

FOTOELEKTRIK O‘TKAZUVCHANLIK ORQALI GIDRIDLANGAN AMORF KREMNIY PARDALARIDA REKOMBINATSION JARAYONLARNI O‘RGANISH.

Babaxodjeyev Umar Samsaxodjeyevich

Namangandavlat instituti, dotsent

Nabiyev A‘zamjon Botirjonovich

Namangan davlat universiteti, dotsent

Usmanov Muhammad Abduxalil o‘g‘li

Namangan davlat universiteti, dotsent

Botirjonov Akmaljon A‘zamjon o‘g‘li

University of Business and Science, o‘qituvchi

Abduvaliyev Abdulaziz Abdukarim o‘g‘li

Namangan davlat universiteti, talaba

Email: anabiyev76@mail.ru

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18978212>

Annotatsiya. Ushbu maqolada a-Si:H pardalarida stasionar fotoelektrik o‘tkazuvchanlikning haroratga bog‘liqligi (The method temperature dependence Steady-State Photoconductivity) orqali rekombinatsion jarayonlar mexanizmi o‘rganilgan. Uzlüksizlik va elektroneytrallik tenglamalari yechimlaridan foydalangan holda, kuchli legirlangan a-Si:H pardalar uchun olingan $\sigma \sim \sigma_0(1/T)$ bog‘lanishidagi nomonotonlik, turli harorat oralig‘ida D-markazlarda rekombinatsion jarayonlarning turlicha sodir bo‘lishi natijasida yuzaga kelishi ko‘rsatilgan.

Kalit so‘zlar. Gidridlangan amorf kremniy, fotoelektrik o‘tkazuvchanlik, xususiy o‘tkazuvchanlik, rekombinatsiya markazlari, generatsiya tezligi, o‘rtacha yashash vaqti, harakatchanlik tirqishi.

Аннотация. В данной статье рассмотрены механизмы рекомбинационных процессов на основе температурной зависимости стационарной фотоэлектрической проводимости (The method temperature dependence Steady-State Photoconductivity) на плёнках a-Si:H. Используя решения уравнений непрерывности и электронейтральности для плёнок сильно легированного аморфного a-Si:H кремния, показано, что полученные в различных температурных интервалах немонотонный ход в зависимости $\sigma \sim \sigma_0(1/T)$ вызвано различием механизмов рекомбинационных процессов D – центром.

Ключевые слова: Аморфной гидрогенизированный кремний, фотопроводимость, центры рекомбинации, скорость генерации, среднее время жизни, щель подвижности.

Annotation. In this manuscript, it was investigated that the mechanism of recombinational processes in the film of a-Si: H in terms of the dependence of Stationary photoconductivity on temperature (The method of the dependence of Steady-State Photoconductivity on temperature). By using the solutions of continuity and electric equilibrium equations, they were explained that non-monotony and recombination processes is differently related to D-centers by division temperature into two intervals for the strongly absorbed a-Si:H are evident from the relation of $\sigma \sim \sigma_0(1/T)$.

Key words: Hydrogenated Amorphous Silicon (a-Si:H), Photoelectric conductivity, private conductivity, centers of recombination, speed of generation, average lifetime, crack of mobility.

Amorf gidrogenizatsiyalangan kremniy (a-Si:H) ham ilmiy, ham amaliy nuqtai nazardan istiqbolli amorf yarim o‘tkazgich hisoblanadi. a-Si:H o‘zining yuqori fotoelektrik o‘tkazuvchanligi, keng spektral oraliqda yuqori yutish koeffitsienti hamda legirlash samaradorligi bilan ilmiy tadqiqotchilar uchun turli usullarni qo‘llash imkoniyatini yaratadi. Amaliy jihatdan esa u asosida tannarxi arzon qurilmalar tayyorlash mumkinligi va uni o‘stirish texnologiyasining samaradorligi, ya‘ni nisbatan past harorat oralig‘ida (200 °C ~ 600 °C) turli qalinlikdagi katta yuzali pardalarni olish imkoniyati bilan ajralib turadi.

a-Si:H asosida juda ko‘plab fotoelektrik qurilmalar yaratilgan: quyosh elementlari, fotoelementlar, vidikonlar, maydon tranzistorlar (suyuq kristalli displeylar uchun), xotira elementlari va boshqalar.

Ma‘lumki, yarim o‘tkazgichli qurilmalar yaratishda a-Si:H ning fotoelektrik kattaliklari muhim ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, uning fotoelektrik parametrlarining keng harorat intervalida o‘zgarishi

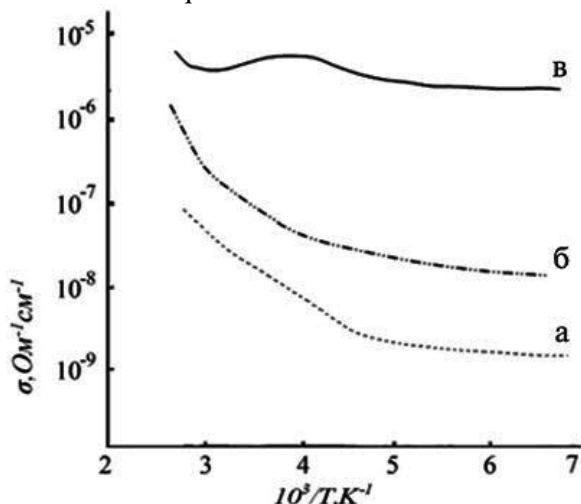
“Ilmiy tadqiqotlarni amaliyotga joriy qilishning muammo va yechimlari” mavzusidagi onlayn xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallar to‘plami. NamDU - 2026-yil 20-21-fevral

katta ahamiyatga ega. Buning asosiy sabablaridan biri kosmik tadqiqotlarga mo‘ljallangan quyosh elementlarining keng harorat oralig‘ida ishlashidir.

Shuni hisobga olib, ushbu maqolada kuchli va kuchsiz legirlangan a-Si:H pardalarining fotoelektrik o‘tkazuvchanligini haroratga bog‘liqligi orqali rekombinatsion jarayonlar mexanizmi tadqiq etiladi.

Tok tashuvchilarning μ va τ kattaliklarini aniqlashda eng ko‘p qo‘llaniladigan tadqiqot usullaridan biri stasionar fotoelektrik o‘tkazuvchanlikning haroratga bog‘liqligini (Steady-State Photoconductivity — SSPC) o‘rganishdir.

Adabiyotlar tahlilidan ma‘lum bo‘lishicha, bu usulda asosan $\sigma_{ph}(1/T)$ bog‘lanish o‘rganiladi. [1,2,3] ishlarda olingan (1-rasm) grafiklardan ko‘rinib turibdiki, ushbu bog‘lanishni bitta funksiya orqali ifodalab bo‘lmaydi. Shu sababli fotoelektrik o‘tkazuvchanlik grafigining turli sohalarini alohida tadqiq qilish orqali tok tashuvchanlik mexanizmi haqida batafsil ma‘lumot olish mumkin.

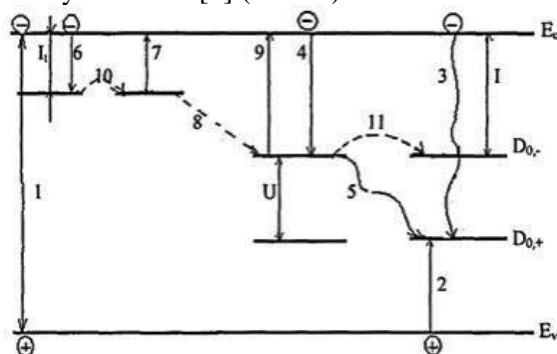


1-rasm. Kuchli legirlangan a-Si:H (a, b) hamda kuchsiz legirlangan, ammo xususiy o‘tkazuvchanlikka ega a-Si:H (B) pardalar uchun $\sigma(1/T)$ bog‘lanish keltirilgan.

1-rasmda kuchli legirlangan a-Si:H (a, b) va kuchsiz legirlangan, ammo xususiy o‘tkazuvchanlikka ega a-Si:H (B) pardalar uchun $\sigma(1/T)$ bog‘lanish tasvirlangan. Bunday usulda o‘lchov ishlari komplanar strukturada (1-rasm, B) bajariladi.

Yorug‘lik a-Si:H pardasining butun hajmida bir tekis yutilgani sababli, namunaning barcha qismida nomuvozanatli tok tashuvchi kovaklar bir xil taqsimlanadi.

Fotoelektrik o‘tkazuvchanlikning haroratga bunday bog‘liqligini tushuntirish uchun a-Si:H ning harakatchanlik tirqishidagi D-markazlar diskret energetik sathlarda taqsimlangan deb qabul qilinadi va quyidagi taqsimlanish modelidan foydalaniladi [6] (2-rasm).



2-rasm. a-Si:H tizimida elektronlarning o‘tishi.

3-To‘lqinli chiziqlar bilan rekombinatsion o‘tishlar, shtrixli chiziqlar bilan markazdan-markazga sakrashlar ko‘rsatilgan.

U — ikki elektronli musbat korrelyatsiya energiyasi.

Shunga ko‘ra, uzluksizlik va elektroneytrallikning kinetik tenglamalari quyidagi ko‘rinishda yoziladi.

“Ilmiy tadqiqotlarni amaliyotga joriy qilishning muammo va yechimlari” mavzusidagi onlayn xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallar to‘plami. NamDU - 2026-yil 20-21-fevral

$$\sigma = e\Delta n\mu_n + e\Delta p\mu_p \quad (1)$$

$$\Delta N_0 \frac{\partial f}{\partial t} = p_t - p_{t0} + N_0^+ - N^+ + N_0^0 - N^0 \quad (2)$$

Bu yerda Δn va Δp — nomuozanlatli elektron va kovaklarning ortiqcha konsentratsiyasi, p_{t0} va p_t — valent soha dumidagi tutqichlarda kovaklarning mos ravishda muvozanatli va nomuozanlatli konsentratsiyasidir.

N_0^0 va N^0 D^0 -markazlarning yoritilmagan va yoritilgan holatdagi konsentratsiyasi.

N_0^+ va N^+ D^+ -markazlarning yoritilmagan va yoritilgan holatdagi konsentratsiyasi.

a-Si:H legirlangan bo‘lgani sababli (1) tenglamada $\Delta n \approx 0$ deb faraz qilamiz.

Bundan tashqari $\frac{\sigma_{ph}}{\sigma_T} \approx 10^2 - 10^4$ tegishli munosabatga ko‘ra $p_t \gg p_{t0}$ bo‘ladi. *p*-tip *a-Si:H*

larda asosiy rekombinatsiya markazlari sifatida D^0 -markazlar qaralganligi va to‘la konsentratsiya uchun $N_D = N_0^0 + N_0^+ = N^0 + N^+$ mos ifodani hisobga olsak, $N_D \approx N^0$ bo‘ladi. U holda termodinamik

muvozanat shartini $N_D \frac{\partial f}{\partial t} = 0$ inobatga olib, (3) ifodaga ega bo‘lamiz. $P_t = N^0$

Kovaklar uchun tutqichlar valent soha dumida taqsimlanganligi sababli, ortiqcha kovaklar o‘zgarishini quyidagicha ifodalash mumkin.

$$\frac{\Delta p}{p_t} = \frac{N_v}{N_{tp}} \exp\left(-\frac{E_v - E_{tp}}{kT}\right) \quad (4)$$

ko‘rinishida ifodalaymiz.

N_v — valent sohadagi kovaklarning effektiv konsentratsiyasi.
 N_{tp} — kovaklar uchun tutqichlarning konsentratsiyasi.
 E_{tp} — kovaklar uchun tutqichlarning energetik o‘rni.
 E_v — valent sohaning eng yuqori qismining energetik o‘rni.

Ikkinchi tomondan, yorug‘lik ta‘sirida hosil bo‘lgan kovaklarni generatsiya tezligi orqali ifodalash mumkin.

$$G = \frac{P_{tp}}{\tau_p} \quad (5)$$

Bu yerda τ_p — kovaklarning o‘rtacha yashash vaqti bo‘lib,

$$\tau_p = \frac{1}{C_p^0 \Delta p} \quad (6)$$

tenglama orqali aniqlanadi.

G — tok tashuvchilarning optik generatsiya tempi.
 C_p^0 — kovaklarning tutilish koeffitsienti.

(5) va (6) ifodalarni hisobga olib, (4) ifodani quyidagicha yozishimiz mumkin.

$$\Delta p = \left[\frac{GN_v}{C_p^0 N_{tp}} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \exp\left(\frac{E_v - E_{tp}}{2kT}\right) \quad (7)$$

U holda fotoelektr o‘tkazuvchanlik uchun quyidagi ifodaga ega bo‘lamiz.

$$\sigma_{ph} = e\mu_p \left[\frac{GN_v}{C_p^0 N_{tp}} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \exp\left(\frac{E_v - E_{tp}}{2kT}\right) \quad (8)$$

(8) ifodadan ko‘rinib turibdiki, unda τ_p kattalik bevosita ishtirok etmaydi.

N_{tp} — kovaklar uchun tutqichlarning effektiv konsentratsiyasidir; harorat ortishi bilan ushbu tutqichlar to‘lib, tutqichlarning to‘la to‘lishi (polnogo zapolneniya lovushek — PZL) sodir bo‘ladi.

Bu holat uchun (6) ifoda mos keladi.

Demak, (8) ifodani quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin.

$$\sigma_{ph} = e\mu_p (\tau_p)^{\frac{1}{2}} \cdot (GN_v)^{\frac{1}{2}} \exp\left(\frac{E_v - E_{tp}}{2kT}\right) \quad (9)$$

1-rasmdagi 1 va 2 grafiklardan ko‘rinib turibdiki, (9) ifoda $200 \text{ K} > T < 120 \text{ K}$ oralig‘ida fotoelektrik o‘tkazuvchanlikning eksponensial o‘shishiga to‘g‘ri keladi.

Bu holatdagi rekombinatsiya mexanizmini quyidagicha tushuntirish mumkin: harorat ortishi tutqichlardagi kovaklarni valent sohaga termik faollashtiradi. Bu esa D^0 -markazlarda kovaklarning tutilishiga olib keladi, ya‘ni $D^0 + h \rightarrow D^+$ qayta zaryadlanish sodir bo‘ladi. D^0 -markazlarning konsentratsiyasining kamayishi esa τ_p kattaligining ortishiga olib keladi va natijada σ_{ph} fotoelektrik o‘tkazuvchanlik ham oshadi.

Ammo ushbu formula bilan kuchsiz legirlangan xususiy a-Si:H va legirlangan a-Si:H(B) pardalarni past haroratlarda fotoelektrik o‘tkazuvchanlikning haroratga bog‘liqligini ifodalab bo‘lmaydi.

Fotoelektrik o‘tkazuvchanlikning bunday holatini quyidagicha izohlash mumkin: kuchsiz legirlangan, ammo xususiy o‘tkazuvchanlikka ega a-Si:H pardalarda harakatchanlik tirqishida uzilgan Si-Si bog‘lar hosil qilgan defektlar konsentratsiyasi deyarli minimal bo‘ladi [4,5]. Yorug‘lik ta‘sirida D^0 va D^- markazlarning nisbiy o‘zgarishi katta bo‘lib, termik faollashish orqali bu o‘zgarishlar orasidagi tafovut ortib boradi. Bu esa kovaklarning yashash vaqti τ_p ning kamayishiga, elektronlarning yashash vaqti τ_n ning ortishiga olib keladi. Natijada umumiy fotoelektrik o‘tkazuvchanlik σ_{ph} kuchsiz o‘zgaradi.

Bu holatni analitik formula orqali ifodalash murakkab bo‘lib, odatda sonli modellashtirish orqali aniqlanadi. Bu esa alohida tadqiqot talab qiladi.

Amma shu sohalaridan, ya‘ni fotoelektrik o‘tkazuvchanlikning haroratga kuchsiz bog‘liqligidan asosan $\mu_n\tau_n$ kattalik aniqlanadi.

(1) tenglamada $\mu_n\tau_n \gg \mu_p\tau_p$ ekanligini hisobga olsak,

$$\sigma = eG\mu_n\tau_n \quad (10)$$

ifodaga ega bo‘lamiz. Yuqorida aytilganimizdek, $\mu_n\tau_n$ kattalikni aniqlash mumkin. Demak, i-tip, ya‘ni kuchsiz legirlangan a-Si:H larda kovak o‘tkazuvchanligini SSPC usuli orqali aniqlab bo‘lmaydi.

Tadqiqotlar tahlili va natijalardan quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

Legirlangan p-tip a-Si:H larda fotoelektrik o‘tkazuvchanlikning haroratga eksponensial bog‘langan qismida tok tashuvchanlikda deyarli barcha kovaklar ishtirok etadi.

Eksponensial bog‘lanish sababi kovaklarning termik faollashuvi natijasida $D^0 + h \rightarrow D^+$ qayta zaryadlanish sodir bo‘lishi va τ_p ning ortishidir.

p-tip a-Si:H va kuchsiz legirlangan, xususiy o‘tkazuvchanlikka ega a-Si:H pardalarda fotoelektrik o‘tkazuvchanlikning haroratga kuchsiz bog‘liqligi esa ikki turdagi tok tashuvchilarning ishtiroki va D-markazlarning haroratga bog‘liq holda τ_n va τ_p ga turlicha ta‘siri bilan izohlanadi.

Adabiyotlar.

1. О. А. Голикова, М. М. Казанин, А. Н. Кузнецов, Е. В. Богданова, ФТП, (2000), т. 34, В. 9, с. 66-70.
2. С. В. Кузнецов, ФТП, (2000), В. 6. с. 748-752.
3. Курова И. А., Нальгиева М. А., Ормонт Н. Н., Вестник МГУ, серия 3, Физика, Астрономия, (2005), № 4, с. 54-57.
4. О. А. Голикова, Домошневская Э. П., Кудоярова В. Х., Мездрогина М. М., Сорокина К. Л., Терекон В. А., Тростянский С. В., ФТП, (1989), т. 23. В. 3. с. 450-455.
5. О. А. Голикова, У. С. Бобоходжаев, Дубро В. В., Икрамов Р. Г., М. М. Казанин, Мездрогина М. М., Яфаев Р. Р., ФТП, (1992), т. 26. В. 1. с. 66-70.
6. Балогуров Л. А., Кютте Я. Я., ФТП, (1985), т. 19. В.6. с. 1046-1049.