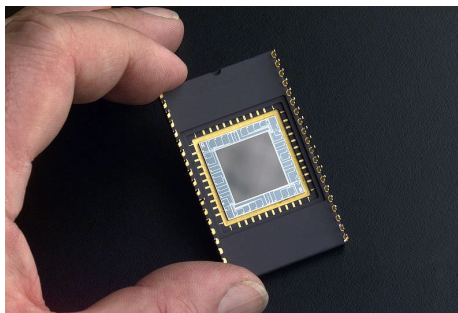


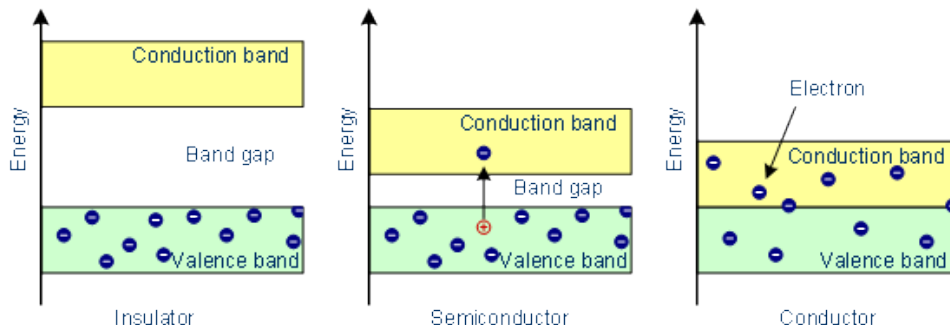
Termalni šum CCD kamere

Uvod

U astronomskim posmatranjima koriste se CCD čipovi koji su izgrađeni od poluprovodničkih materijala (najčešće je u pitanju silicijum; slika 1). Kod poluprovodnika koji čine CCD čip postoji određeni energetski procep između valentne i provodne zone. Prilikom upada fotona određene energije, foton predaje energiju valentnom elektronu poluprovodnika i on prelazi u provodnu zonu (slika 2). Međutim, svaki upad fotona na CCD čip neće prevesti elektron u provodnu zonu (npr. određeni deo upadnih fotona se reflektuje). Faktor koji opisuje efikasnost apsorpcije fotona od strane CCD čipa, naziva se kvantna efikasnost q i predstavlja odnos broja detektovanih fotona prema ukupnom broju upadnih fotona. U relaciji ne postoji CCD čip sa $q = 1$, ali se najčešće sreću sa $q > 0.8$. Svaki CCD čip ima tačno određenu kvantnu efikasnost koja je data u deklaraciji.



Slika 1: Izgled jednog CCD čipa.



Slika 2: Energetski procep između valentne i provodne zone kod provodnika, poluprovodnika i izolatora. Poluprovodnici imaju energetski procep reda nekoliko eV što je prosečna energija fotona u vidljivom delu spektra.

CCD čip je podeljen u piksele po kolonama i redovima. Ispod poluprovodnika se nalaze elektrode koje stvaraju elektrostatički potencijal koji zarobljava slobodne elektrone. Svaki piksel predstavlja jedan energetski bunar u kome provodni elektroni ostaju zarobljeni tokom snimanja.

Nakon određenog vremena ekspozicije snimka dolazi do očitavanja snimka preko serijskog registra na jednom od krajeva CCD čipa. Nakon očitavanja, dolazi do konverzije analognog u digitalni signal (AD konverzija) i skladištenje snimka u digitalnom formatu. Pri AD konverziji nekoliko elektrona (1-3) biva zabeleženo kao jedna analogno-digitalna jedinica (eng. *ADU* – *analogue-digital unit*). Ovo znači da snimci sa kojima baratamo imaju vrednosti piksela date u ADU.

Od početka snimanja do skladištenja snimka postoji nekoliko različitih izvora šumova koji utiču na realna merenja. Jedni od izvora šumova same kamere su tamna struja i šum pri

očitavanju, odnosno, AD konverziji. Tamna struja je posledica termalnog kretanja elektrona u poluprovodniku (termalni šum). Elektroni usled termalnog kretanja mogu da pređu u provodnu zonu i time predstave lažnu detekciju sa izvora koji se posmatra. Ukoliko se CCD čip hladi, uticaj termalne struje se smanjuje i ispod određene temperature nema potrebe uzimati korekciju za tamnu struju. Takođe, pri konvertovanju u digitalni signal, sama elektronika čipa i konektora sa računarom može u signal dodati elektrone i time napraviti lažnu detekciju.

Zadatak

Cilj ove vežbe je da se proverí zavisnost termalnog šuma, tamne struje, od temperature CCD čipa i da se proceni od kog materijala je napravljen čip. Iz semi-eksperimentalnih rezultata dobijena je zavisnost tamne struje od temperature:

$$D = 2.5 \cdot 10^{15} A I_d T^{3/2} \exp^{-\frac{E_g(T)}{2kT}} \quad (1)$$

gde je D tamna struja izražena u $e^-/\text{px/s}$, A je površina jednog piksela u cm^2 , I_d je površinska tamna struja na 300 K u nA/cm^2 , a $E_g(T)$ je energetski procep poluprovodnika koji se menja sa temperaturom kao:

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha T^2}{T + \beta} \quad (2)$$

gde su α i β konstante za dati poluprovodnik kao i $E_g(0)$ što predstavlja energetski procep na temperaturi od 0 K. U ovim izrazima temperatura CCD čipa je data u K. Na osnovu energetskog procepa za $T = 0$ K može se dati procena od kog poluprovodnika je napravljen CCD čip ili barem koji element je najzastupljeniji u datoj smeši poluprovodnika.

Podaci su dati u vidu `.fit` fajlova (tamni i bias snimci). Napravljeni su snimci za 5 različitih temperatura i za svaku temperaturu je dato 5 snimaka. Za svaku temperaturu potrebno je usrednjiti date snimke. Snimci šuma AD konverzije¹ (bias snimci) su takođe dati i njihova srednja vrednost se oduzima od svakog usrednjenog snimka tamne struje za određenu temperaturu. S obzirom da su termalni šum i šum očitavanja faktički greške merenja signala od interesa, sa njima postupamo kao sa grešakama merenja. To znači da se korekcija tamne struje za šum očitavanja vrši u kvadraturama. Snimci su napravljeni SBIGT-ST7 CCD kamerom čije su karakteristike date u tabeli 1.

Tabela 1: Podaci o SBIG-ST7 CCD kameri.

karakteristika	vrednost
CCD senzor	Kodak KAF-0400
Veličina (u pikselima)	765x510 ($\approx 0.4\text{M}$ piksela)
Veličina piksela	$9\mu\text{m} \times 9\mu\text{m}$
AD konverter	16 bit
Pojačanje AD konvertera	$2.3 e^-/\text{ADU}$
Ekspozicija	0.11-3600s, 10ms rezolucija
Hlađenje	Termoelektrično, aktivan kuler; $\approx 28^\circ\text{C}$ manje u odnosu na ambijent

Obradu podataka izvršiti u Python3 programskom jeziku i uz izveštaj priložiti kod. U izveštaju je potrebno predstaviti promenu tamne struje od temperature CCD čipa i dati parametre fita: površinsku tamnu struju na 300 K i energetski procep poluprovodnika. Pri izradi vežbe pretpostaviti da E_g ne zavisi od temperature, $E_g(T) \equiv E_g(0)$.

¹Nulta ekspozicija na najnižoj mogućoj temperaturi tako da je termalni šum zanemarljiv.

Literatura

- [1] „CCD Image Sensor Noise Sources”: <http://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND9192-D.PDF>.
- [2] „Temperature dependence of the energy gap”: <http://ecee.colorado.edu/~bart/book/eband5.htm>.
- [3] „Semiconductor Band Gaps”: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Tables/Semgap.html>.