

ЧЕРТА НАЦИОНАЛНА НАУЧНО-ПРИЛОЖНА КОНФЕРЕНЦИЯ  
ЕЛЕКТРОННА ТЕХНИКА ЕТ-94

АНАЛИЗ И ПРОЕКТИРАНЕ НА ЕЛЕМЕНТИТЕ ЗА ЗАПИС НА ИНФОРМАЦИЯ В СЗВ

к.н.н. АННА ВЛАДОВА АНДОНОВА - ТУ, СОФИЯ

к.н.н. ФАЕК МУСТАФА АРАЖ - ТУ, СОФИЯ

доц.ктн Александър Атанасов - ТУ, СОФИЯ

Елементите за запис на информация са един от задължителните конструтивни елементи в устроитества на базата на структурите със СЗВ/, независимо от конкретното им функционално предназначение: цифрово, аналогово или оптично.

В редица работи [1,2,3] са дадени резултати от анализа на съдебни конфигурации на елементи за запис на информация в СЗВ, но те не са много качествени и не винаги удобни за пресягтане. Основната цел е настоящата работа е да се анализират и сравнят различните методи за запис на оптична информация в СЗВ. В резултат на това са предложени и разработани за компониране и декомпониране на елементи за запис на оптична информация в СЗВ.

Известни са няколко основни начини за запис на информация в СЗВ устроитества. Първият е свързан с осъществяване на инжеция на неосновни големини с помощта на PN-преход /фиг.1а/. За управление на процеса на запис може да се използват два метода: управление или чрез гейт от входното стъпало на СЗВ или чрез извода на дифузионната област. Анализът, основните съотношения и изводи, отнасящи се до този начин на запис са обект на друга работа. Съществено е да се отбележи, че за цифровите схеми, информационното състояние, тоест се характеризира с наличие или отсъствие на заряд, тъй като управление са еквивалентни. В аналоговите схеми е необходимо да се извърши едното линейно преобразуване на управляемото изпредение в информационен заряд, затова за тях се предлага управление чрез гейта на входното стъпало.

Вторият начин за запис при използването на PN-преход е създаден от автори чрез създаване на MOS-транзистор и времето на зареждането му е равно на [4]

$$t \cong (1+\gamma) L^2 / \mu [U_0 - U_b + (1+\gamma) U_{ID}] , \quad (1)$$

където  $\bar{\mu}_c$  – повърхностна ефективна константа на дифузията на заряди, която се определя като произведение на константа на СФЕД  $\bar{\mu}$  и коефициент на обеднение  $\alpha$ ;  $\varphi_0$  – потенциал на инверсия на полупроводника;  $U_t$  – обедненният потенциал на обеднения слой;  $U_{t1}$  – обедненният потенциал на обеднения слой при отсъствие на заряди;  $U_{t2}$  – обедненният потенциал на обеднения слой при отсъствие на заряди и при положителна концентрация на примесите в обеднения слой.

При използване на транзистори с  $\bar{\mu} = 10^4 \text{ см}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ,  $\bar{\mu}_c = 10^4 \text{ см}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ,  $\alpha = 10^{-3}$  и  $U_{t1} = -10 \text{ В}$  времето  $t = 1,6 \text{ нс}$  в обеднения слой се получава  $U_{t2} = -10 \text{ В}$ .

Преимущество на транзистора с полупроводник  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  е бързото действие – всичко се осъществява за 10 нс. Това обуславя необходимостта от формиранието на дифузияния слой във времето на инверсия, възстановяване, пренос на информациите, тоест в 198 пъти по-малко време на запис и изчитане.

Друг начин на запис не използва за ограниченията при  $\text{Fe}$  – преходите се батира на затрупването във владения съзиденени от неосновни токоносители от термогенерацията /Фиг. 16/.

Времето на затрупване на заряд се определя от следното съотношение [5]:

$$t = [(2a)^{1/2} C/gg](B^2/4 + U_t')^{1/2} - [B^2/4 + U_t' - Q_p/C]^{1/2} + \\ + \beta \left[ \ln \frac{(B^2/4 + U_t')^{1/2} - \beta}{(B^2/4 + U_t' - Q_p/C)^{1/2} - \beta} \right]$$

$$U_t' = U_t - U_r + U_b + \varphi_0, \quad U_b = B \varphi_0^{1/2},$$

където  $\beta = B/2 + \varphi_0^{1/2} - j_{qs}(a/2)^{1/2}/gg$

$$B = \frac{1}{C_0} (2g \epsilon_s \epsilon_0 N_D)^{1/2}$$

$\varphi_0$  – потенциала на инверсия на повърхността на полупроводника;

$g$  – скорост на термогенерацията в обеднения слой;  $j_{qs}$  – плътност на тока на повърхностна термогенерация,  $C_0$  – специфичният капацитет на диелектрика под генета;  $N_D$  – концентрация на примесите в подложката.

Недостатък на този начин е ниското бързодействие,  $t = 10^{-4} - 10^{-3} \text{ s}$ , което затруднява съвместяването във временните характеристики на процеса на въвеждане на зарядна информация и процесите на обработката ѝ.

За инжекция на заряд може да се използва явлението пробив

на опита под тема [5]. Обаче в този случаи се исква висока амплитуда на управлящото напрежение /около 100V/ и изключва аналогова модулация на големината на заряда.

Третият начин за запис се изразява в натрупване на генериирани от светлина неосновни токоносители и се прилага при СЗВ устройства, предназначени за преобразуване на изображения. Фотоприемната СЗВ матрица може да се осветява или от страна на гентовете или от обратната страна. При поглъщане на светлина интенсивността и в дълбочина на полупроводника намалява по експоненциален закон [6]:

$$F(x) = F_0 \exp(-\mathcal{L}x) . \quad (3)$$

Едегто  $\mathcal{L}$ , -коefficient на поглъщане,  $F_0$  – общ брой квандипадащи на повърхността. Следователно скоростта на генерация на светлината е

$$g = F_0 \mathcal{L} \exp(-\mathcal{L}x) . \quad (4)$$

При осветяване от страна на гентовете /фиг.2a/ част от излучението се погъща в обеднената област с дълбочина  $x_d$ , а част – в слоята на подложката. Процесът на натрупване на заряд в СЗВ може да се описа с диференциално уравнение

$$\frac{dQ_p}{dt} = q \int_0^{x_d(Q_p)} g dx + j_p(x_d) , \quad (5)$$

където  $j_p(x_d)$  – плътност на тока на дупки /елекрони/ дифундиращи в потенциалните ями от подложката.

Процесът на протичане на фототока в дадения случаи е почти аналогичен на процеса в р-п-п фотодиода, анализ на който е проведен в [5].

С отчитане на резултатите в [5] израз (5) добива вида:

$$dQ_p/dt = qF_0[1 - \exp(-\mathcal{L}x_d)/(1 - \mathcal{L}L_p)] + q\rho_0 D_p/L_p , \quad (6)$$

Едегто  $\rho_0$  – равновесна концентрация на дупки към подложката,  $D_p$  – коefficient на дифузия,  $L_p$  – дифузионна дължина.

Разликата от р-п-п фотодиода е в това, че в обеднения слой /на повърхността на полупроводника/ се натрупва заряд на дупки  $Q_p$  и дълбочината на обеднения слой  $x_d = (2/q)^{1/2} [(B^2/4 + U_1' - Q_p/C_d)^{1/2} - B/2]$  се намалява. Въвежданки зависимостта  $x_d(Q_p)$ ... в (5) може в общия случаи по определено да се определи времето за запис на информация. Обикновено

осветявящата  $\varphi_P D_P / L_P$ , е малка. Ако се приеме, че  $\tau_{d\alpha}$  се променя незначително за времето на възприемане на изображението, т.е. информационният заряд запълва потенциалната яма до същата степен, то в този случай решението на уравнение (6) може да се напишне във вид на:

$$Q_p(t) = q F_0 [1 - \exp(-\lambda x_d)] / (1 + \lambda L_p) t . \quad (7)$$

Големината на изтрупания заряд е пропорционална на светлинния поток и линейно се увеличава с времето. Кофициентът на поглъщане  $\lambda$  е също равен на дължината на вълната  $\lambda$ . При изменение на  $\lambda$  от  $0,4 \mu m$ , до  $1,1 \mu m$  за Si се намалява от  $10^5 cm^{-1}$  до  $10^2 cm^{-1}$  [6]. Ако стойността на светлинния поток е  $F_0 = 10^{15} cm^2 s^{-1}$  подложката е от п-тип Si със специфично съпротивление  $10 \Omega \cdot cm$  и с време на живот  $T_D = 10 ms$ , то се получава за  $\lambda = 2 \cdot 10^3 cm^{-1}$  (съответстващо на  $\lambda = 0,7 \mu m$ ), че времето на изтрупване на информационния заряд е някакъв  $Q = 10^{-3} pC/\mu m^2$  е 4 с.

Предимство на начина на осветяване на СЗВ матрицата от страната на гейтовете е, че активната област на поглъщане на светлината е разположена близо до потенциалните ями на СЗВ. Но доколкото основната част от повърхността при някои конструкции на СЗВ е покрита с Al електроди и светлината може да прониква само в междините между електродите, то в случаи недостатък на това явление се явява малката площ на повърхността, във приемеща светлина. Увеличаване на площта се постига с и ползване на други типове сърца със скрити полисилициеви гентове, които са светогородачими.

При осветяване на подложката от обратната страна, основната част носители се генерират в обема на поддържателите и се пренасят към потенциалните ями, дифундиращи (фиг. 26). Ако дебелината на подложката е  $x_g$ , то диференциалното уравнение за процеса на изтрупване на заряд има вида:

$$d\varphi_p/dt = q \int_{x_g-x_d}^{x_g} F_0 \lambda e^{-\lambda x} dx + j_p (x = x_g - x_d) . \quad (8)$$

При минимална дебелина на подложката примерно  $50 \mu m$  първият член, отчитащ генерацията в обеднения слой, може да се пренебрегне. Дифузионната съставка на тока се определя при решаване на уравнението на непрекъснатостта за стационарен случай при гранични условия

$$\rho(x = x_g - x_d) = 0 \quad ; \quad q^{-1} \dot{\varphi}_p(x=0) = s [\rho(0) - \rho_0]$$

където  $s$  е скоростта на повърхностна реконструкция.

Решението на това уравнение има вида:

$$P - P_0 = C \exp(-\zeta x) + A \exp(-x/L_p) + B \exp(x/L_s) \quad (9)$$

където  $L_s = D_p / S$ ;  $x_1 = x_g - x_d$

$$C = F_0 \zeta L_p / (1 - \zeta^2 L_p^2) ; \quad A = \frac{B(1/L_p - 1/L_s) - C(\zeta + 1/L_s)}{1/L_p + 1/L_s}$$

$$B = \frac{-P_0 (1/L_p + 1/L_s - C [\exp(-\zeta x_1)(1/L_p + 1/L_s) - \exp(x_1/L_p)(1/L_p + 1/L_s) + -\exp(-x_1/L_p)(\zeta + 1/L_s)]}{\exp(-x_1/L_p)(1/L_p - 1/L_s)}.$$

Тогава изразът за дифузионната съставка на тока и решението на уравнение (9) могат да се запишат във вида:

$$j_p(x_1) = q D_p [C \zeta \exp(-\zeta x_1) + (A/L_p) \exp(-x_1/L_p) - (B/L_p) \exp(x_1/L_p)] \quad (10)$$

$$Q_p(t) = j_p(x_1) t$$

За  $L_s \gg L_p$ /ниската скорост на повърхностната рекомбинация/ $\zeta \ll 1$  и  $A \approx 0$ , израз (10) може съществено да се опрости:

$$Q_p(t) \approx q F_0 \frac{\zeta^2 L_p^2}{1 - \zeta^2 L_p^2} \cdot \left[ \exp(-\zeta x_1) - \frac{2 \exp(x_1/L_p)}{1 + \exp(2x_1/L_p)} \right] t \quad (11)$$

При  $x_g = 50 \mu m$ ,  $L_p = 100 \mu m$  времето на натрупване на положителни заряд с пълност  $Q = 10^{-3} pC/\mu m^2$  е  $5,6 \text{ ms}$ .

Едноименно то и начин е голямата площ на приемащата област да обясни това в разглеждания пример е целесъобразно да се освети обратната от обратната страна, тъй като за сметка на същата площ пълният необходим заряд ще се натрупа по-бързо. Недостатъкът е размиването на заряда по съседните потенциални ями вследствие ограниченията дифузия на носителите при придвижването им към обединените области. Това може да предизвика размиване на изображението при използване на СИВ в качеството на преобразувател на изображение. Материалът на подложката /при осветяване от обратната страна/ трябва да е с ниска скорост на повърхностна рекомбинация и достатъчно тънка дължина, за да могат основна част от носителите, които при облевдане със светлина от видимия диапазон се пренасират в приповърхностната област /5 - 10  $\mu m$ / да могат да достигнат до обединения слой. Резюмирайки казаното по-горе може да се заключи, че осветяването от страна на тайтовете както показва и във фирмата представен е преобладаващо при използване на светодиоднициаеми състрадии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bowles W.S., Charge coupled semiconductor devices, Bell System Technical Journal, April 1980.

2. Валиев К.Б. Числовые интегральные схемы на МДП-транзисторах. М. Сов. радио, 1991.
3. Шплин В.А. Аналитический расчет управляемых напряжением быстродействия приборов с зарядово-связанными каналами. СССР. Радиоэлектроника, 1993 г., т. 4 №4.
4. Berglung C.N. Analog performance limitation of charge transfer dinamic shift register. IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-22, Dec. 1987.
5. White, M.H. Characterisation of surface channel CCD imaging arrays at light levels. IEEE Trans., vol. 7, 1990.

