

АМОРФ ГИДРОГЕНИЗАЦИЯЛАНГАН КРЕМНИЙ ПАРДАЛАРИНИ ФОТОЭЛЕКТРИК ЎТКАЗУВЧАНЛИГИ ЁРДАМИДА РЕКОМБИНАЦИОН ЖАРАЁНЛАР ТАДҚИҚИ

У.С. Бобохўжаев

НамДУ физика кафедраси доценти, ф-м. ф.н.

А.Б. Набиев

НамДУ физика кафедраси доценти, PhD.

М.А. Усманов

НамДУ физика кафедраси докторанти.

А.А. Ботиржонов

НамДУ физика йўналиши талабаси

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6634455>

Аннотация. Ушбу мақолада $a\text{-Si:H}$ пардаларида стационар фотоэлектрик ўтказувчанликни ҳароратга боғлиқлиги (*The method temperature dependence Steady-State Photoconductivity*) орқали рекомбинацион жараёнлар механизми тадқиқ қилинган. Узлуксизлик ва электронейтраллик тенгламалари ечимларидан фойдаланиб, кучли легирланган $a\text{-Si:H}$ пардалари учун олинган $\sigma \sim \sigma_0(1/T)$ боғланишидаги номонотонлик, турли температура оралиқлари учун рекомбинацион жараёнлари механизми D – марказларда турлича рўй бериши туфайли юзага келиши кўрсатилган.

Калим сўзлар: Гидридланган аморф кремний, фотоэлектр ўтказувчанлик, хусусий ўтказувчанлик, рекомбинация марказлари, генерация тезлиги, ўртача яшаш вақти, ҳаракатчанлик тирқиши.

ИССЛЕДОВАНИЯ РЕКОМБИНАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ АМОРФНОГО ГИДРОГЕНИЗИРОВАННОГО ПЛЁНКИ КРЕМНИЯ

Аннотация. В данной статье рассмотрены механизмы рекомбинационных процессов на основе температурной зависимости стационарной фотоэлектрической проводимости (*The method temperature dependence Steady-State Photoconductivity*) на плёнках $a\text{-Si:H}$. Используя решения уравнений непрерывности и электронейтральности для плёнок сильно легированного аморфного $a\text{-Si:H}$ 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.

INVESTIGATION OF RECOMBINATIONAL PROCESSES THROUGH PHOTOELECTRIC CONDUCTIVITY OF THE FILM OF HYDROGENATED AMORPHOUS SILICON(A-SI:H).

Abstract. In this manuscript, it was investigated that the mechanism of recombinational processes in the film of $a\text{-Si:H}$ 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 $a\text{-Si:H}$ are evident from the relation of $\sigma \sim \sigma_0(1/T)$.

Keywords: Hydrogenated Amorphous Silicon ($a\text{-Si:H}$), Photoelectric conductivity, private conductivity, centers of recombination, speed of generation, average lifetime, crack of mobility.

КИРИШ

Аморф гидрогенизацияланган кремний ($a\text{-Si:H}$) ҳам илмий, ҳам амалий нуқтаи-назардан истиқболли аморф ярим ўтказгич ҳисобланади. $a\text{-Si:H}$ ўзининг юқори фотоэлектрик ўтказувчанлиги, кенг спектрал ораликда юқори ютиш коэффициенти ва легирлашни самарадорлиги билан илмий тадқиқотчиларни турли усулларни қўллаш имкониятини яратади. Амалий жиҳатдан эса у асосида таннархи арзон ва уни ўстириш технологиясини самарадорлиги, яъни унга юқори бўлмаган ҳарорат оралиғида ($200\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$) турли қалинликдаги катта юзали пардаларни олиш имкониятини кенглиги билан ажралиб туради.

$a\text{-Si:H}$ асосида жуда кўп фотоэлектрик қурилмалар яратилган: қуёш элементлари, фотоэлементлар, видиконлар, майдон транзисторлар (суяқ кристалли дисплейлар учун), хотира элементлари ва бошқалар.

Маълумки ярим ўтказгичли қурилмалар яратиш учун эса $a\text{-Si:H}$ ни фотоэлектрик катталиклари муҳим аҳамият касб этади. Айниқса унинг фотоэлектрик параметрларини кенг ҳарорат интервалидаги ўзгариши. Бунинг асосий сабабларидан бири космик тадқиқотларга мўлжалланган қуёш элементларини кенг ҳарорат интервалида ишлашидир.

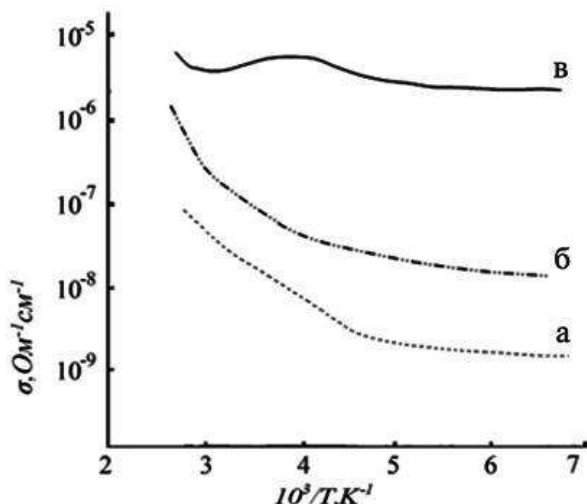
Шуни ҳисобга олиб ушбу мақолада кучли ва кучсиз легирланган $a\text{-Si:H}$ пардаларини фотоэлектрик ўтказувчанлигини ҳароратга боғлиқлиги орқали рекомбинацион жараёнлар механизмини тадқиқ этиш.

ТАДҚИҚОТ МАТЕРИАЛЛАРИ ВА МЕТОДОЛОГИЯСИ

Ток ташувчиларнинг μ ва τ катталигини энг кўп фойдаланиладиган тадқиқот усулларидан бири стационар фотоэлектрик ўтказувчанликни ҳароратга боғлиқлигини (Steady – State Photoconductivity SSPC)) ёрдамида ўрганишдир.

Адабиётлар таҳлилидан шуни кўрдикки бу усулда асосан $\sigma_{ph}(1/T)$ боғланиш ўрганилади. [1,2,3] ишларда олинган (1-расм) графиклардан кўришиб турибдики бу боғланишни битта функция орқали ифодалаб бўлмайди. Шунинг учун фотоэлектрик ўтказувчанлик графигини турли соҳаларини тадқиқ қилиб, ток ташувчанлик механизми ҳақида алоҳида-алоҳида маълумот олиш мумкин. 1-расмда кучли легирланган $a\text{-Si:H}$ (а,б), кучсиз легирланган аммо хусусий ўтказувчанликка эга $a\text{-Si:H}$ (в) пардалар учун $\sigma(1/T)$ боғланиш келтирилган. Бундай усулда ўлчов ишлари компланар структурада (1-расм, в) бажарилади.

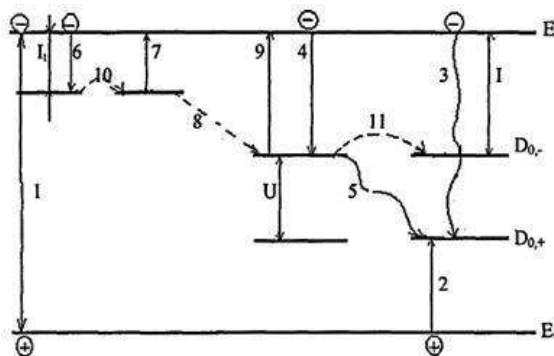
Ёруғлик $a\text{-Si:H}$ парданинг барча ҳажмида бир текис ютилгани учун, наъмунани барча қисмида номувозанатли ток ташувчи коваклар бир текис тақсимланган бўлади.



1-расм. Кучли легирланган $a-Si:H$ (а,б), кучсиз легирланган аммо хусусий ўтказувчанликка эга $a-Si:H$ (в) пардалар учун $\sigma(1/T)$ боғланиш келтирилган.

ТАДҚИҚОТ НАТИЖАЛАРИ

Фотоэлектрик ўтказувчанликни ҳароратга бундай боғланишини тушунтириш учун $a-Si:H$ ни ҳаракатчанлик тиркишидаги D – марказларни дискрет сатҳларда тақсимланган деб қуйидаги тақсимланиш моделидан фойдаланамиз [6]. (2-расм)



2- расм. $a-Si:H$ тизимда электронларни ўтиши.

Тўлқинли чизиқлар билан рекомбинацион ўтишлар белгиланган, штрихли чизиқлар билан марказдан-марказга сакраш. U-икки электронли мусбат корреляция энергияси.

Шунинг учун узлуксизлик ва электронейтралликни кинетик тенгламасини қуйидаги кўринишда бўлади.

$$\sigma = e\Delta n\mu_n + e\Delta p\mu_p \tag{1}$$

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

Бу ерда Δn ва Δp - номувозанатли электрон ва ковакларни ортиқча концентрацияси, p_{t0} ва p_t -валент соҳаси думидига тутқичлардаги ковакларни мувозанатли ва номувозанатли коцентрацияси.

N_0^0 ва N^0 D^0 – марказларни ёритилмаган ва ёритилган ҳолдаги концентрацияси.

N_0^+ ва N^+ D^+ - марказларни ёритилмаган ва ёритилган ҳолдаги концентрацияси.

$a-Si:H$ ни легирлангани учун (1) тенгламада $\Delta n \approx 0$ бўлади деб фараз қиламиз;

Бундан ташқари $\frac{\sigma_{\phi}}{\sigma_T} \approx 10^2 - 10^4$ муносабатга кўра $p_t \gg p_{t0}$ бўлади. p – тип $a\text{-Si:H}$

ларда асосий рекомбинация марказлари сифатида D^0 – марказлар қаралгани учун ва тўла концентрация учун

$$N_D = N_0^0 + N_0^+ = N^0 + N^+ \quad \text{ифодани ҳисобга олсак } N_D \approx N^0 \text{ бўлади. У ҳолда}$$

термодинамик мувозанат учун $N_D \frac{\partial f}{\partial t} = 0$ ифодани ҳисобга олиб

$$P_t = N^0 \quad (3)$$

ифодага эга бўламиз.

Коваклар учун тутқичлар валент соҳа думида тақсимлангани учун ортикча коваклар ўзгаришини

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

кўринишида ифодалаймиз.

N_v – валент соҳадаги ковакларни эффектив концентрацияси.

N_{tp} – коваклар учун тутқичларни концентрацияси.

E_{tp} – коваклар учун тутқичларни энергетик ўрни.

E_v – валент соҳани энг юқори қисмини энергетик ўрни.

Иккинчи томондан Δp - ёруғлик таъсирида ҳосил бўлган коваклар генерация тезлиги орқали ифодалаш мумкин.

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

Бу ерда τ_p – ковакларнинг ўртача яшаш вақти бўлиб,

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

тенглама орқали аниқланади.

G – ток ташувчиларни оптик генерацияси темпи.

C_p^0 - коваклар тутилиш коэффициенти.

(5), (6) ифодаларни ҳисобга олиб (4) ифодани қуйидагича ифодалашимиз мумкин.

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

У ҳолда фотоэлектр ўтказувчанлик учун қуйидаги ифодага эга бўламиз.

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

(8) ифодадан кўриниб турибдики, унда τ_p катталиқ иштирок этмайди.

N_{tp} – коваклар учун тутқичларни эффектив концентрация эди, ҳарорат ортиб бориши ушбу тутқичларни тўлишига олиб келади. Ушбу ҳолатни тутқичларни тўла тўлиши (полного заполнения ловушек ПЗЛ) содир бўлади.

Бу ҳол учун (6) ифода ўринли бўлади.

Демак (8) ифодани қуйидагича кўринишда ёзишимиз мумкин.

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

1- расмдаги 1 ва 2 графиклардан кўриниб турибдики (9) ифода $200 \text{ K} > T < 120 \text{ K}$ ораллигидаги фотоэлектр ўтказувчанликни экспоненциал ўсишига тўғри келар экан.

МУҲОКАМА

Бу ҳолатдаги рекомбинация механизмини қуйидагича тушунтириш мумкин: Ҳароратни ортиши тутқичлардаги ковакларни валент соҳасига термик фаоллаштиради. Бу эса D^0 – марказларда ковакларни тутилишига олиб келади. Яъни $D^0 + h \rightarrow D^+$ қайта зарядланишни содир этади. D^0 – марказ концентрациясини камайиши эса, ўз навбатида τ_p – катталикни ортишига олиб келади ва натижада σ_{ph} катталик ҳам ортиб боради.

Аммо ушбу формула билан кучсиз легирланган хусусий $a\text{-Si:H}$ ва легирланган $a\text{-Si:H}(B)$ пардаларини паст ҳароратларда фотоэлектр ўтказувчанликни ҳароратга боғлиқлигини ифодалай олмайди.

Фотоэлектр ўтказувчанликни бундай ҳолатини биз қуйидагича изоҳлаш мумкин.

Кучсиз легирланган аммо хусусий ўтказувчанликка эга $a\text{-Si:H}$ пардаларни ҳаракатчанлик тирқишда узилган $Si\text{-}Si$ боғлар ҳосил қилган деффектлар концентрацияси деярли минимал бўлади [4,5]. Ёруғлик таъсирида D^0 ва D^- – марказларни нисбий ўзгариши катта бўлиб, термик фаоллашиш орқали бу ўзгариш ўртасидаги тафовут ортиб боради. Бу эса ковакларни яшаш вақти τ_p – катталикни камайишига, электронларни яшаш вақти τ_n – катталикни ортишига олиб келади. Натижада умумий фотоэлектр ўтказувчанлик (σ_{ph}) кучсиз ўзгаради.

Бу ҳолатни аналитик формула ёрдамида ифодалаш анча мураккаб. Шунинг учун сонли моделлаштириш ёрдамида келтириб чиқарилади. Бу алоҳида тадқиқотни талаб қилади.

Аммо ушбу соҳалардан, яъни фотоэлектр ўтказувчанликни ҳароратга кучсиз боғлиқлигидан асосан $\mu_n\tau_n$ катталик аниқланади.

(1) тенгламада $\mu_n\tau_n \gg \mu_p\tau_p$ эканлигини ҳисобга олсак,

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

ифодага эга бўламиз. Юқорида айтганимиздек $\mu_n\tau_n$ катталикни аниқлаш мумкин. Демак i -тип, яъни кучсиз легирланган $a\text{-Si:H}$ ларда ковак ўтказувчанликни SSPC усули орқали аниқлаб бўлмас экан.

ХУЛОСА

Тадқиқотлар тахлили ва натижалардан қуйидаги хулосаларга келиш мумкин:

Легирланган p -тип $a\text{-Si:H}$ ларда фотоэлектр ўтказувчанликда ҳароратга экспоненциал боғланган қисмида ток ток ташувчанликда деярли коваклар иштирок этади.

Экспоненциал боғланишни сабаби ковакларни термик фаоллашуви туфайли $D^0 + h \rightarrow D^+$ қайта зарядланиш ҳисобига τ_p ортишидир.

p -тип $a\text{-Si:H}$ ва кучсиз легирланган хусусий ўтказувчанликка эга $a\text{-Si:H}$ пардаларда фотоэлектр ўтказувчанликни ҳароратга кучсиз боғланишини сабаби, фотоэлектр ўтказувчанликда икки турдаги ток ташувчиларни иштирок этиши ва D^- – марказларнинг ҳароратга боғлиқ ҳолда τ_n ва τ_p га турлича таъсиридир.

Адабиётлар

1. О. А. Голикова, М. М. Казанин, А. Н. Кузнецов, Е. В. Богданова, ФТП, (2000), т. 34, В. 9, с. 66-70.
2. S.Zaynabidinov, U.Bobokhodzhaev, A.B. Nabiyev. N. Sharibayev The Mechanism of Hole Transport in Photocells Based on a-Si: H. International Journal of Scientific and Technology Research ISSN 2277-8616, 2020, Vol.9, №1, pp. 2589-2593.
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.