

ДВУТАКТНА ОБЕМНА СЗП С ПОВИШЕНА ЗАРЯДНА СПОСОБНОСТ

Valentin Hinkov, Alexander Athanassov

Резюме: В работата се предлага нова двутактна обемна структура със зарядно пренасяне (СЗП) с повищена зарядна способност въз основа на сравнителен анализ на две известни СОЗП (структурни с обемно зарядно пренасяне). Разглежданият проблем е актуален, тъй като по принцип зарядната способност при СОЗП е малка, така че увеличаването ѝ води до получаване на по-голям изходен сигнал, resp. по-голяма шумоустойчивост. Чрез опростено физическо и математическо моделиране се доказва, че зарядната способност на предложената СОЗП е по-голяма от тази на подобни, известни досега СОЗП при равни други условия - параметри, структурата и управляващите напрежения.

TWO PHASE CCD WITH INCREASED CHARGE HANDLING CAPABILITY

Valentin Hinkov, Alexander Athanassov

Abstract: A new two phase BCCD (bulk CCD/ charge coupled device/) with increased charge handling capability has been proposed in the work on the basis of comparative analysis of two well known BCCD. Treatment of this problem is actual, since charge handling capability of BCCD is very small, that's why its increasing leads to greater output signal, resp. greater signal-to-noise ratio. It has been proved by using a simple physical and mathematical model, that the charge handling capability of the proposed BCCD is greater than that of other known BCCD under equal other conditions – structure parameters and gate voltages.

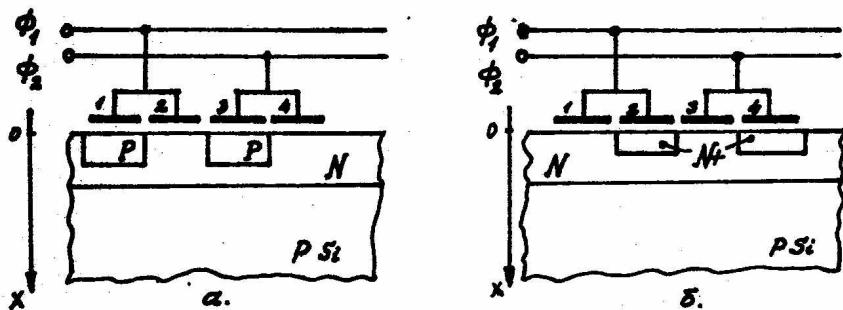
УВОД

Структурите със зарядно пренасяне (СЗП) имат различни приложения в съвременната електронна техника, едно от които е използването им като датчици (сензори) – например линейни и матрични фотопреобразуватели и др. За работа на преобразувателите при по-високи честоти е необходимо използването на СЗП с по-висока тактова честота, resp. с по-голямо бързодействие. На това изискване отговарят структурите с обемно зарядно пренасяне (СОЗП) поради по-голямата скорост на токоносителите и по-големите стойности на краевото поле в обема на полупроводника спрямо същите на повърхността му. Съществен техен недостатък обаче е по-малкият им заряден капацитет в сравнение с този при структурите с повърхностно зарядно пренасяне (СПЗП). Ето защо увеличаването на зарядния капацитет на СОЗП е

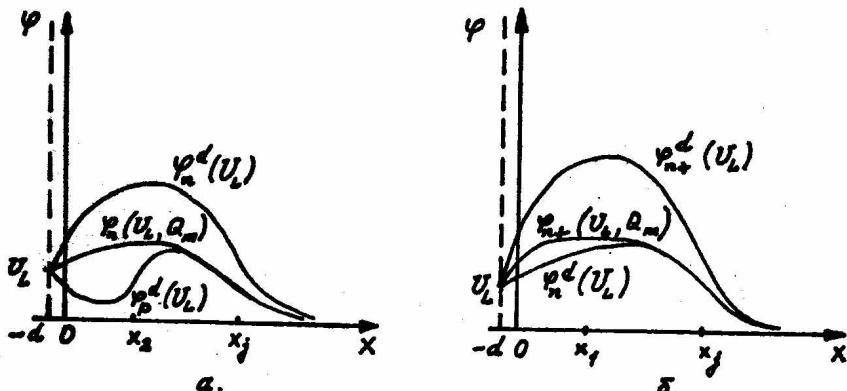
доста актуално и води до получаването на по-голям изходен сигнал, съответно до по-голяма шумоустойчивост на структурата.

СЪЩИНСКА ЧАСТ

В литературата [1] са известни два вида двутактни N -канални СОЗП с повърхностни области (фиг.1). Едната е с P области под блокиращите електроди, а другата е с N^+ области под електродите за съхранение на информационния заряд. Втората СОЗП има по-голям заряден капацитет от първата [1]. Съответните потенциали на канала при празна и пълна потенциална яма и потенциалите под блокиращите електроди са дадени на фиг.2.

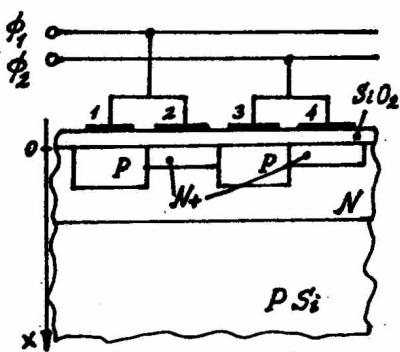


Фиг.1

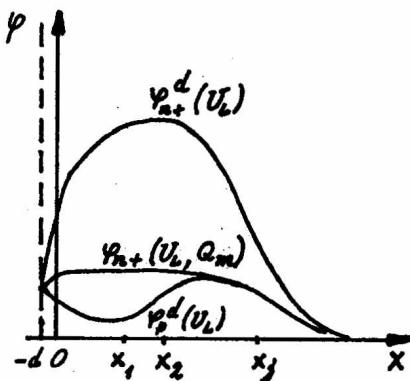


Фиг.2

В настоящата работа се предлага нов вид двутактна N -канална СОЗП с редуващи се P и N^+ повърхностни области (фиг.3). Тя се състои от слаболегирана полупроводникова подложка с P тип проводимост, върху която е разположен слаболегиран обемен слой с N тип проводимост, в приповърхностната част на който се намират редуващи се P и N^+ (силно легирани) области, които контактуват помежду си. Върху полупроводника е разположен тънък диелектричен слой, върху който алтернативно са разположени два вида управляващи електроди – за блокиране (над P областите) и за съхранение (над N^+ областите). Съответната потенциална картина за тази СОЗП е дадена на фиг.4.



Фиг.3



Фиг.4

Действието на предлаганата СОЗП е следното:

Първоначално обемният N слой и повърхностните P и N^+ области се обединяват изцяло от основни токоносители чрез преднапрежение, подавано на N слоя спрямо подложката. При подаване на ниското ниво на управляващото напрежение U_L потенциалът под блокиращите електроди в отсъствие на информационен заряд се изменя по крива 1 на фиг.4, а под електродите за съхранение – по крива 2. Когато се въведе информационен заряд, чието количество нараства, потенциалът под електрода за съхранение започва да спада (крива 3 на фиг.4) до изравняване с максимума на потенциала от крива 1. Благодарение на въвеждането на P областта максимумът на потенциала под блокиращия електрод (крива 1) е по-малък от максимума на потенциала под същия електрод без наличие на P област. Тази разлика в потенциалите създава възможност за увеличаване на зарядния капацитет на структурата, оттам получаване на по-голям изходен сигнал,resp. повишенна шумоустойчивост.

Предимството на новата СОЗП – по-големия изходен сигнал, респ. повишената шумоустойчивост, се основава на по-големия ѝ заряден капацитет спрямо известната СОЗП с N^+ области при равни други условия – дадени стойности на параметрите на структурата (размери и степен на легиране на различните слоеве и области) и управляващите напрежения. Доказателството на това твърдение може да се извърши строго математически, използвайки формули от литературата.

Зарядният капацитет (зарядната способност) Q_m на една СЗП представлява максимално възможното количество информационен заряд, с който тя може да работи. В [1] се дава следният израз за зарядния капацитет на СОЗП с N^+ повърхностни области:

$$(1) \quad Q_m = q \cdot \left[N_1 \cdot (x_1 - x_d) + N_D \cdot (x_j - x_n - x_1) \right],$$

където $\eta = \epsilon_S / \epsilon_i$, $k_0 = 1 + N_D / N_A$,

$$(2) \quad \begin{aligned} x_d &= -\eta \cdot d + \left[(\eta \cdot d)^2 + \frac{2}{a_1} \cdot (\bar{\varphi} - U_L) \right]^{1/2}, \\ x_n &= \left(\frac{2}{a_D} \cdot \frac{\bar{\varphi}}{k_0} \right)^{1/2}, \quad a_i = \frac{q \cdot N_i}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_S}, \quad i = 1, 2, A, D. \end{aligned}$$

Тук q е зарядът на електрона, x_i – дълбочината на повърхностна област, N_i – концентрацията на примеси във:

- а) за $i = 1$ – повърхностната N^+ област;
- б) за $i = 2$ – повърхностната P област,
- в) за $i = A$ – подложката,
- г) за $i = D$ – обемния N слой;

x_d – дълбочина на приповърхностната обеднена област, дължаща се само на управляващото напрежение, подавано на гейта;

x_j – дебелина на обемния N слой;

x_n – ширина на частта от обеднената област на обратно свързания PN преход обемен слой – подложка, намираща се само в N слоя;

d – дебелина на диелектрика;

ϵ_0 – диелектрична проницаемост на вакуума;

ϵ_S – относителна диелектрична проницаемост на полупроводника;

ϵ_i – относителна диелектрична проницаемост на диелектрика;
 $\bar{\Phi}$ – максимум на потенциала в дълбочина на полупроводника в частта с N^+ повърхностна област.

Изразите за x_d и x_n в (2) са валидни при условие, че

$$(3) \quad \bar{\Phi} > U_L > 0.$$

В (1) $\bar{\Phi}$ не трябва да надвишава потенциалния максимум на съседните области, за да не се загуби информационен заряд. При СОЗП с N^+ области $\bar{\Phi}$ е равен на потенциалния максимум в дълбочина на полупроводника в частта без N^+ област при пълно обединяване на N слоя и управляващо напрежение U_L :

$$(4) \quad \bar{\Phi} = \bar{\Phi}_n^d(U_L).$$

За зарядния капацитет на предлаганата СОЗП може да се използува (1), с тази разлика, че тук $\bar{\Phi}$ ще бъде равен на максимума на потенциала в дълбочина на полупроводника в частта с P област при пълно обединяване на N слоя и P областта за U_L :

$$(5) \quad \bar{\Phi} = \bar{\Phi}_p^d(U_L).$$

Твърдение 1: Q_m е намаляваща функция на $\bar{\Phi}$ за $U_L > 0$.

Доказателство: Ако първата производна на функцията $Q_m(\bar{\Phi})$ е отрицателна в разглежданата дефиниционна област, то тя е намаляваща.

Диференцираме (1) спрямо $\bar{\Phi}$ и получаваме

$$(6) \quad \frac{dQ_m}{d\bar{\Phi}} = -\epsilon_0 \cdot \epsilon_s \cdot \left\{ \left[(\eta \cdot d)^2 + \frac{2}{a_1} \cdot (\bar{\Phi} - U_L) \right]^{\frac{1}{2}} + \left(2 \frac{k_0}{a_D} \cdot \bar{\Phi} \right)^{-\frac{1}{2}} \right\}.$$

Действително $\frac{dQ_m}{d\bar{\Phi}} < 0$ при изпълнение на условие (3).

От твърдение 1 следва, че ако $\bar{\Phi}_1 < \bar{\Phi}_2$, то $Q_m(\bar{\Phi}_1) > Q_m(\bar{\Phi}_2)$. Тогава, за да се докаже, че зарядният капацитет на предлаганата СОЗП

$Q_m[\bar{\Phi}_p^d(U_L)]$ е по-голям от този на известната СОЗП $Q_m[\bar{\Phi}_n^d(U_L)]$, е достатъчно да се докаже, че

$$(7) \quad \bar{\Phi}_p^d(U_L) < \bar{\Phi}_n^d(U_L).$$

За целта ще докажем следното твърдение:

Твърдение: Функцията $\bar{\Phi}(V)$ е растяща за $V > 0$.

Доказателство: Ако първата производна на функцията $\bar{\Phi}(V)$ спрямо V е > 0 , то тя е растяща в дадената дефиниционна област.

Максимумът на потенциала се дава с израза

$$(8) \quad \bar{\Phi} = k_V \cdot \left[V + V_0 - \left(2V_0V + V_0^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right],$$

където: $k_V = 1 + N_A/N_D$, $V = U_L + V_i$, $V_0 = a_A \cdot (x_j + \eta \cdot d)^2$.

Тук V_i е константа на СОЗП, различната за различните ѝ части – без повърхностна област, т.е. само с обемен N слой (V_{in}) и с P област (V_{ip}):

$$(9) \quad V_{in} = a_D \cdot x_j \cdot (x_j/2 + \eta \cdot d),$$

$$(10) \quad V_{ip} = a_D \cdot x_j \cdot (x_j/2 + \eta \cdot d) - (a_2 + a_D) \cdot x_2 \cdot (x_2/2 + \eta \cdot d).$$

Ако прибавим U_L към различните V_i , ще получим съответно V_n и V_p :

$$(11) \quad V_n = U_L + V_{in}, \quad V_p = U_L + V_{ip}.$$

Параметрите на P областта се подбират така, че $V_{ip} > 0$. Тогава при

$U_L > 0$ и $V_p > 0$. V_{in} е винаги > 0 /вж.(9)/, така че и $V_n > 0$.

Диференцираме (8) по V и получаваме

$$(12) \quad \bar{\Phi}'_V = k_V \cdot \left[1 - V_0 \cdot \left(2V_0 \cdot V + V_0^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \right].$$

Очевидно $K_V > 0$, затова да разгледаме израза в средните скоби:

$$(13) \quad 1 - V_0 \cdot \left(2V_0 \cdot V + V_0^2\right)^{-\frac{1}{2}} = \frac{\left(2V_0 \cdot V + V_0^2\right)^{\frac{1}{2}} - V_0}{\left(2V_0 \cdot V + V_0^2\right)^{\frac{1}{2}}}.$$

Знаменателят на (13) е положителен. За да докажем, че и числителят е положителен, ще разгледаме неравенството

$$(14) \quad 2V_0 \cdot V + V_0^2 > V_0^2.$$

То е в сила при $V_0 > 0$ и $V > 0$. Тъй като и двете страни на (14) са положителни, можем да повдигнем на степен 1/2:

$$(15) \quad \left(2V_0 \cdot V + V_0^2\right)^{\frac{1}{2}} > V_0,$$

откъдето следва, че

$$(16) \quad \left(2V_0 \cdot V + V_0^2\right)^{\frac{1}{2}} - V_0 > 0,$$

т.е. числителят на (13) е > 0 , а тогава и Твърдение 2 е вярно.

От Твърдение 2 непосредствено следва, че ако $V_1 < V_2$, то и $\bar{\Phi}(V_1) < \bar{\Phi}(V_2)$. Тъй като ние целим да докажем, че $\bar{\Phi}(V_p) < \bar{\Phi}(V_n)$, то това може да бъде изпълнено само ако $V_p < V_n$.

Да разгледаме изразите за V_n и V_p (9), (10) и (11). Двата члена на (10) са > 0 , защото са произведения и суми на реални величини, а първият му член съвпада с (9). Тогава $V_{ip} < V_{in}$.

Следователно при никаква стойност на $U_L > 0$ винаги $V_p < V_n$. По обратния път, съгласно Твърдение 2 следва, че $\bar{\Phi}(V_p) < \bar{\Phi}(V_n)$, а от Твърдение 1, че $Q_m[\bar{\Phi}(V_p)] > Q_m[\bar{\Phi}(V_n)]$.

С това е доказано теоретично, че зарядният капацитет на предлаганата СОЗП е по-голям от този на известната СОЗП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение може да се каже, че използването на предлаганата СОЗП като датчик (сензор) на основата на работата ѝ като фотопреобразувател би било доста полезно поради съчетаването на високи работни честоти и увеличен заряден капацитет, съответно повищена шумоустойчивост. При това всички елементи на структурата са съобразени със съществуващата N -канална MOS технология у нас.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Носов, Ю. Р., В. А. Шилин, "Основы ... ПЗС", М, "Наука", 1986.

АВТОРИ

Валентин Цачев Хинков, гл.ас., ЕТУ-ЕС, ТУ – София

Александър Стефанов Атанасов, д-р доц., катедра КТППМЕ, ТУ – София