodens temperatur. Mörkerströmmen kan dölja fotoströmmen vid extremt låga ljusnivåer, så man bör välja enheter med låg mörkerström.

När ljuset träffar utarmningsskiktet med tillräcklig energi joniseras atomerna i kristallstrukturen och elektronhålpäer genereras.

Det elektriska fältet får på grund av förspänningen elektronerna att flytta sig till katoden och hålen att flytta sig till anoden,

vilket ger upphov till en fotoström. Ju högre ljusintensitet, desto högre fotoström. Detta visas i figur 3.

Kurvan visar diodens omvända ström som funktion av applicerad omvänt förspänning med ljusintensitet som parameter. Observera att ökande ljusnivåer ger en proportionell ökning av omvänt ström. Detta är grunden till att fotodioder kan användas för att mäta ljusintensitet.

Förspänningen – när den är större än 0,5V – har liten effekt på fotoströmmen. Den omvända strömmen kan omvandlas till en spänning genom att den appliceras på en transimpedansförstärkare.

Typen av fotodioder

De många olika tillämpningarna för ljusdetektering och mätning har gett upphov till en mängd olika typer av fotodioder. Den grundläggande fotodioden är en planär P-N-övergång. Denna komponent ger bäst prestanda i oförspänt fotovoltaiskt läge. Den är även den mest kostnadseffektiva komponenten.

002-151-001 från Advanced Photonix är ett exempel på en InGaAs-fotodiod/fotodetektor med planär diffusion (figur 4). Den levereras i en kapsling för ytmontering med måtten 1,6×3,2×1,1 mm, och en aktiv optisk öppning med en diameter på 0,05 mm.

Denna InGaAs-fotodiod har ett spektralområde på 800-1700 nm, vilket täcker det infraröda spektrumet. Dess mörkerström är mindre än 1 nA. Dess spektrala responsivitet, som anger den utgående strömmen för en specifik optisk effekt, är vanligtvis 1 A/W. Den är avsedd för tillämpningar som industriell avkänning, säkerhet och kommunikation.

PIN-dioden bildas genom att ett odopat halvledarlager med hög inbyggd resistans ("intrinsic layer") placeras mellan P- och N-lagren i en konventionell diod, därav namnet PIN som återspeglar diodens struktur.

Infogandet av i-lagret ökar den effektiva bredden hos diodens utarmningslager, vilket leder till lägre kapacitans och en högre överslagsspänning. Den lägre kapacitansen ökar i princip fotodiodens hastighet. Det större utarmningsområdet ger en större volym av fotoninducerad generering av elektronhål och en större kvanteffektivitet.

VBP1045R från Vishay Semiconductor Opto Division är en PIN-fotodiod i kisel som

täcker spektralområdet från 430 till 1100 nm (violett till nära IR). Den har en typisk mörkerström på 2 nA och ett stort optiskt känsligt område på 4,4 mm² (figur 5).

Lavinfotodioden (APD) fungerar på samma sätt som ett fotomultiplikatorrör, genom att den använder sig av lavinverkan för att skapa förstärkning i dioden. I närvaro av en hög omvänt förspänning genererar varje hålelektronpar ytterligare par med hjälp av lavinnebrytning. Det ger en förstärkning i form av en större fotoström per ljusfoton. Det gör APD till ett utmärkt val för känslighet i svagt ljus.

Ett exempel på en APD är C30737LH-500-92C från Excelitas Technologies. Den har ett spektralområde på 500–1000 nm (cyan till nära IR) med ett maximalt svar vid 905 nm (IR). Den har en spektral känslighet på 60 A/W vid 900 nm med en mörkerström på mindre än 1 nA. Den är avsedd för tillämpningar med hög bandbredd, till exempel LiDAR (Light detection and ranging) och optisk kommunikation i bilar (figur 6).

Schottky-fotodioder

Schottky-fotodioden är baserad på en metall-till-halvledarövergång. Metallsidan av övergången bildar anodelektroden, medan halvledarsidan av N-typ är katoden. Fotoner passerar genom ett delvis genomskinligt metallskikt och absorberas i halvledaren av N-typ, vilket frigör laddade bärare. Dessa fritt laddade bärare sveps ut ur utarmningslagret av det applicerade elektriska fältet och bildar fotoströmmen.

En viktig egenskap hos dessa dioder är deras snabba svarstid. De använder i allmänhet små kopplingsstrukturer som kan svara snabbt. Schottky-fotodioder med bandbredd i GHz-området finns kommersiellt tillgängliga. De är utmärkta för optiska kommunikationslänkar med hög bandbredd.

Ett exempel på en Schottky-fotodiod är fotosensorn GUVB-S11SD från Genicom (figur 7). Denna UV-känsliga fotodiod är avsedd för tillämpningar som UV-indexering. Den använder ett material baserat på aluminiumgalliumnitrid (AlGaIn) och har ett spektralt känslighetsområde från 240 till 320 nm i UV-spektrumet. Apparaten är spektralkänslig och blind för synligt ljus, vilket är en användbar funktion i starkt upplysta miljöer. Den har en mörkerström på mindre än 1 nA och en känslighet på 0,11 A/W.

Fototransistorer

Fototransistorn är en halvledarenhet som liknar fotodioden i det avseendet att den genererar en ström som är proportionell mot ljusintensiteten. Den kan ses som en fotodiod med en inbyggd ström förstärkare. Fototransistorn är en NPN-transistor där basens anslutning ersatts av en optisk källa.

Övergången mellan bas och kollektor är omvänt förspänd och exponeras för externt ljus genom ett genomskinligt fönster. Övergången mellan bas och kollektor har avsiktligt gjorts så stor som möjligt för att maximera fotoströmmen. Övergången mel-

lan bas och emitter är förspänd framåt och kollektorströmmen är en funktion av den infallande ljusnivån. Ljuset levererar basens ström, som förstärks genom normal transistorfunktion. I avsaknad av ljus flödar en liten mörkerström, precis som i fotodioden.

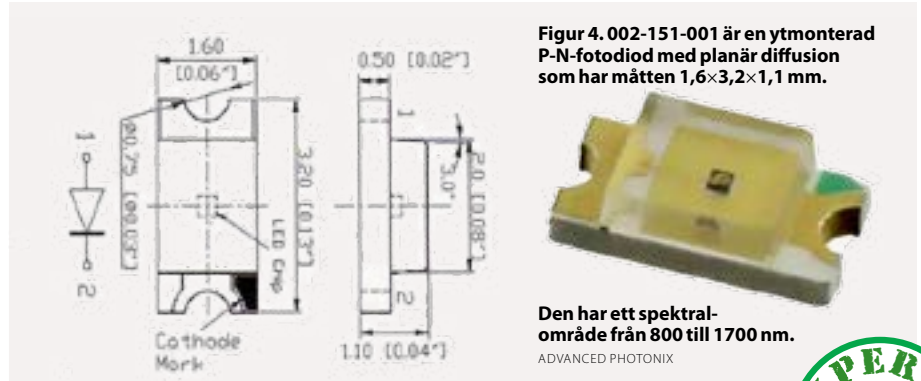
MTD8600N4-T från Marktech Optoelectronics är en NPN-fototransistor med en spektralkänslighet på 400–1100 nm (synlig till nära IR) och en maximal fotoreaktion vid 880 nm (figur 8).

Fototransistorn är placerad i en metallkapsel med en genomskinlig kupol. Diagrammet visar kollektorströmmen som en funktion av spänningen mellan kollektor och emitter, med ljusinstrålningen som parameter. Kollektorströmmarna är betydligt högre än strömmen i en fotodiod på grund av strömförstärkningen i transistorn.

Fototransistorer finns med många olika kapslingar. NPN-fototransistorn NTE3034A från NTE Electronics använder exempelvis en kapsling av gjuten epoxy som tar emot ljus från sidan. Den reagerar även på synligt ljus och ljus nära IR med en maximal fotoreaktion vid 880 nm.

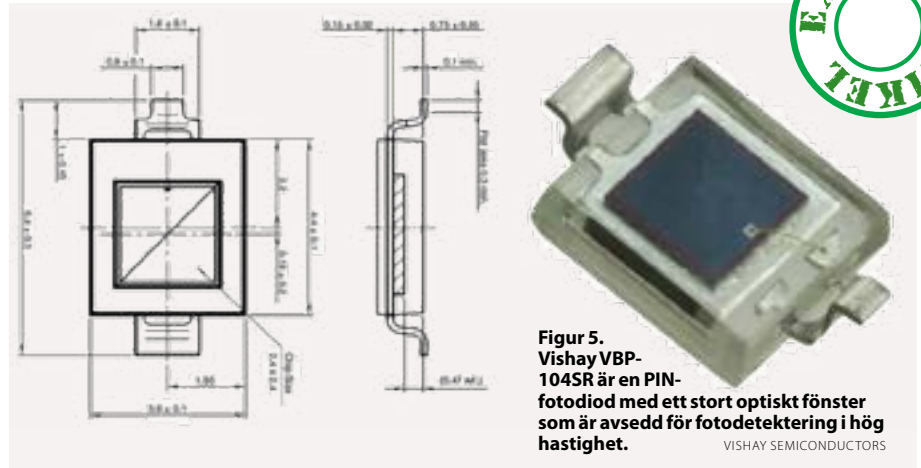
Sammanfattning

Ljusdetektering med hjälp av fototransistorer och fotodioder är ett sätt för mikroprocessorer eller mikrokontroller att förstå den fysiska världen och genomföra styr- och analysalgoritmer i enlighet med detta. Fototransistorn används i samma tillämpningar som fotodioden, även om de båda har sina respektive fördelar. Fototransistorn har en högre nivå på utgångsströmmen än fotodioden, medan fotodioden har fördelen att fungera vid högre frekvenser. ■

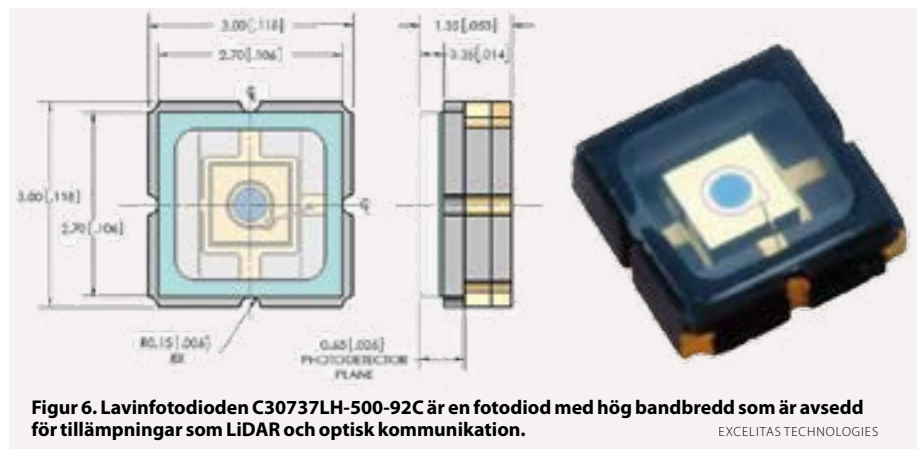


Figur 4. 002-151-001 är en ytmonterad P-N-fotodiod med planär diffusion som har måtten 1,6×3,2×1,1 mm.

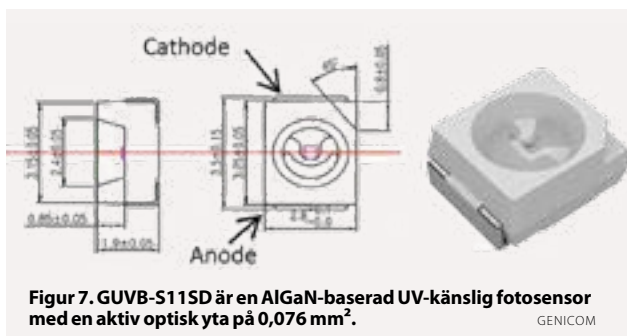
Den har ett spektralområde från 800 till 1700 nm.
ADVANCED PHOTONIX



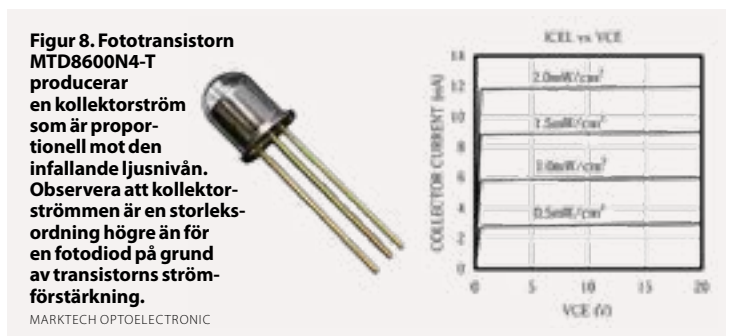
Figur 5. Vishay VBP-104SR är en PIN-fotodiod med ett stort optiskt fönster som är avsedd för fotodetektering i hög hastighet.
VISHAY SEMICONDUCTORS



Figur 6. Lavinfotodioden C30737LH-500-92C är en fotodiod med hög bandbredd som är avsedd för tillämpningar som LiDAR och optisk kommunikation.
EXCELITAS TECHNOLOGIES



Figur 7. GUVB-S11SD är en AlGaIn-baserad UV-känslig fotosensor med en aktiv optisk yta på 0,076 mm².
GENICOM



Figur 8. Fototransistorn MTD8600N4-T producerar en kollektorström som är proportionell mot den infallande ljusnivån. Observera att kollektorströmmen är en storleksordning högre än för en fotodiod på grund av transistorns strömförstärkning.
MARKTECH OPTOELECTRONIC