

YARIMO'TKAZGICH-DIELEKTRIK CHEGARA SOHASI GENERATSIYA-REKOMBINATSIYA XARAKTERISTIKALARINI ANIQLASH USULI.

Ergasheva Muqaddasxon Abdumajitovna-NamDU "Fizika" kafedrası dotsenti.

Annotatsiya: Yarimo'tkazgich-dielektrik chegara sohasi generatsiya-rekombinatsiya xarakteristikalarini aniqlash uchun, odatda, metall-dielektrik-yarimo'tkazgich (MDYa) strukturani izotermik relaksatsiya sig'imi metodidan foydalaniladi. Bu metod yarimo'tkazgichning inversiya sohasidagi (qatlami) zaryadlarni hosil bo'lishi tezligini o'lchashga asoslangan.

Kalit so'zlar: yarimo'tkazgich, dielektrik, generatsiya, rekombinatsiya, invers qatlam, volt-farad xarakteristika, sig'im relaksatsiyasi.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕНЕРАЦИОННО- РЕКОМБИНАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАНИЦЫ ПОЛУПРОВОДНИК-ДИЭЛЕКТРИК.

*Эргашева Мукаддасхан Абдумаджитовна-НамГУ Доцент кафедры
«Физика».*

Аннотация: Для определения генерационно-рекомбинационных характеристик граничной области полупроводник-диэлектрик обычно используют метод изотермической релаксационной емкости структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Этот метод основан на измерении скорости образования зарядов в инверсионной области (слое) полупроводника.

Ключевые слова: полупроводник, диэлектрик, генерация, рекомбинация, инверсный слой, вольт-фарадная характеристика, релаксация емкости, плотность поверхностных состояний.

METHOD FOR DETERMINING GENERATION-RECOMBINATION CHARACTERISTICS OF THE SEMICONDUCTOR-DIELECTRIC BOUNDARY.

Ergasheva Mukaddaskhan Abdumadzhitovna-Namus State University Associate
Professor of the Department of Physics.

Abstract: To determine the generation-recombination characteristics of the semiconductor-insulator boundary region, the method of isothermal relaxation capacitance of the metall-dielektor-semiconductor (MDS) structure is usually used. This method is based on measuring the rate of charge formation in the inversion region (layer) of a semiconductor.

Key words: semiconductor, dielectric, generation, recombination, inverse layer, capacitance-voltage characteristic, capacitance relaxation.

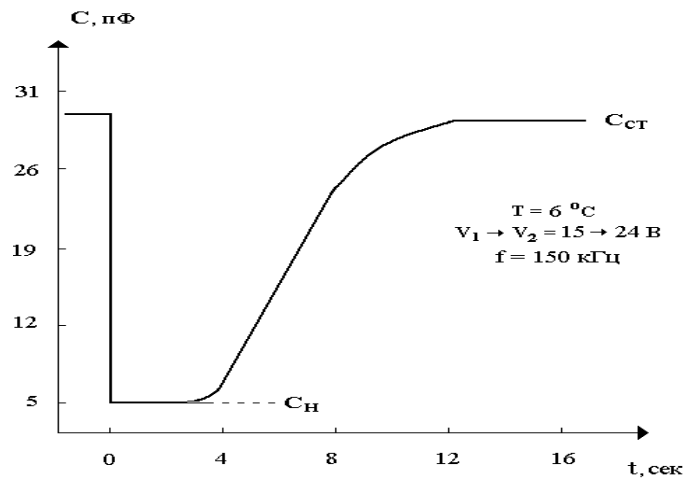
Kirish. Barcha yarimo'tkazgichli asboblarni tarkibiy qismi almashib keluvchi yarim-o'tkazgich-dielektrik qatlamlarni joylashishidan iborat. Xususan, bu yarimo'tkazgich-dielektrik chegara sohasiga taaluqlidir. Yarimo'tkazgich-dielektrik orasidagi o'tish sohasini ikkita qattiq muhit (faza)ni ajratib turuvchi soha deb qarash mumkin. Ushbu soha chegarasida (ichida) fizik-ximik strukturalar buzilishi, shuningdek (demak) yarimo'tkazgich va dielektrikning elektrofizik xarakteristikalarini o'zlarining (ularning) hajmiy (xususiyatlaridan) fizik xossalaridan farq qiladi. Yarimo'tkazgich-dielektrik sistemaning o'tish sohasi turli faol muhitlarda yarimo'tkazgich sirtini uzoq muddatli texnologik qayta ishlash jarayonlarida shakllanadi yuqori temperaturalarda faol muhitlarning ta'siri yarimo'tkazgichning sirt sohasi strukturalari davriyligini buzilishiga va yarimo'tkazgich va dielektrikning sirt sohalariga aralashma atomlarining kiritilishi fazoviy tarkiblarni bir jinsli bo'lmagan holatlariga olib keladi [1]. Bu esa o'z navbatida, o'tish sohasida "kuchlangan" va uzilgan bog'lanishlarning shakllanishiga, harakatchan zaryad tashuvchilarning qayta taqsimlanishiga hamda ularning joylashuvlariga olib keladi. O'tish sohalari

parametrlarini, shu sohada joylashgan va birlik yuzaga keltirilgan zaryad miqdorlari bilan xarakterlash maqsadga muvofiqdir.

MDYa strukturaga sirt o'tkazuvchanligi inversiyasiga mos keluvchi kuchlanish berilganda, strukturaning sig'imi vaqt bo'yicha, o'zining boshlang'ich-muvozanatsiz holatidan oxirgi-muvozanatli holatiga relaksatsiyalanadi. Bu relaksatsiya jarayoni inversiya sohasi (qatlami) zaryadining hosil bo'lishi bilan bog'liqdir, ya'ni, yarimo'tkazgich-dielektrik chegara sohasida joylashgan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar [2]. Strukturani "yassi zonalar" holatidan inversiya holatiga o'tkazuvchi impuls kuchlanish berilgandan so'ng, relaksatsiyani boshlanish holatidan keyingi t vaqt momentidagi energetik diagrammasi 1-rasmda ko'rsatilgan. Rasmda ko'rsatilgan ΔE - energetik intervalda, impuls kuchlanishi berilgandagi sirt holatlarining qayta zaryadlanishi kuzatiladi. Muvozanatda bo'lmagan kambag'allashgan soha kengligining W_2-W_1 o'zgarishi va sig'im relaksatsiyasining vaqtga bog'lanishi $C(t)$, hajmiy zaryadlar sohasidagi va yarimo'tkazgich-dielektrik chegara sohasidagi elektron-kovak juftliklarining generatsiyasiga, hada tok tashuvchilarning yarimo'tkazgich hajmidan diffuziyasiga asoslangandir. Generatsiya natijasida hosil bo'lgan asosiy bo'lmagan tok tashuvchilar (kovaklar) sirt yuzasiga (to'planadi) oqib keladi va tashqi maydonni ekranlovchi inversiya sohani (qatlamini) hosil qiladi. Asosiy zaryad tashuvchilar elektronlar esa, fazoviy zaryadlar sohasi chegarasiga (oqadi) haraktlanadi va kambag'alashgan soha zaryadlarini neytral holatiga o'tkazadi [3].

$$Q_{kamb} = qN_d W(t)$$

Bu jarayonlar fazoviy zaryadlar sohasi kengligini W kamaytiradi va natijada metall-dielektrik-yarimo'tkazgich struktura sig'imi ortadi. 1-rasmda kuchlanishning $V_1 \rightarrow V_2$. o'zgarishidan so'ng metall-dielektrik-yarimo'tkazgich struktura sig'imi o'zgarishi ko'rsatilgan.



1-rasm. MDYa strukturaning sig'im relaksatsiyasi.

Ko'rib chiqilayotgan struktura uchun, elektr kattaliklarining umumiy sharoitlari quyidagicha bo'ladi:

$$Q_g = -(Q_s + Q_{ss} + Q_f) = C_d U \quad (1)$$

Bu yerda: Q_s – faoviy zaryadlar sohasidagi zaryad;

Q_{ss} - sirt holatlari zaryadi;

Q_f - dielektrikdagi fiksirlangan zaryad;

C_d - dielektrik sig'imi;

U – MDYa strukturaga qo'yilgan kuchlanish.

(1) ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$-Q_g = [\Delta Q_{ss}(t) + Q_p(t)] + qN_d W(t) + [Q_f + Q_{nn}] = -C_d U \quad (2)$$

Bu yerda: Q_{pl} -sirtidagi tuzoqlar ushlab qolgan zaryadlar, (2) ifodadagi oxirgi had $[Q_f + Q_{pl}]$ vaqtga bog'liq emas. Birinchi had esa $[\Delta Q_{ss}(t) + Q_p(t)]$, yaimo'tkazgich-dielektrik chegara sohasi yaqinidagi yupqa sohada joylashgan sirt holatlari va invers qatlamidagi (sohada) yig'indi zaryadlar. Bu zaryadlar, generatsiyalangan zaryad tashuvchilar jamlanishi mobaynida zgarib boradi [4]. Ushbu jarayonni hisobga olgan holda, strukturaga qo'yilgan kuchlanishni ifodalovchi tenglikka ega bo'lamiz:

$$V_g = U + V_{o6} = -\frac{1}{C_d} \left[qN_d W + \frac{qN_d W^2 C_d}{2\varepsilon_0 \varepsilon_s} + (\Delta Q_{ss} + Q_p) \right] \quad (3)$$

Bunda: V_{kamb} -kambag'allashgan sohadagi kuchlanishning tushishi: ε_0 - vakuumning dielektrik singdiruvchanligi. ε_s -sirt dielektrik singdiruvchanlik. Yassi

kondensatorning sig'imi ifodasidan foydalanib $C_d = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_d}{d_{ox}}$ (d_{ox} – dielektrik qatlam qalinligi) va umumiy yig'indi zaryad $\Delta Q_{ss}(t) + Q_p(t)$ ni $Q(t)$ deb belgilab, oxirgi tenglikdan quyidagi ifodani olamiz:

$$Q(t) = -C_d V_g - \frac{qN_d}{C_d} \left(C_d W + \frac{\varepsilon_d C_d W^2}{2\varepsilon_s d_{ox}} \right) \quad (4)$$

Muvozanatda bo'lmagan kambag'allashgan sohada metall-dielektrik-yarimo'tkazgich strukturaning yuqori chastotali sig'imi $S(t)$, yarimo'tkazgich kambag'allashgan sohasi kengligi $W(t)$ bilan quyidagicha ifodalanganligini hisobga olsak:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_d} + \frac{1}{C_{o6}} = \frac{1}{C_d} + \frac{W}{\varepsilon_0 \varepsilon_s} \quad (5)$$

(bunda: S – struktura sig'imi;; C_d – kambag'allashgan soha sig'imi) u holda (4) ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$Q(t) = -C_d V_g - \frac{qN_d \varepsilon_0 \varepsilon_s}{2C_d} \left[\left(\frac{C_d}{C(t)} \right)^2 - 1 \right] \quad (6)$$

(6) ifodani differentsiallab va zaryad o'zgarishining tezligi $Q(t)$, zaryad generatsiyasining yig'indi tezligi $G(t)$ ekanligini, ya'ni,

$$G(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{qN_d \varepsilon_0 \varepsilon_s}{2C_d} \frac{d}{dt} \left(\frac{C_d}{C(t)} \right)^2 = \frac{qN_d \varepsilon_0 \varepsilon_s C_d}{(C(t))^3} \frac{dC}{dt} \quad (7)$$

Yarimo'tkazgich fazoviy zaryadlar sohasidagi inversiya qatlamidagi va sirt holatlaridagi zaryadlar generatsiyasining yig'indi tezligini (7) ifodadan foydalanib

eksperimental holda ikkita usul bilan aniqlash mumkin [5]. Masalan, $G(t)$ ni hisoblash uchun, ixtiyoriy vaqt momentida strukturaning yuqori chastotali sig'imini $S(t)$ o'lchash kerak va sig'im relaksatsiyasi egriligining ushbu nuqtasida dC/dt ni aniqlash kerak (masalan: grafik differentsiyalash usuli bilan). Ikkinchi usul esa quyidagicha: $S(t)$ relaksatsiya egriligini koordinatalarda $(Sd/C(t))^2$ koordinatalarda chizish va olingan bog'lanishni grafik usulda differentsiyalash. MDYa strukturalardagi issiqlik generatsiya jarayonlari zaryad tashuvchilar oqimi uchun umumiy ifodani beradi:

$$G(t) = q(G_s + G_o + G_{sk} + I_{pd}) \quad (8)$$

Bu jaryonlar hajmiy parametrlar (G_o), sirt (G_s) generatsiya markazlari parametrlari, fazoviy zaryadlar chegara sohalari xarakteristikalar (G_{sk}) va diffuziya jarayonlarini (I_{pd}) o'z ichiga oladi. Agar, eksperimental holda aniqlangan generatsiya tezligi, fazoviy zaryadlar chegara sohasidagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning to'la oqimiga tenglashtirsak, (7) yoki (8) ifodadan foydalanib quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$\frac{qN_d \varepsilon_0 \varepsilon_s C_d}{(C(t))^3} \frac{dC}{dt} = q \left\{ n_i S_g + \left(1 - \frac{n_p}{n_i^2} \right) \left[\frac{n_i W}{\tau_{go}} + \frac{n_i W_k}{\tau_{gk}} \right] + I_{pd} \right\} \quad (9)$$

So'ngra, eksperimental va nazariy bog'lanishlarni taqqoslash analizlaridan generatsiyaning asosiy mexanizmini aniqlash mumkin, shu bilan birga yuqorida ko'rsatilgan generatsiya-rekombinatsiya parametrlarini baholash mumkin [6]. Masalan, diffuziya jarayonini I_{pd} tashkil etuvchilari, xona temperaturasida, kremniy asosidagi strukturalar uchun odatda juda kichik, sezilarsiz darajada. Agar, fazoviy zaryadlar sohasi chegarasidagi kontakt oldi sohalar ta'sirini hisobga olmasak, u holda, G_{sk} soha oqimini tashkil etuvchilarini ham e'tiborga olmasa bo'ladi. Unda masala soddalashadi. Masala sirt sathlari orqali fazoviy zaryadlar sohasidagi hajmiy markazlar $G_s(t)$ orqali o'tuvchi generatsiya tezliklariga ajraladi. Fazoviy zaryadlar sohasidagi hajmiy inertsia jadalligini quyidagicha yozish mumkin:

$$G_o = \frac{n_i \Delta W(t)}{\tau_{go}} = \frac{n_i [W(t) - W_\infty]}{\tau_{go}} = \frac{n_i \varepsilon_0 \varepsilon_s}{\tau_{go} C_d} \left[\frac{C_{ct}}{C(t)} - 1 \right] \quad (10)$$

bu ifodada, muvozanat holatdagi, o'zgarmas sig'im C_{st} va relaksatsiyali sig'im $S(t)$ muvozanatdagi fazoviy zaryadlar sohasi kengligi W_∞ va relaksatsiya holatdagi kengligi $W(t)$ quyidagi ifoda orqali bog'langan:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_d} + \frac{1}{C_D} = \frac{1}{C_d} + \frac{W}{\varepsilon_0 \varepsilon_s} \quad (11)$$

SHunday qilib, ushbu holda yig'indi rekombinatsiya jadalligining natijaviy ko'rinishi quyidagicha:

$$G(t) = q(G_s + G_o) = -\frac{qN_d \varepsilon_0 \varepsilon_s}{2C_d} \frac{d}{dt} \left[\frac{C_d}{C(t)} \right]^2 = qn_i S_g + \frac{qn_i \varepsilon_0 \varepsilon_s}{\tau_{go} C_{ct}} \left[\frac{C_{ct}}{C(t)} - 1 \right] \quad (12)$$

Yoki, qulay ko'rinishda:

$$-\frac{d}{dt} \left[\frac{C_d}{C(t)} \right]^2 = \frac{2C_d n_i S_g}{\varepsilon_0 \varepsilon_s N_d} + \frac{2C_d n_i}{C_{ct} N_d \tau_{go}} \left[\frac{C_{ct}}{C(t)} - 1 \right] \quad (13)$$

(13) ifodani diferentsiyallab, quyidagini yozamiz:

$$\frac{1}{C^3} \frac{dC}{dt} = \frac{n_i S_g}{q\varepsilon_0 \varepsilon_s N_d C_d} + \frac{n_i}{C_d N_d \tau_{go}} \left(\frac{C_{ct}}{C(t)} - 1 \right) \frac{1}{C_{ct}} \quad (14)$$

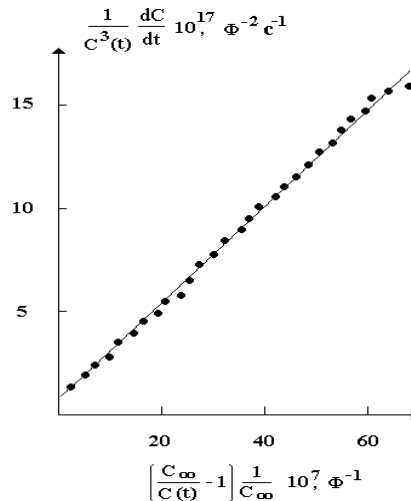
Olingan ifoda, siljish kuchlanishi $V_1 \rightarrow V_2$ o'zgargandan so'ng, MDYa strukturalardagi inversiya qatlamini hosil bo'lishining relaksatsiya jarayonini ifodalaydi. Ushbu tenglama koordinatalarda to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'ladi:

$$x = \left(\frac{C_{ct}}{C(t)} - 1 \right) \frac{1}{C_{ct}}, \quad y = \frac{1}{C^3} \frac{dC}{dt} \quad (15)$$

Sirt generatsiyasi tezligi S_g va asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar yashash vaqti τ_g parametrlarni a va b bog'lanishlarning tangens burchagidan aniqlanadi. b

koeffitsient bog'lanishlarning $\frac{1}{C^3} \frac{dC}{dt}$ o'qi bo'yicha siljishini bildiradi. a va b koeffitsientlarsa kichik kvadratlar usulidan foydalanib topiladi [7]. Bog'lanish

egriligining tangens burchagi yarimo'tkazgichdagi asosiy tok tashuvchilarning yashash vaqtiga to'g'ri proporsional. «x»=0 bo'lganda, bog'lanish «u» o'qidan o'tganda hosil bo'lgan kesma zaryad tashuvchilarning sirt generatsiyasi tezligini aniqlash imkonini beradi (2-rasm).



2-rasm. (14) ifodadan foydalanib MDYa struktura uchun aniqlangan eksperimental S(t) bog'lanish.

Bundan:

$$S_g = \frac{C_d N_d \varepsilon_s \varepsilon_0 b}{n_i} \quad (16)$$

$$\tau_g = \frac{n_i}{C_d N_d a} \quad (17)$$

Ifodalarda: C_d – boyituvchi kuchlanishlarga mos keluvchi oksid qatlami sig'imi, N_d – donorli aralashma konsentratsiyasi, ε_s -kremniyning dielektrik singdiruvchanligi, ε_0 -dielektrik doimiylik, n_i -berilgan temperaturada kremniydagi zaryad tashuvchilarning xususiy konsentratsiyasi, a -olingan bog'lanishlarning egrilik

burchagi, b - bog'lanishlarning $\frac{1}{C^3} \frac{dC}{dt}$ o'q bilan kesishgan nuqtasi.

Xulosa. Metall-dielektrik-yarimo'tkazgich (MDYa) strukturani izotermik relaksatsiya sig'imi metodidan foydalanish yarimo'tkazgich-dielektrik chegara sohasini generatsiya-rekombinatsiya xarakteristikalarini aniqlash imkonini beradi.

Yaniy turli sharoitlarda (har-xil temperaturalar, kuchlanish o'zgarishlari) foydalanib, yarimo'tkazgichni fazoviy zaryadlar sohasida joylashgan generatsiya markazlarini ham parametrlarini aniqlash mumkin. Turli temperatura intervallarida MDYa strukturalarni sig'im relaksatsiyasi bog'lanishlarini (kuchlanishni V_1 - V_2 o'zgartirib) o'lchab, tangens burchakni temperaturaga bog'liq xarakteristikasidan energetik parametrlarni va yarimo'tkazgichda joylashgan hajmiy generatsiya markazlari xarakteristikalarini aniqlash mumkin [8]. Yoki boshqacha aytganda zaryad tashuvchilar yashash vaqtini temperaturaga bog'lanish ifodasidan:

$$\tau_g = \tau_0 \exp\left(\frac{E_g}{kT}\right)$$
 zaryad tashuvchilar inertsiasini jarayoni o'tayotgan energetik sathni energiyalar bo'yicha joylashish chuqurligini E_g topish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Гуртов А.В. Твердотельная электроника. Петрозаводск. «Петр Гу» 2004. С.312.
2. Берман Л.С, Лебедев А.А. Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках. Ленинград. «Наука». 1981. С.184.
3. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники. Москва. «Высшее образование». 2009. С. 463.
4. Власов С.И. Электрические методы измерения параметров полупроводниковых структур. Ташкент. «Университет». 2007. С.172 .
5. Захаров А.Г, Богданов С.А. Моделирование вольт-фарадных характеристик МДП-структур с неоднородным распределением основной легирующей Примеси // Известия ТРТУ. -Таганрог, 2006.- № 9. -С. 57-61.
6. Зайнабидинов С.З, Власов С.И, Насиров А.А. Не равновесные процессы на границе раздела полупроводник-диэлектрик. Ташкент. «Университет». 1995. С.112.

7. Власов С.И, Базарбаев М.И, Назыров Д.Э, Эргашева М.А. Влияние давления на свойства структур металл-стекло-полупроводник //Доклады АН РУз. -Ташкент, 2006. -№ 3.- С.24-27.
8. Власов С.И., Эргашева М.А., Адылов Т.П. Влияние давления на электрофизические свойства межфазной границы Si-многокомпонентное стекло. //Материалы конференции «Фотоэлектрические явления в полупроводниках». –Ташкент, -2004.- С. 71-72.