

TD “Capteurs CCD”

Exercice 1

Le nombre d'électrons N_e qui s'échappent du puits de potentiel en fonction du temps t est donné par:

$$N_e(t) = \frac{2S_{FW} v_{th} t}{L} e^{-\frac{V_{TB}}{kT}}$$

avec L , la longueur de la grille de polarisation (cm)

V_{TB} , la hauteur de barrière thermique (V)

v_{th} , la vitesse thermique des électrons avec

$$v_{th} = \left(\frac{kT}{2\pi m_e} \right)^{1/2}$$

m_e , la masse de l'électron ($m_e = 0,9 \times 10^{-30}$ kg)

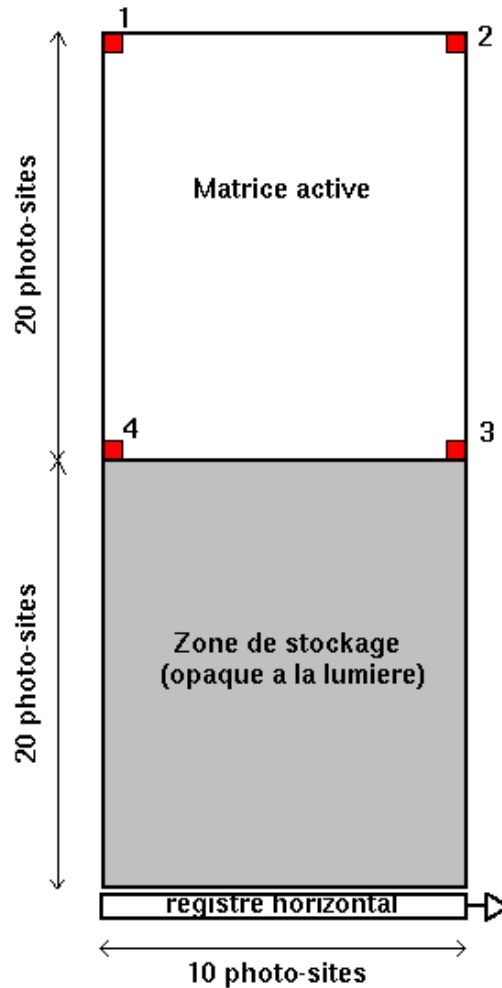
k , la constante de Boltzmann ($k = 1,38 \times 10^{-23}$ J K⁻¹)

1. Déterminer la hauteur de barrière thermique V_{TB} requise pour empêcher un électron de s'échapper du puits de potentiel sur une période de temps de 100ms et une longueur de la grille $L = 10 \mu\text{m}$ pour deux températures $T = 300\text{K}$ et 178 K . On utilisera une capacité du puits $S_{FW} = 300000 \text{ e-}$. Comparer les valeurs trouvées à l'énergie thermique moyenne des électrons à $T = 300\text{K}$.
2. L'agitation thermique génère des paires électrons/trous qui constituent un bruit parasite : le courant d'obscurité I . Sachant qu'à $T = +20^\circ\text{C}$, $I = 20 \text{ e- s}^{-1}$ dans le photo-site et que le courant I double pour un incrément de température $\Delta T = 2^\circ\text{C}$, calculer le temps nécessaire pour que le puits de potentiel se remplisse d'électrons produits par l'agitation thermique à $T = +20^\circ\text{C}$ et $T = -18^\circ\text{C}$.
3. La dynamique d'une CCD correspond au rapport entre l'objet le plus brillant et l'objet le plus faible visibles simultanément dans une image. En supposant que l'objet le plus faible visible N_{\min} dans une image soit défini comme : $N_{\min} = 3 \times \text{sqrt}(N_I)$ avec N_I , le nombre d'électrons produits par agitation thermique sur un temps d'intégration Δt , calculer la dynamique maximale pour $\Delta t = 60 \text{ s}$ et 600s et $T = +20^\circ\text{C}$ et -18°C .

Exercice 2

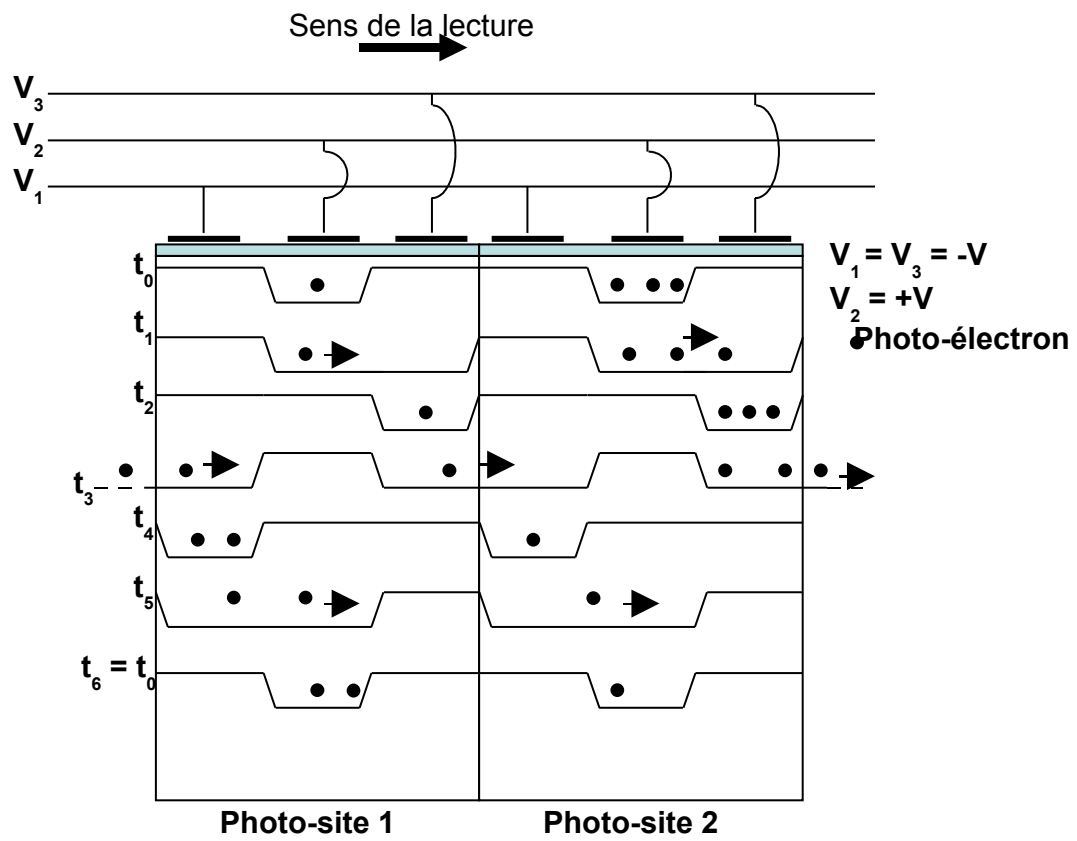
Soit un CCD 3 phases type frame transfer. La matrice CCD possède 10 x 20 photo-sites.

- Faire un dessin montrant les différentes parties du CCD. Le pré-ampli de charge est placé à droite du registre.

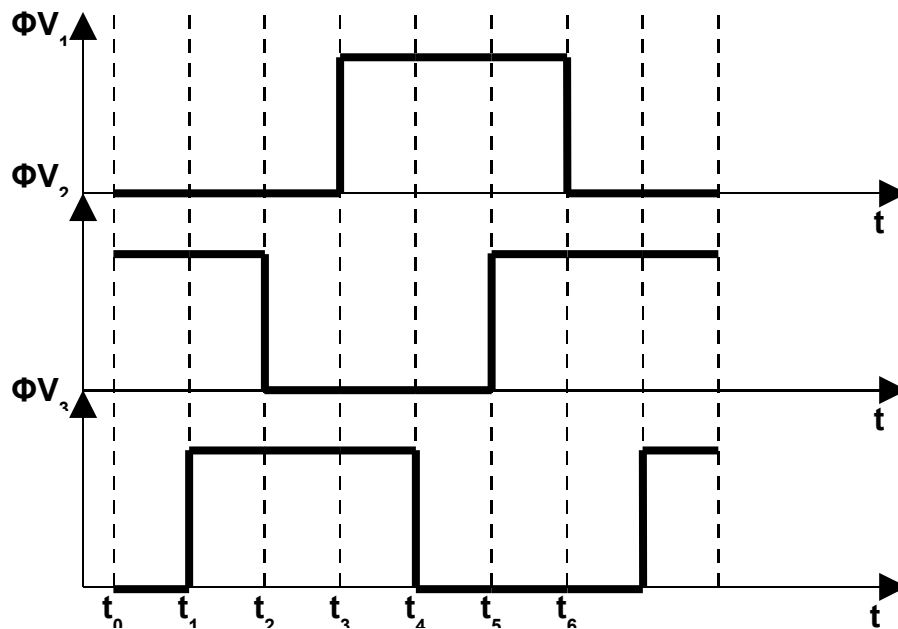


- Montrer comment s'effectue le décalage des charges d'un photo-site à un autre en supposant que les charges sont stockées sous la seconde électrode.

On considère une CCD 3 phases i.e. 3 électrodes par photo-site. On commence à lire à $t = t_1$.



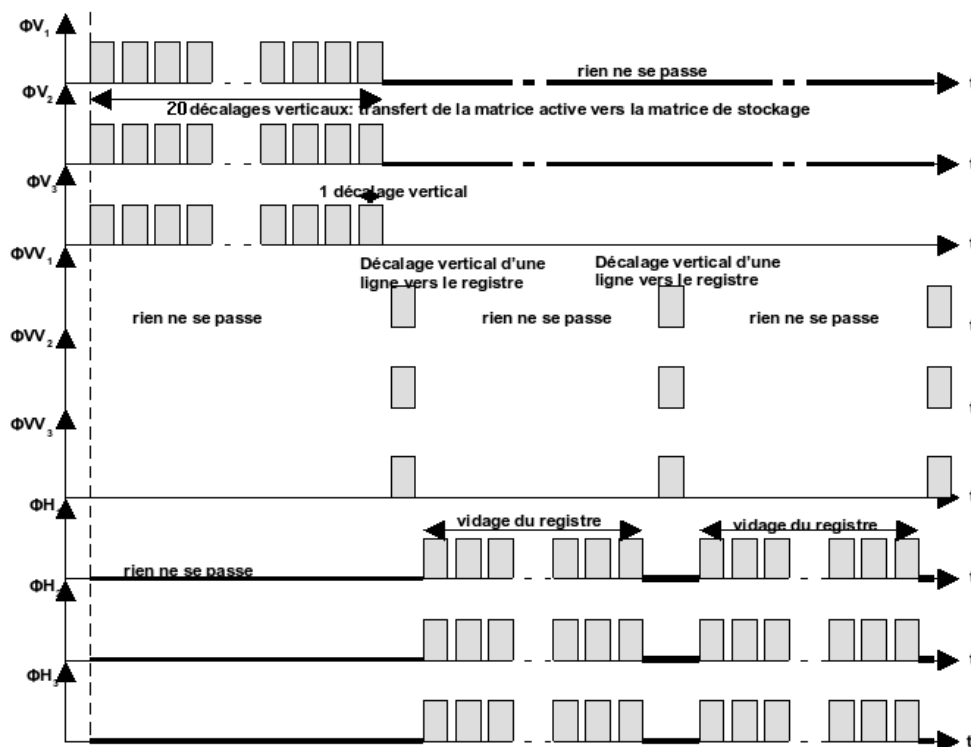
Le cadencement des horloges est donc :



- Dessiner le chronogramme complet montrant la lecture de ce CCD. On fera bien la distinction entre les différentes horloges de chaque partie du CCD.

Pour lire entièrement le CCD, il faut faire les opérations suivantes :

- *transférer la matrice active (10x20) dans la zone de stockage; ce qui revient à faire 20 décalages verticaux. Le CCD étant à 3 phases, on a besoin de trois horloges : ΦV_1 , ΦV_2 et ΦV_3 .*
- *vider la zone de stockage :*
 - *20 fois l'alternance entre un décalage vertical pour transférer une ligne dans le registre et 10 décalages horizontaux pour lire les charges dans le registre. Pour les décalages verticaux dans la matrice de stockage, on a besoin de 3 horloges : ΦVV_1 , ΦVV_2 et ΦVV_3 . Pour le registre, on a aussi besoin de 3 horloges : ΦH_1 , ΦH_2 & ΦH_3 .*



avec $t = t_0$, le début de la lecture du CCD.

Chaque boîte grise correspond au cadencement des 3 horloges pour transférer les charges d'un photo-site à l'autre.

- En sachant que le transfert d'un photo-site à un autre prend $3 \mu s$, calculer le temps pour lire le CCD.

Pour lire entièrement le CCD, il faut faire les opérations suivantes :

- *transférer la matrice active (10x20) dans la zone de stockage; ce qui revient à faire 20 décalages verticaux. Cela prend un temps (Δt_{active})*
- *vider la zone de stockage :*
 - *faire un transfert vertical pour décaler les charges d'une ligne dans le registre horizontal; ce qui revient à faire 20 décalages verticaux pour vider la zone de stockage. Cela prend un temps ($\Delta t_{stockage}$)*

- vider le registre; ce qui revient à le vider 20 fois. Cela prend un temps $\Delta t_{\text{registre}}$. Puisque le registre comprend 10 photo-sites, il faut donc faire 10 décalages horizontaux pour le vider.

Soit Δt , le temps de lecture du CCD et t_0 le temps nécessaire pour transférer les charges d'un photo-site à l'autre, il se décompose comme :

$$\Delta t = \Delta t_{\text{active}} + \Delta t_{\text{stockage}} + \Delta t_{\text{registre}}$$

$$\Delta t = 20 \times t_0 + 20 \times t_0 + 20 \times 10 \times t_0 = 240 t_0$$

AN: $\Delta t = 720 \mu\text{s}$

- Soit un $\text{CTE}_m = 0,999$ sur la matrice et la zone de stockage et un $\text{CTE}_r = 0,9999$ pour le registre horizontal. Pour les photo-sites se trouvant dans les coins du CCD, calculer le nombre de charges Q atteignant le pré-ampli. On prendra une charge initiale $Q_0 = 1000 e^-$. Quel impact cela aura sur l'image ?

On considère les photo-sites en rouge sur le dessin ci-dessus.

*Pour le pixel 1, on doit faire 2 x 20 décalages verticaux pour le placer dans le registre et 10 décalages horizontaux pour arriver au noeud de sortie.
D'où, on en déduit que : $Q_1 = Q_0 (\text{CTE}_m)^{40} \times (\text{CTE}_r)^{10}$*

*Pour le pixel 2, on doit faire 2 x 20 décalages verticaux pour le placer dans le registre et 1 décalage horizontal pour arriver au noeud de sortie.
D'où, on en déduit que : $Q_2 = Q_0 (\text{CTE}_m)^{40} \times (\text{CTE}_r)^1$*

*Pour le pixel 3, on doit faire 20 décalages verticaux pour le placer dans le registre et 1 décalage horizontal pour arriver au noeud de sortie.
D'où, on en déduit que : $Q_3 = Q_0 (\text{CTE}_m)^{20} \times (\text{CTE}_r)^1$*

*Pour le pixel 4, on doit faire 20 décalages verticaux pour le placer dans le registre et 10 décalages horizontaux pour arriver au noeud de sortie.
D'où, on en déduit que : $Q_4 = Q_0 (\text{CTE}_m)^{20} \times (\text{CTE}_r)^{10}$*

AN: $Q_1 = 960 e^-$
 $Q_2 = 961 e^-$
 $Q_3 = 980 e^-$
 $Q_4 = 979 e^-$