

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ
С.А.АЗИМОВ номли «ФИЗИКА-КУЁШ» ИЛМИЙ ИШЛАБ ЧИҚАРИШ
БИРЛАШМАСИ С.В.СТАРОДУБЦЕВ номли
ФИЗИКА - ТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

Қўлёзма ҳуқуқида
УДК 621.315.592

ГУЛЯМОВ АБДУРАСУЛ ГАФУРОВИЧ

**ДЕФОРМАЦИОН ЭФФЕКТЛАР ДИНАМИКАСИ ВА ЯРИМЎТКАЗГИЧ
ПАРДАЛАРИДА РЕАКТИВ ФОТОТОКЛАР**

01.04.10 – Ярим ўтказгичлар физикаси

Физика-математика фанлари номзоди илмий
даражасига давогарлик диссертацияси

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И

ТОШКЕНТ – 2010

Иш «Физика-Қуёш» илмий ишлаб чиқариш бирлашмаси Физика-Техника институтида ва Наманган Муҳандислик-Педагогика институтида бажарилган

Илмий раҳбар: физика-математика фанлари доктори,
профессор С.Х. Шамирзаев

Расмий оппонентлар: физика-математика фанлари доктори,
профессор А.Ю.Лейдерман
физика-математика фанлари доктори,
профессор С.З.Зайнобиддинов

Етакчи ташкилот: Ўзбекистон Миллий Университети

Ҳимоя 2010 йилнинг “_____” _____кунда соат_____да Д.015.08.01
Ихтисослашган кенгашнинг йиғилишида ЎзР Фанлар академияси Физика-
Техника институти “Физика-Қуёш” ИИЧБсида ўтказилади.
Манзил: 100084, Тошкент, Бодомзор йули, 2 б уй
Тел: (8-10-99871)- 235-12-71. Факс: (8-10-99871)-223-42-91.
[E-mail:karimov@uzci.net](mailto:karimov@uzci.net)

Диссертация билан ЎзР ФА “Физика-Қуёш” ИИЧБ сининг физика- техника
институти кутубхонасида танишиш мумкин.

Автореферат 2010 йилнинг _____да тарқатилди.

Ихтисослашган кенгаш илмий котиби,
ф-м.ф.д., профессор

Каримов А.В.

КИРИШ

Мавзунинг долзарблиги: Хозирги вақтда яримўтказгичлар ва бошқа материалларни хоссаларини ўрганишнинг кўплаб усуллари мавжуд, лекин хозиргача яримўтказгичларнинг хоссалари ўрганишда “фазалар траекторияси” усули қўлланилмаган. “Фазалар траекторияси” усули тербранма ва термодинамик жараёнларни ўрганишда кенг қўлланиб келинади. Бу усул намунани чуқурроқ таҳлил этишга ёрдам беради. Бу муаммо анча долзарб ҳисобланиб, унинг ечими яримўтказгичли электроника ривожига салмоқли ҳисса қўшади.

Электронларнинг кўзғалишини электромагнит майдон ёрдамида амалга оширса бўлади, лекин ўша пайтнинг ўзида кристалл панжара нисбатан тинч ҳолатда бўлади. Шундай қилиб системани мувозанат ҳолатидан чиқариб юбориш мумкин ва бу ҳолатда яримўтказгич янги хоссага эга бўлади, ҳамда намунада электр юритувчи кучлар юзага келади. Ўзгарувчан деформация таъсиридаги яримўтказгичларнинг тензорезетив хоссалари релаксацион хоссаларга боғлиқ. Деформацион жараёнлар динамикаси ва уларни яримўтказгичнинг тензохоссалари боғлиқлигини тадқиқ қилиш, кристалларда кечаётган физик жараёнлар ҳақида катта маълумот бериши мумкин ва энергетик ҳолатларни аниқлаш имкониятини беради. Бундай тизимларни ўрганишда умумий ҳолда тебранма ва термодинамик жараёнларни тавсифлашда ишлатиладиган услублардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир.

Термодинамика услубларни релаксацион жараёнларни тадқиқ қилишга қўллаш яхши натижалар беради. Яримўтказгичларда деформацион эффектларни тадқиқ қилишда термодинамиканинг айланма жараёнлари ва “фазалар траекторияси” усули қўлланилмаган. Деформацион эффектлар динамикасига ташқи факторларнинг таъсири ушбу жараёнларнинг “фазалар портретларида” яққол акс этади. “Фазалар портрети” усули янги эффектлар топиш ёки мавжуд бўлган эффектларни умумлаштириш имконини беради.

Шу сабабли, кучли электромагнит майдонларда ЭЮК ҳосил бўлиш механизмларини ва деформацион эффектлар динамикасини термодинамика ҳамда “фазалар траекторияси” усули билан тадқиқ қилиш, долзарб ҳамда илмий ва амалий томондан келажаги бор масаладир.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси: Адабиётларда қуйидаги муҳим муаммолар кўриб чиқилмаган:

1. ЭЮК механизмлари умумлаштирилмаган. Уюрмавий тоқлар етарлича тадқиқ қилинмаган.
2. Деформацион эффектлар динамикаси етарлича тадқиқ қилинмаган. Яримўтказгич қаршилигининг $R(\varepsilon)$ яримўтказгичга қўйилган деформацияга $\varepsilon(t)$ боғлиқлиги таҳлил этилмаган.
3. Аномал катта фотокучланишларни юзага келишида баллистик тоқларнинг роли етарлича ўрганилмаган.
4. Деформацион эффектларнинг $R(\varepsilon)$ портретига ёруғликнинг таъсири тадқиқ қилинмаган.
5. ЎЮЧ майдонларида ЭЮКни юзага келиши ва аномал катта фотокучланиш механизмлари тўлалигича аниқланмаган.

Диссертация ишининг мақсади: Ўта юқори частотали(ЎЮЧ) майдондаги р-п-ўтишларда электр юритувчи кучларнинг(ЭЮК) ҳосил бўлиш механизмларини тадқиқ қилиш. Тензосезгир плёнкалардаги деформацион эффектлар динамикасини термодинамиканинг циклик жараёнлари усули, ҳамда тебранишлар назариясида кенг қўлланиладиган “фазалар траекторияси” усули орқали ёритиш.

Тадқиқод объектлари: Диссертация ишида деформациянинг тензосезгир яримўтказгичли плёнкаларнинг хоссаларига таъсири ўрганилган, вакуумли чанглатилиш натижасида олинган Bi_2Te_3 ва Sb_2Te_3 плёнкаларнинг экспериментал натижалари таҳлил этилган. Доимий кучланганлик таъсирида р-Si<Ni> намуналар учун токнинг гидростатик босим импульсига боғлиқлиги таҳлил этиб чиқилиб, бу жараёни тавсифловчи $R(\epsilon)$ диаграмми қурилган.

Ишнинг илмий янгилиги:

1. Электромагнит майдоннинг бир жинсли бўлмаган кўринишда тақсимланиши ҳисобига ҳосил бўладиган ЭЮК, р-п-ўтишлардаги уюрмали токларни камайтириши биринчи марта кўрсатиб берилди.
2. Яримўтказгичларда деформацион эффектларни ўрганишда илк бор $R(\epsilon)$ портретлари усулидан фойдаланилди.
3. Деформацион эффектларнинг $R(\epsilon)$ қаршилиқ-деформация боғлиқлигига хусусий ёруғликнинг таъсири аниқланди.

Химояга олиб чиқиладиган асосий ҳолатлар мазмуни:

1. Юқори частотали квазипотенциал р-п-ўтишдаги уюрмали токларни камайтиради.
2. Деформацион эффектларнинг берк $R(\epsilon)$ траекториялари электронли жараёнларга боғлиқ. Очик $R(\epsilon)$ траекториялари эса яримўтказгичнинг параметрларининг ўзгариши билан тушунтирилади.
3. Хусусий ёруғлик билан ёритиш кучли компенсацияланган яримўтказгични ва р-п-ўтишнинг тензосегирлик коэффициентини оширади.

Ишнинг илмий ва амалий аҳамияти: Термодинамиканинг циклик жараёнлари усули, ҳамда тебранишлар назариясида кенг қўлланиладиган “фазалар траекторияси” усули яримўтказгичларда деформацион эффектлар динамикасини тадқиқ қилишда кенг қўлланиши мумкин. Тензосезгирлик бўйича олинган тақиқод натижаларидан янги сегирлигини бошқариш мумкин бўлган тензодатчиклар олишда фойдаланиш мумкин.

Диссертация ишининг асосий натижалари 2003-2007 йилларга мўлжалланган Ф.2-1.55 “Яримўтказгичларда электр юритувчи кучларнинг ҳосил бўлишининг янги механизмлари”, 2007-2011 йилларга мўлжалланган “Динамика деформационных эффектов полупроводниковых плёнок и воздействие электромагнитных волн на токи возникающие в

полупроводниковых плёнках”, ҳамда ФА-Ф2-Ф034_”Усталостная повреждаемость гетерогенных полупроводниковых материалов с очень сложной динамикой” Давлат грантлари асосида олинган. Диссертация муаллифи ушбу грант лойихаси иштирокчиларидан бири.

Ишнинг апробацияси: Диссертация ишининг асосий натижалари куйидаги республика илмий-амалий конференцияларида маъруза қилинган «Рост, свойства и применение кристаллов» ст.88. 11-12-апрел, 2008 йил, Андижон. “Иқтидорли талабалар, магистрлар, аспирантлар, докторантлар ва мустақил изланувчиларнинг илмий-амалий анжумани”. НамМПИ, Наманган. 27-28 март, 2008й. «Хозирги замон физикасининг долзарб муаммолари» II-Республика илмий-назарий конференцияси материаллари. 23-бет. 2004й. ТерДу. Материалы международной конференции по «Фотоэлектрическим и оптическим явлениям в полупроводниковых структурах».ст.84, 2-3 октябрь 2006 йил, Фарғона. Материалы международной конференции «Неравновесные процессы в полупроводниках и в полупроводниковых структурах», ст. 147, 1-3 феврал, Тошкент, ва ЎзРФА ФТИ, НамМПИ, НамДУ семинар ва конференцияларида маъруза қилинган.

Чоп этилган мақолалар: Ишнинг асосий натижалари 5 та илмий журналларда, ҳамда 6 та илмий амалий анжуманлар тўпламида чоп этилган. Илмий ишлар рўйхати автореферат охирида келтирилган.

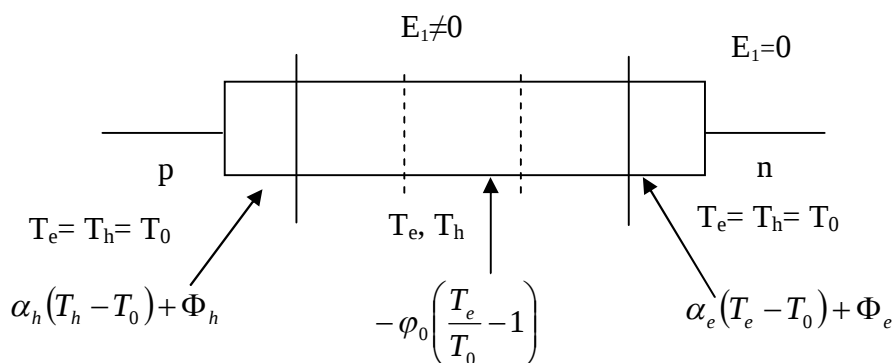
Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми: диссертация кириш қисми, тўртта боб, хулосадан ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Иш 109 саҳифада баён қилинган бўлиб, 25 та расм, 84 манбани ўз ичига олган фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва 7 иловадан ташкил топган.

Кириш қисмида мавзунинг долзарблиги ва тадқиқод объектларининг танланиши асослаб берилган. Ишнинг мақсади, қўйилган масалалар, натижалар янгилиги ва амалий аҳамияти ёритиб берилган.

Биринчи боб адабиётлар шарҳига бағишланган. Генерацион жараёнларга ва рекомбинацион тоқларни юзага келиш механизмларига кучли ЎЮЧ майдоннинг таъсири таҳлил этиб чиқилди. Ўзгарувчан деформацияни соҳалараро термик ўтишларга таъсири тақик қилинди. “Фазалар траекторияси” ёрдамида тебранувчан жараёнлар кўриб чиқилди. Циклик ва ноциклик деформацион эффектлар тебранувчан жараёнларнинг “фазавий портретлари” кўринишида тавсифланиши мумкинлиги кўрсатиб берилди. Критик нуқталар яқинида “фазалар траекториялари” кескин ўзгаришларга эга бўлиши аниқланди. Турли шароитларда юзага келадиган фотоЭЮКга деформациянинг таъсири ўрганилди. Турли яримўтказгичли плёнкаларда баллистик фототокларнинг таъсирини номоён бўлишини таҳлил этилди.

Иккинчи бобда р-п-ўтишда электрон ва коваклар концентрациясининг ўзгаришига кучли ЎЮЧ майдоннинг таъсири тадқиқ қилинган. ЎЮЧ тўлқин таъсирида р-п-ўтиш, ЭЮК ва ток генераторига айланади деган хулоса қилинди. ЎЮЧ тўлқин р-п-ўтишга статистик ва динамик таъсир этиши аниқланди. Статистик таъсир электрон ва ковакларни қизиши билан номоён бўлса (§2.1), динамик таъсир эса барьер баландлигининг тез ўзгаришида номоён бўлади (§2.2). Динамик таъсирнинг бошқа турдаги кўриниши бу уюрмавий тоқларда

ЎЮЧ квазипотенциални ҳосил бўлишида номоён бўлади. Бир жинсли бўлмаган электромагнит майдонда электромагнит майдон электрон газга босим ўтказа бошлайди. Бу эса тўлқинюргич(волновод) ичида жойлашган намуна генерациялаётган токга ўз хиссасини қўшиши керак. Бундай шароитларда р-п-ўтишларда уярмавий тоқлар юзага келиши кўрсатиб берилган(§2.3). ЎЮЧ квазипотенциал р-п-ўтишларда ҳосил бўлувчи уярмавий тоқларни камайтириши кўрсатиб берилди (1-расм ва 2-расм).



1-Расм. Квазипотенциал таъсирини ҳисобга олувчи р-п-ўтишнинг бир ўлчовли схематик кўриниши. Бу ерда $\alpha_e(T_e - T_0) + \Phi_e$ ва $\alpha_h(T_h - T_0) + \Phi_h$ - электрон ва ковақлар термоЭЮК ва квазипотенциали $-\varphi_0\left(\frac{T_e}{T_0} - 1\right)$ - р-п-ўтишнинг электрон ва ковақлари термоЭЮК.

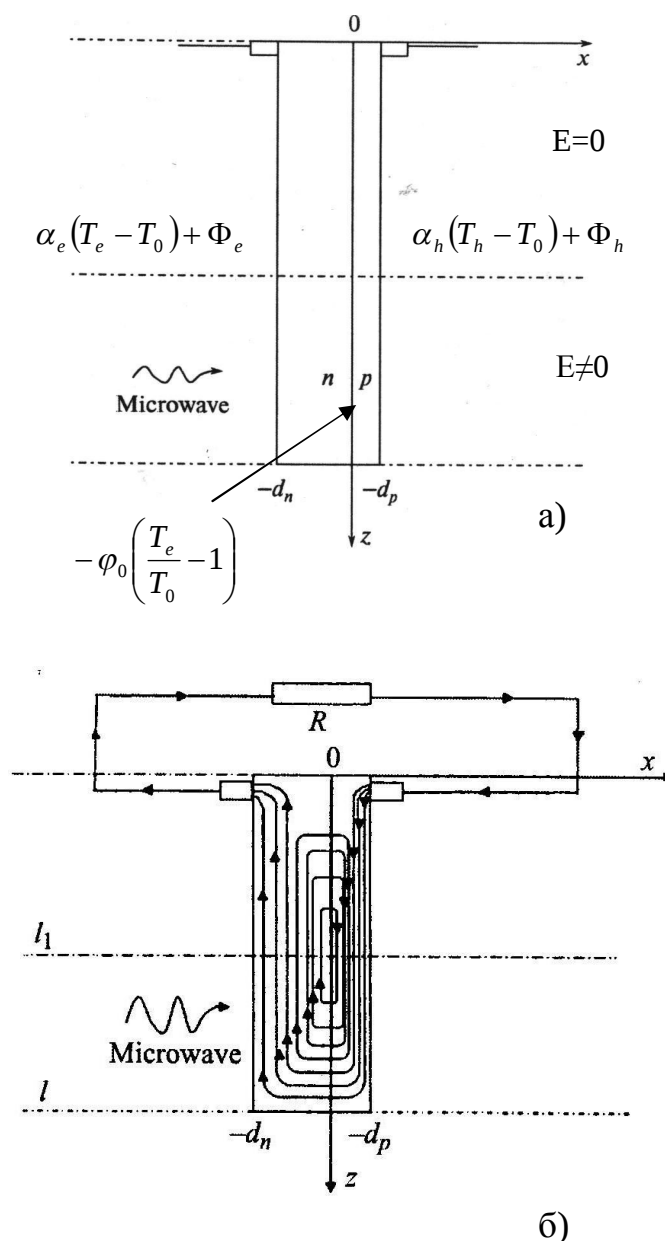


Рис. 2. Квазипотенциал таъсирини ҳисобга олувчи р-п-ўтишнинг икки ўлчовли схематик кўриниши. а) р-п-ўтишнинг тўлқинюрғичдаги(волновод) жойлашуви б) уярмавий тоқларнинг намада тақсимланиши.

Кучли ўта юқори частотали майдонда генерацияланувчи ЭЮК учун қуйидаги ифода олинган

$$\varepsilon = -\varphi_0 \left(\frac{T_e}{T_0} - 1 \right) + (\alpha_h + \alpha_e) (T_e - T_0) + \Phi_e + \Phi_h$$

Учинчи боб яримўтказгичнинг электр ўтказувчанлигига ўзгарувчан деформациянинг таъсирини тақиқ қилишга бағишланган. §3.1 бўлимда ўзгарувчан деформациянинг намунанинг қаршилигига таъсирини $R(\varepsilon)$ траекторияси ёрдамида кўриш мумкинлиги кўрсатиб берилган. “Фазалар траекторияси”нинг шакли ташқи таъсирларга жуда сезгирлиги аниқланди.

Ўзгарувчан деформация таъсир этганда генерация ва концентрациянинг ўзгариши орасида кечикиш мавжуд бўлади. Генерация тезлиги $g(\varepsilon)$ барьернинг баландлиги ва соҳа кенглиги билан боғлиқ бўлиб, ташқи босимга тез мослашади, яъни босим билан бир вақтда пайдо бўлади. Бироқ заряд ташувчилар концентрацияси аста секинлик билан ортиб боради. Мувозанатсиз заряд ташувчилар концентрацияси қуйидаги узлуксизлик тенгламаси орқали аниқланади.

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} = g - \frac{n_e}{\tau} + \frac{1}{e} \nabla \vec{I}_n \quad (2)$$

Бу ерда $\vec{I}_n$ электронлар токи зичлиги, τ - электронлар яшаш вақти. Бир жинсли намуна учун узлуксизлик тенгламаси қуйидаги кўринишга эга.

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} = g - \frac{n_e}{\tau} \quad (3)$$

Мувозанатсиз заряд ташувчилар концентрацияси билан генерацияси орасида кечикиш мавжудлигини ҳисобга оладиган бўлсак, деформация ε вақтнинг ихтиёрий функцияси бўлган ҳолат учун узлуксизлик тенгламасининг ечими қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$n_e(t) = \int g(\varepsilon, t) e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} dt_0 \quad (4)$$

n_e - ε боғлиқликни олиш услубини кўрсатиш учун биз кучсиз деформацияни кўриб чиқамиз, яъни $\frac{\Delta \varepsilon}{kT} \ll 1$. У ҳолда (4) тенглама қуйидагича ёзилади.

$$n_e(t) = g_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \int_{-\infty}^t \frac{\Delta \varepsilon}{kT} e^{\frac{t_0}{\tau}} dt_0 \quad (5)$$

Намунага деформациянинг синусоидал ярим даври қўйилган бўлсин

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin(\omega t_0) \quad (0 < t_0 < \pi/\omega)$$

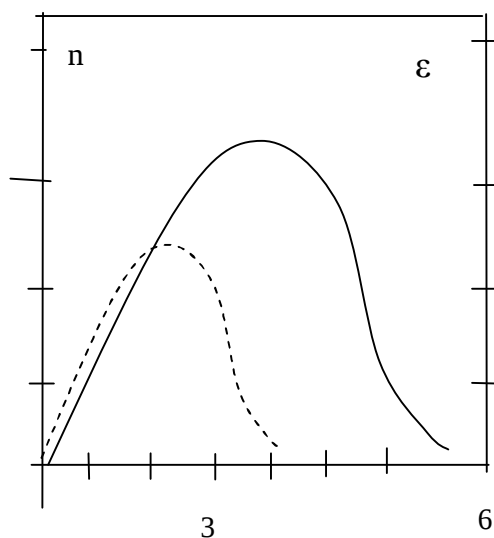
деформациянинг қолган моментларини йўқ деб ҳисоблаймиз. У ҳолда (4) ифода қуйидаги кўринишга эга бўлади

$$n_e(t) = g_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \frac{\Delta \varepsilon}{kT} \int_0^t \sin \omega t_0 e^{\frac{t_0}{\tau}} dt_0 = g_0 \frac{\Delta \varepsilon_0}{kT} \frac{\omega \tau^2}{1 + \omega^2 \tau^2} \left[\frac{\sin(\omega t)}{\omega \tau} - \cos \omega t + \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right], \quad (0 < t_0 < \pi/\omega) \quad (6)$$

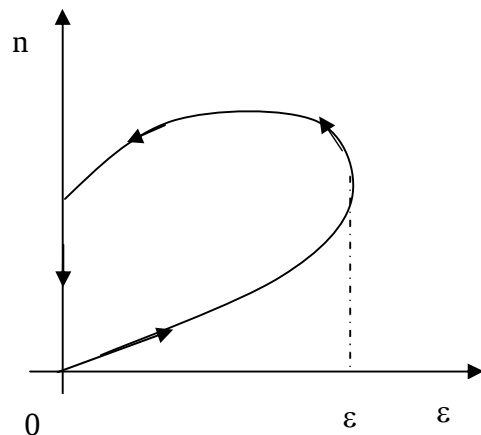
Деформация тугагандан сўнг (4) формуланинг юқори чегараси π/ω бўлиши керак

$$n_e(t) = g_0 \frac{\Delta \varepsilon}{kT} \frac{\omega \tau^2}{1 + \omega^2 \tau^2} \left[1 + \exp\left(\frac{\pi}{\omega \tau}\right) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] \quad \left(t_1 > \frac{\pi}{\omega} \right) \quad (7)$$

$\omega \tau = 1$ бўлган ҳолдаги электронлар концентрациясини деформация билан боғлиқлиги 3-расмда кўрсатилган.



a)

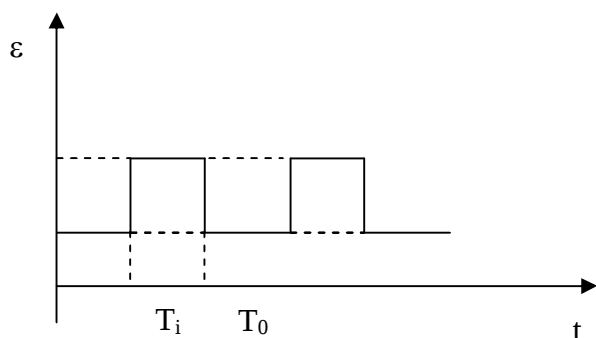


b)

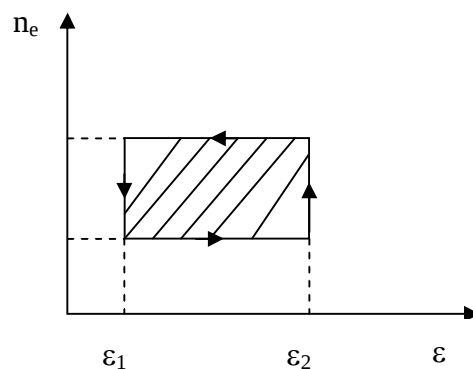
3-расм. a) Концентрациянинг вақтга боғлиқлиги (узлуксиз эгри чизик), деформациянинг вақтга боғлиқлиги (пунктир эгри чизик). Ихиёрий бирликларда.

b) Деформация жараёнининг $n(\epsilon)$ траекторияси гистерезис халқасини ташкил қилади.

Деформациянинг тўғри тўртбурчакли импульслар учун n_e концентрацияни ϵ деформация амплитудасига боғлиқлиги 4-расмда келтирилган.



a)

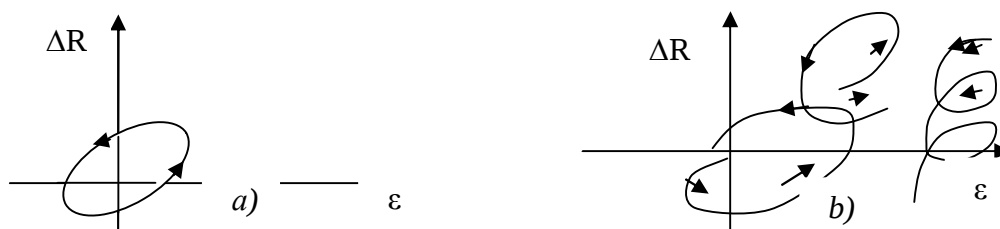


b)

4-расм. a) Тўғри тўртбурчакли импульслар учун ϵ нинг вақтга боғлиқлиги. b) Тўғри тўртбурчакли импульслар учун деформациянинг ϵ концентрацияга боғлиқлик “фазалар траекторияси”.

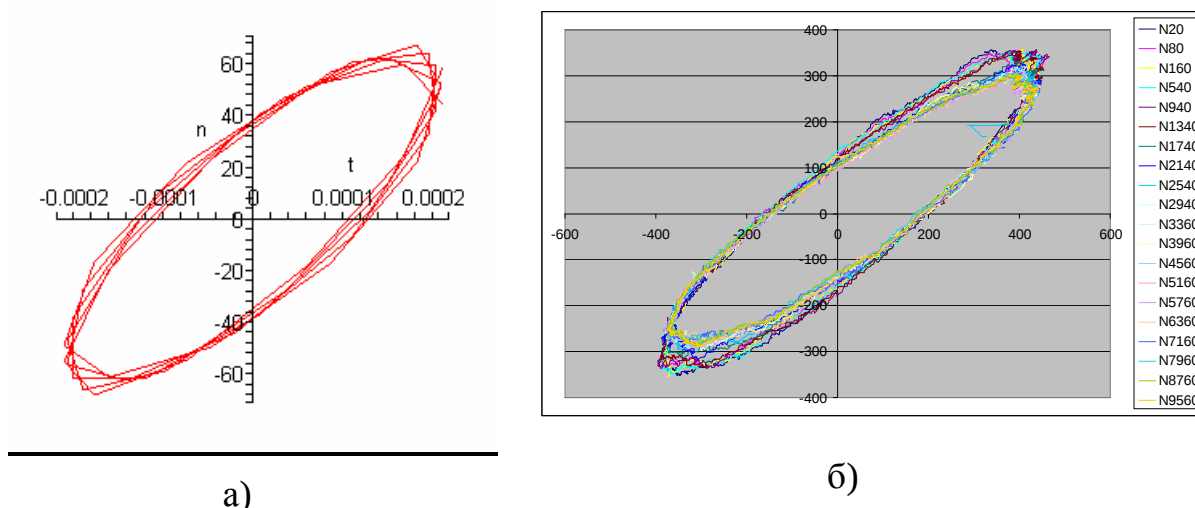
Деформация амплитудаси камайгани сари p_e - ϵ нинг юзаси ҳам баландлиги ҳам кенглиги бўйича кичрайиши кўрсатиб берилди.

5-расмда релаксацион траекториялар кўрсатилган. Деформацион эффектларнинг берк $R(\epsilon)$ релаксацион траекториялари электронли жараёнларга боғлиқ. Очик $R(\epsilon)$ релаксацион траекториялари эса яримўтказгичнинг параметрларини ўзгариши билан тушунтирилади.



5-расм. а) Берк траекториялар учун релаксация фақат электронларга боғлиқ. б) Берк траекториянинг узилиб кетишини намунанинг параметрлари ўзгариши билан боғласа бўлади.

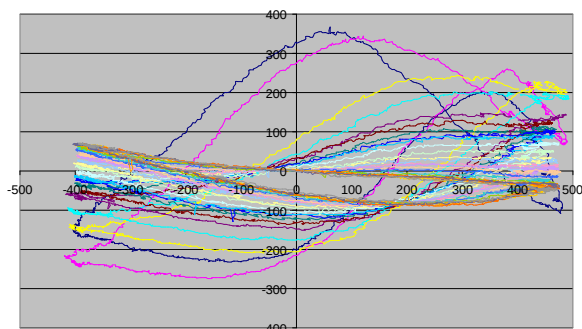
§3.2 бўлимда ЎзР ФА физика-техника институтининг яримўтказгичли датчиклар лабораториясида вакуумли чанглатилиш натижасида олинган Bi_2Te_3 ва Sb_2Te_3 тензосезгир плёкаларнинг деформацион эффектлар динамикаси тадқиқ қилинган.



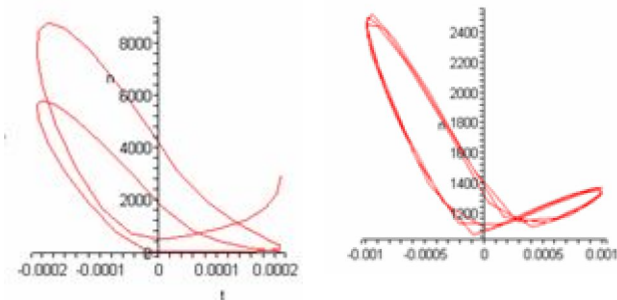
6-расм. Bi_2Te_3 и Sb_2Te_3 тензосезгир плёнкаларнинг экспериментал ва назарий “фазалар портрети”. а) ҳисоб-китоблар натижаси бўйича яримўтказгичлар параметрлари ўзгармайди. б) цикллар сони ортиб боришига қарамай “фазалар портрети” деярли ўзгармайди.

Айрим плёнкалар учун циклик деформациялар таъсирида цикллар ортиши билан фазалар портрети деярли ўзгармаган рис. 6 б. Бизнинг фикримизча бу цикллар ортиши билан плёнкалар параметрлари

ўзгармаётганлиги хақида далолат беради, намунадаги қаршилиқнинг ўзгариши эса асосан электрон жараёнларга боғлиқ. Бу фикрларни тасдиқлаш учун яримўтказгичларнинг параметрлари вақт ўтиши билан ўзгартирмай назарий ҳисоб ишлари олиб борилди. Ҳисоб ишлари натижалари ба-расмда келтирилган бўлиб, унда ҳақиқатдан ҳам фаза портрети берк бўлиб эксперимент ва назариянинг катта ўхшашлиги бор.



а)



б)

7-расм. Bi_2Te_3 и Sb_2Te_3 тензосезгир плёнкаларнинг экспериментал ва назарий “фазалар портрети”. а) цикллари сони ортиб бориши билан “фазалар портрети” ўз шаклини кескин ўзгартиради. Бу материал параметрларининг ўзгариши ҳақида далолат беради. б) ҳисоб-китобларда яримўтказгич параметрлари вақтга боғлиқ бўлади.

Плёнкаларнинг олиниш шарт шароитларига боғлиқ ҳолда айрим плёнкаларнинг характеристикалари ностабил бўлади. 7-расмда шундай плёнкаларнинг типик фаза портретлари келтирилган. Расмдан кўриниб турибдики цикллари сонинг ортиб бориши билан фазалар портретлари, қаршилиқ-деформация фаза текислигида кескин кўчиб туради. Бизнинг фикримизга кўра бундай ностабиллик намуналардаги структурвий ўзгаришларга боғлиқ. Вақт ўтиши билан ва цикллари сони ортиб бориши билан параметрлар ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда назарий ҳисоблашлар ўтказилди. 7 б-расмда бу ҳисоблашлар натижалари келтирилган. Расмдан кўриниб турибдики бу ҳолда вақт ўтиши билан фазалар портрети ўзгариб турибди ва траекториялар берк эмас. Бу тадқиқ этилаётган намуналарнинг характеристикаларини ностабиллигини тасдиқлайди. Ушбу фазалар траекториясининг сонли ҳисоб ишлари Maple 9.5 программаси ёрдамида амалга оширилган. Ўзгарувчан параметрлар деб N_g -рекомбинацион марказлар сони, σ - марказларни қамраб олиш кесими ва α -рекомбинацион марказларнинг ўзгариш тезлиги назарда тутилади. Генерацияни вақтга боғлиқ ҳолда пайдо бўлиши ε - n текисликда фазалар траекториясини кўчиради. Юқоридаги ҳисоблашларда генерация тезлиги қуйидагича олинган

$$g(t) = G_{i0} + G_i \frac{|\cos \omega t| - \cos \omega t}{2} + (N_g + \alpha t) \left(\exp\left(\frac{ed \cos \omega t}{kT}\right) - 1 \right) \quad (8)$$

$$G_i = 4e+5; \quad G_0 = 10; \quad \sigma = 0.01; \quad \alpha = 1e+4;$$

Хисоб ишларида фойдаланилган қолган параметрлар эса диссертациянинг иловаларида келтирилган.

§3.3 бўлимда компенсацияланган кремнийда динамик деформацион эффектларнинг “фазалар портретлари” курилган. [1] да $p\text{-Si(Ni)}$ намуналар учун доимий кучланганлик остида намунадан ўтаётган токнинг гидростатик босим импульсига боғлиқлиги 293K температурада кўрилган. Босимнинг ўзгариш тезлиги $dP/dt=10^8 \text{ Па/с}$ ни ташкил этади.

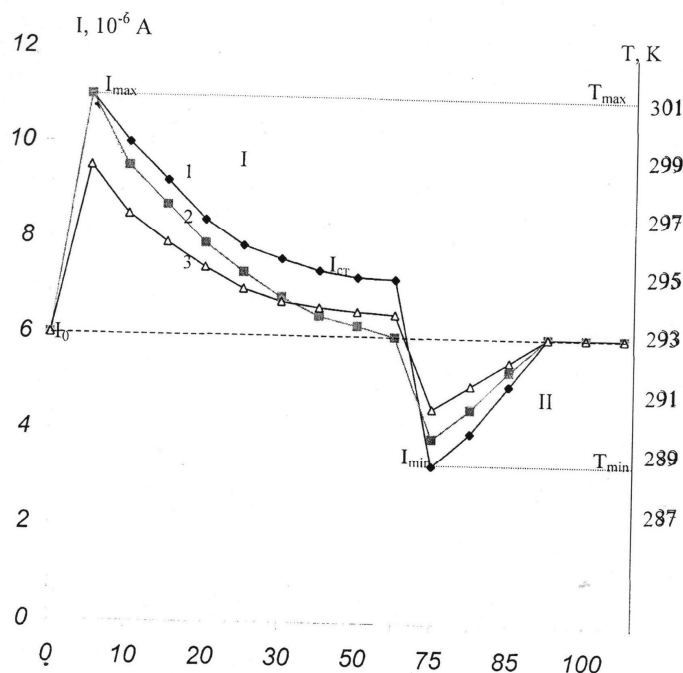
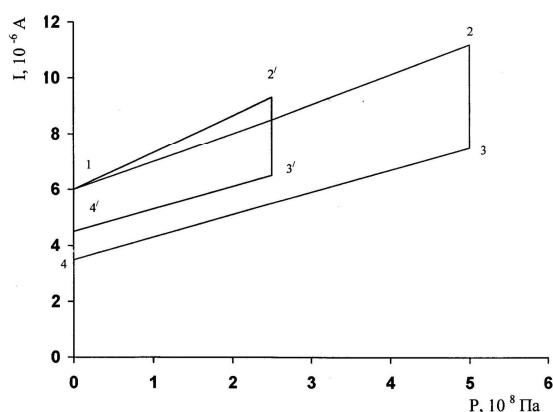
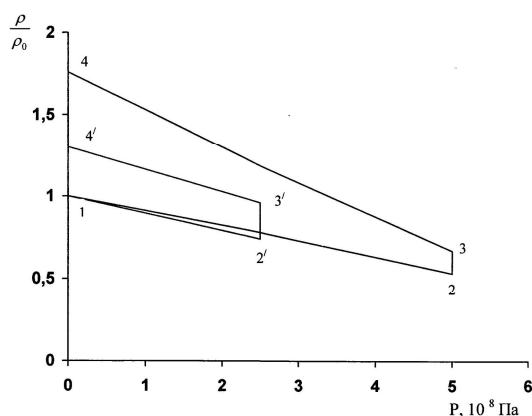


Рис. 8. Кучли компенсацияланган $p\text{-Si(Ni)}$ намуналарда токнинг $I=f(t)$ кинетик боғлиқлиги, (I) импульс таъсир этганда, (II) импульс олиб қўйилгандан сўнг.

Бу экспериментал ишларнинг натижаларидан фойдаланиб фазавий портретлар олинди 9 ва 10-расмлар.



9-расм. Кучли компенсацияланган $p\text{-Si(Ni)}$ намуналар учун ток-босим “фазавий портрети”.



10-расм. Қаршилик-босим “фазавий портрети” кучли компенсацияланган $p\text{-Si(Ni)}$ намуналар учун.

4-расмдан кўриниб турибдики изотермик жараён деформацияси фазавий портретлари тўғри тўртбурчак шаклига эга. Лекин [1] ишнинг экспериментал

натижалари асосида олинган фазавий портретлари тўғри тўртбурчак шаклига эмас, балки ўзига хос трапеция шаклига эгалигини кўришимиз мумкин. Бундай назариянинг экспериментдан четлашишини қандай тушунтирса бўлади? Буни қуйидагича тушунтирса бўлади. Назарий тадқиқотларда биз температуранинг ўзгармайди деб ҳисоблаганмиз, 8-расмдан кўриниб турибдики экспериментда температура Келвин шкаласи бўйича 289 до 301 градусгача ўзгаради. Мана шу қўшимча қизиш заряд ташувчилари генерацияси фазали портретлар шаклини тўғри тўртбурчак шаклидан четлашишга олиб келади.

§3.4 бўлимда яримўтказгичга кучли ЎЮЧ майдон таъсир этгандаги фазавий портретлари қурилган. Фазавий портретлардан яримўтказгичга кучли ЎЮЧ майдон таъсир этгандаги кечадиган жараёнларни таҳлил этишда мувофақиятли фойдаланиш мумкин деган хулоса қилинди.

§3.5 бўлимда яримўтказгич хусусий ёруғлик билан ёритилганда тензосезгирликга таъсири кўриб чиқилган. Ёруғлик частотаси қизил чегарага яқин бўлган ҳолат кўриб чиқилган.

Ёритилганда тензосезгирлик коэффиценти(ТСК) қуйидагича бўлади

$$TCK = \frac{J_s(\varepsilon) + J_s(\varepsilon I)}{(J_s(0) + J_s(I))\varepsilon} \quad (9)$$

қизил чегарага яқинида $J_s(I) = 0$ $J_s(I, \varepsilon) = \tau_i \alpha I_0 E \varepsilon$,

I_0 ёруғлик интенсивлиги

$$TCK = \frac{J_s(\varepsilon) + \tau \alpha I_0}{J_s(0)\varepsilon_0} = \frac{\Delta}{kT} + \frac{\tau \alpha I_0}{\varepsilon J_s(0)} = \frac{\Delta}{kT} + \frac{\tau \alpha I_0}{\varepsilon J_s(0)} = KTЧ_0 + \frac{e \tau \alpha I_0}{\varepsilon J_s(0)} \quad (10)$$

р-п-ўтиш ТСК си тескати сижишда ёритилган ортади

$$\tau = 10^{-8} \text{ с}, \quad \alpha \sim 10^{-2}, \quad I_0 = 10^{18}, \quad \varepsilon = 10^{-3}, \quad \frac{\tau \alpha I_0}{J_s} \sim 10, \quad \varepsilon = 10^{-3}$$

$TCK = TCK_0 + 10^4 \approx 10^4$ яъни қизил чегарада ёритиш ТСК ни кескин ошириб юборади.

§ 3.6 бўлимда р-п-ўтиш тензосезгирлигини спектрал боғлиқлиги кўриб чиқилган. Юпқа р-п-ўтишнинг вольтампер характеристикаси қуйидаги кўринишга эга.

$$j = j_s \left(e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right) \quad (11)$$

р-п-ўтиш ТСК сини доимий U -кучланиш остида қуйидаги формуладан аниқлаймиз.

$$TCK \sim \left(\frac{\Delta j}{j} \right) : \left(\frac{\Delta l}{l} \right) = \frac{dj}{j \varepsilon} \quad (12)$$

$\varepsilon = \frac{dl}{l}$ - нисбий деформация.

Токнинг нисбий ўзгариши тўйиниш токининг нисбий ўзгариши билан аниқланади.

$$\frac{\Delta j}{j} = \frac{\Delta j_s}{j_s} \quad (13)$$

р-п-ўтиш ТСК си қуйидагига тенг

$$TCK = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\varepsilon} \quad (14)$$

Кичик тоқларда $\frac{j}{j_s} \ll 1$; $TCK_I = \frac{\frac{\Delta}{kT}}{\frac{j_s}{j} \cdot \frac{j}{j_s}} = \frac{\Delta}{kT}$ - кучланиш генератори

режимидаги каби $TCK_U = TCK_I$.

Тескари тоқларда эса $U < 0$, $TCK = \frac{\Delta}{kT}$.

Тўғри тоқларда ТСК камаяди, тоқ генератори режими ўлчашлар учун қулай.

Кучланиш генератори режимида ТСК тоқга боғлиқ бўлмайди. Тоқ генератори режимида ТСК тоқ катталигига боғлиқ бўлади ва катта тоқларда

$TCK_I = \frac{TCK_U}{\ln\left(1 + \frac{j}{j_s}\right)} = \frac{TCK_U}{\ln\left(\frac{j}{j_s}\right)}$ агар $\frac{j}{j_s} \gg 1$ бўлса. Тоқ генератори режимида

ТСК тоқ ортиши билан логарифмик равишда камаяди.

§ 3.7 бўлимда ёритилган р-п-ўтишнинг тензосезгирлигига ва ТСКсига ёруғликнинг таъсири қурилган.

Ёритилган р-п-ўтишнинг тензосезгирлиги доимий деформация ε_0 , ёруғлик частотаси ω ва её ёруғлик интенсивлиги I_0 билан бошқариш мумкин деган ҳулоса қилинди. Критик нукталар яқинида деформация таъсирида ютилиш коэффиценти кучли ўзгариши мумкин, бунинг натижасида р-п-ўтишнинг ТСК си аномал катта катталикларга эришиши мумкин.

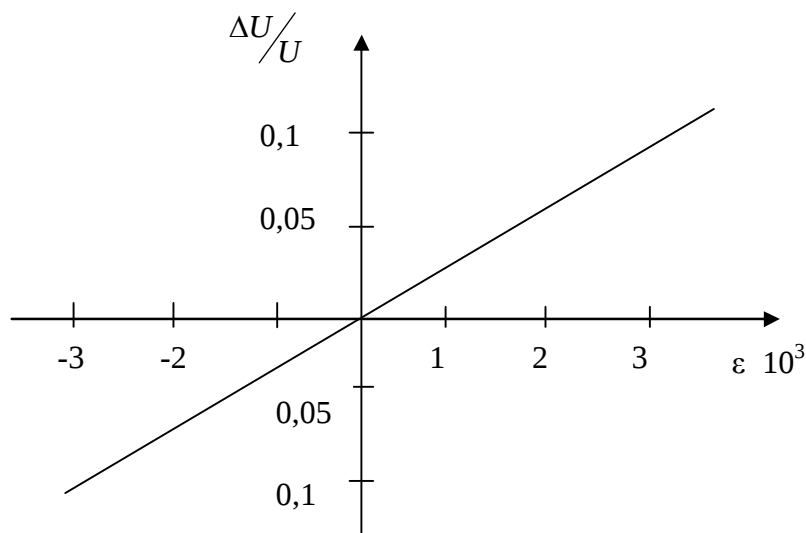
Тўртинчи боб яримўтказгичли плёнкаларда реактив фотоЭЮКнинг ҳосил бўлишига бағишланган. §4.1 бўлимда турли хил ҳолларда баллистик фотоЭЮК ҳосил бўлиши муҳокама этилган, реактив фототоқлар кўп ҳолларда номоён бўлиши кўрсатилган. Қалинлиги фотоэлектроннинг эркин югуриш йўлига тенг бўлган плёнкаларда фотоЭЮК баллистик тоқлар ҳисобига юзага келиши кўрсатилган.

§4.2 бўлимда р-п-ўтишда реактив фотоЭЮКнинг номоён бўлиши масаласи кўрилган.

§4.3 бўлимда баллистик фототоқларга асосланган аномал катта фотомагнитЭЮК муҳокама этилади, назарий баҳолашлар эксперимент натижалари билан солиштирилади. Аномал катта фотокучланишларни(АФК) частотага боғлиқлигини ютилиш коэффиценти фотон энергиясига $\alpha = (h\nu - E_g)^{1/2} \sim (h\nu - E_g)^m$ боғлиқлиги билан тушунтириш мумкинлиги кўрсатиб

берилган. Фотоэлектронлар тезлиги $v \sim (h\nu - E_g)^{1/2}$ иккала холда ҳам фотомагнит кучланишга ўз хиссасини қўшади.

§4.4 бўлимда деформацияни АФК-эффектга таъсири реактивных фототоклар ёрдамида тушунтирилади. [2] да аномал катта фотокучланишлар кузатилади (11-расм). Эксперимент натижаларини реактив фототоклар билан тушунтирса бўлади, чунки фотоэлектронлар пайдо бўлиши билан уларнинг энергияси ёруғлик частотаси ва деформация билан белгиланади.



11-расм. CdTe : Ag плёнкаларини механик деформация таъсирида $V_{АФК}$ ни нисбий ўзгариши. $L = 3 \cdot 10^2$ лк $T = 3000$ К бўлганда.

Эйнштейна тенгламасига асосан фотоэлектронларнинг максимал кинетик энергияси қуйидагича

$$\frac{mv^2}{2} \approx h\nu \pm E_g(\varepsilon) = h\nu - E_g(\varepsilon) + \Delta\varepsilon \quad (15)$$

хусусий ютилиш чегараси яқинида

$$e\Delta U \approx \frac{mv^2}{2} \approx \Delta\varepsilon \quad (16)$$

яъни, деформация билан тормозловчи кучланиш чизиқли боғлиқлиги кузатилади.

Бундан келиб чиқадики, агарда АФК эффект реактив тоқлар билан белгиланса юпқа плёнкаларда АФК кучланиш ва деформациянинг тўғри пропорционал боғлиқлиги кузатилиши керак. Расмдан кўриниб турибдики деформациянинг $\pm(1-3) \cdot 10^{-3}$ чегарасида кучланишнинг нисбий ўзгариши $\Delta U/U$ 0 ва 0,1 оралиқда бўлади. Ушбу муҳим хулоса АФК плёнкаларидаги АФК эффекти реактив фототоклар билан боғлиқлигини тасдиқлайди.

Бобнинг сўнгида ёруғликнинг АФК плёнкалар тензосезгирлигига таъсири муҳокама этилади. [2] ишида CdTe:Ag АФК плёнкалар чўзилиш ва қисилишдаги фототензосезгирлигининг ўзгариши кўрилган (12-расм).

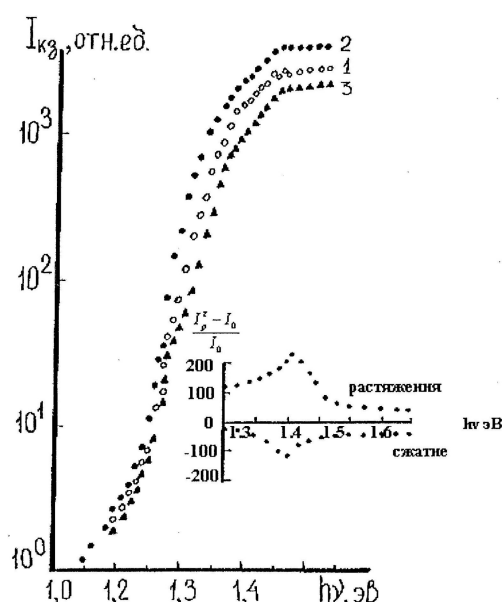


Рис. 12 CdTe:Ag АФК плёнкаларни қисқа туташув токига боғлиқлиги, $\varepsilon = \pm 2 \cdot 10^{-3}$ отн.ед. механик деформация остида. Кичик диаграммада чўзилиш ва қисилишдаги фототензосезгирлигининг ўзгариши кўрилган.

Экспериментда K_v максимуми фотоннинг энергияси хусусий ютилишга тенг бўгандаги $h\nu = 1.3 \text{ эВ}$ ҳолатга тўғри келади. 3 бобда биз назарий тадқиқотларимизда хусусий ютилиш тезосезгирлик коэффициентини оширишини аниқлаган эдик. Ушбу экспериментал маълумот бизнинг хулосамизни тасдиқлайда.

ХУЛОСА

Ишнинг асосий натижалари ва хулоса:

1. ЎЮЧ тўлқин электрон газининг қизиши ва барьер баландлигини ўзгартириши орқали ҳам статистик ҳам динамик таъсир кўрсатади. Бу эса р-п-ўтишда рекомбинацион тоқларни ортишига олиб келади.
2. Бир ўлчовли модел орқали тоқларни баҳолаш тўғри эмас. Тоқларни икки ўлчовли моделда кўрилганда уюрмали тоқлар юзага келади.
3. ЎЮЧ квазипотенциал р-п-ўтишларда ҳосил бўлувчи уюрмавий тоқларни камайтирди.
4. Берк “фазавий траекториялар” электронли жараёнлар билан боғлиқ, очик “фазавий траекториялар” яримўтказгич параметрлари ўзгариши билан боғлиқ.
5. Ёруғлик деформация-ўтказувчанлик “фазавий портретини” ўтказувчанлик ўқи бўйлаб қаттиқ ўзгартириб юборади.
6. Хусусий ёруғлик билан ёритиш намунасининг тензосезгирлигини оширади.
7. р-п-ўтишларда иссиқ ташувчиларнинг термоЭЮК кинетикасининг “фаза портретлари” қурилди.
8. р-п-ўтишнинг тензосезгирлик коэффициенти хусусий ютилиш чегарасида кескин ортади..

9. Плёнкалардаги аномал катта фотокучланиш ва аномал катта фотомагниткучланишлар баллистик тоқларга боғлиқ бўлиши мумкин.
10. р-п-ўтиш генерациялаётган фотоЭЮКни реактив фототоқлар оширади.
11. Аномал катта фотокучланишни деформацияга чизиқли боғлиқлиги фотоЭЮКни баллистик механизмини яққол тасдиқловчи фактдир.

Фойдаланилган адабиётлар:

1. О.О.Маматкаримов. Тензоэлектрический эффект в кремнии с глубокими уровнями и в структурах на их основе. Диссертация на соискание учёной степени доктора физико-математических наук. Ташкент-2003.

2. С.М.Отажонов. Аномальные фотоэлектрические явления в полупроводниковых плёночных структурах из соединений A_2B_5 с глубокими примесными уровнями. Диссертация на соискание учёной степени доктора физико-математических наук. С.480.

Диссертация мавзуси бўйича чоп эттирилган ишлар:

Илмий журнал ва тўпламдаги мақолалар:

1. Г.Гулямов, С.Р.Бойдедаев, М.Г.Дадамирзаев, А.Гулямов. Аномально большие фотонапряжения в полупроводниковых пленках, обусловленные реактивной фотоэдс. «Альтернативная энергетика и экология». 2007, №5(49), ст. 103-107.
2. M.Ahmetoglu, S.H.Shamirzaev, G.Gulyamov, M.Dadamirzayev, A.G.Gulyamov. Change in the resistance of the semiconductor in the variable deformation field. Rom.Journ.Phys., vol.52. nos/ 3-4, p. 319-327, Bucharest, 2007.
3. С.Х.Шамирзаев, Г.Гулямов, М.Г.Дадамирзаев, А.Г.Гулямов. Коэффициент неидеальности вольтамперных характеристик р-п-переходов в сильном сверхвысокочастотном поле. ФТП, 2009, том 43, вып.1. стр.53.
4. С.Х.Шамирзаев, Г.Гулямов, М.Г.Дадамирзаев, А.Г.Гулямов. Вихревые токи, возникающие на р-п-переходе в сверхвысокочастотном электромагнитном поле. ФТП, 2009, том 43, вып.9. стр.1210.
5. С.Х.Шамирзаев, Г.Гулямов, М.Г.Дадамирзаев, А.Г.Гулямов. Электродвижущая сила на выпрямляющем барьере в сверхвысокочастотном электромагнитном поле. УФЖ, 2009, том 11, вып.2. стр.122-127.

Хақаро ва Республика конференцияларда чоп этилган мақолалар.

1. Г.Гулямов, С.Р.Бойдедаев, А.Г.Гулямов Коэффициент неидеальности ВАХ р-п-перехода в сильном СВЧ поле. Материалы международной конференции по «Неравновесные процессы в полупроводниках и в полупроводниковых структурах», ст. 147, 1-3 февраля, 2007г. г.Ташкент.
2. С.Х.Шамирзаев, Г.Гулямов, С.Р.Бойдедаев, А.Г.Гулямов. Ўта юқори частотали (ЎЮЧ) электромагнит майдонидаги ўтказувчан лик ва силжиш тоқларини баҳолаш. «Замонавий физиканинг фундаментал ва амалий муаммолари» Рес-

публика илмий-амалий конференция материаллари, -бет, 18-19.05.07, Тошкент шаҳри.

3. Г.Гулямов, С.Р.Бойдедаев, А.Г.Гулямов Кучли ЎЮЧ майдондаги р-п-ўтишда ўтказувчанлик ва силжиш тоқлари. «Рақобатбардош кадрлар тайёрлаш: тажриба ва муаммолар» Республика илмий-амалий конференцияси материаллари тўплами (III-кисм), 12-бет НамМПИ-2007й.

4. УЮЧ майдондаги тугриловчи контактда электронларнинг кизиши ва тоқнинг тугриланиши. Труды материалов республиканской научно-практической конференции. «Проблемы альтернативной энергетики и энергосбережения». 25-26 сентября. Наманган-2007г. Ст.86. Г.Гулямов, С.Р.Бойдедаев, А.Г.Гулямов

5. Г.Гулямов, С.Р.Бойдедаев, А.Г.Гулямов. Реактив фотоэюк билан боғланган аномал катта фотокучланишлар. Труды материалов республиканской научно-практической конференции. «Проблемы альтернативной энергетики и энергосбережения». 25-26 сентября. Наманган-2007г. Ст.87.

6. Г.Гулямов, А.Г.Гулямов. ЎЮЧ электромагнит майдондаги р-п-ўтишда ҳосил бўладиган уюрмалар тоқлар. Материалы V-ой Республиканской научной конференции «Рост, свойства и применение кристаллов» 11-12апреля. Андижан-2008г. Ст.125.

Техника фанлар номзоди даражасига давогар Гулямов Абдурасул Гафуровичнинг 01.04.10-яримўтказгичлар физикаси ихтисослиги бўйича “Деформацион эффектлар динамикаси ва яримўтказгич пардаларида реактив фототоклар” мавзудаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч сўзлар: Иссиқ электронлар, баллистик фототоклар, реактив фототоклар, юқоричастотали квазипотенциал, фазалар траекториялари, фазалар портрети, динамик тензосезгирлик, уюрмали токлар, аномал катта фотокучланишлар, АФК-эффекти.

Объекты исследования: Вакуумли чанглатилиш орқали олинган Bi_2Te_3 ва Sb_2Te_3 тензосезгир плёнкалар, чуқур сатхли кучли компенсацияланган кремний, кремнийли р-п-ўтишлар, CdTe df Si АФК плёнкалари.

Диссертация ишининг мақсади: Ўта юқори частоталимайдондаги р-п-ўтишларда электр юритувчи кучларнинг ҳосил бўлиш механизмларини тадқиқ қилиш ва тензосезгир плёнкалардаги деформацион эффектлар динамикасини “фазалар траекторияси” усули орқали ёритиш.

Тадқиқод методлари: Тебранишлар назариясидаги “фазалар траекторияси” методи. Деформацион эффектларни моделлаштириш. Сонли экспериментлар.

Олинган натижалар ва уларни янгилиги:

1. Илк бор уюрмали токларни Миллер кучи ҳисобига камайиши кўрсатилди.
2. Яримўтказгичларда деформацион эффектларни тадқиқ қилиш учун биринчи марта “фазалар портрети” методи қўлланилди.
3. Деформацион эффектлар “фазавий траекториялари”га хусусий ёруғликнинг таъсири аниқланди.

Практическая значимость: “Фазалар траекторияси” усули яримўтказгичларда деформацион эффектлар динамикасини тадқиқ қилишда кенг қўлланиши мумкин. Тензосезгирлик бўйича олинган тақиқод натижаларидан янги сегирлигини бошқариш мумкин бўлган тензодатчиклар олишда фойдаланиш мумкин.

Қўлланилиш соҳаси: Микроэлектроника, қаттиқ жисм физикаси, яримўтказгичлар физикаси, тензометрия, оптоэлектроника.

РЕЗЮМЕ

диссертации Гулямова Абдурасула Гафуровича на тему «Динамика деформационных эффектов и реактивные фототоки в полупроводниковых плёнках» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Ключевые слова: Горячие электроны, баллистические фототоки, реактивные фототоки, высокочастотный квазипотенциал, фазовые траектории, фазовые портреты, динамическая тензочувствительность, вихревые токи, аномально большие фотонапряжения, АФН-эффект.

Объекты исследования: тензочувствительные плёнки Bi_2Te_3 и Sb_2Te_3 полученные при вакуумном напылении, сильнокомпенсированный кремний с глубокими уровнями, кремневые р-п-переходы, АФН плёнки CdTe и Si .

Целью диссертации является исследование механизмов возникновения ЭДС в р-п-переходах в сильных СВЧ полях. Описание динамики деформационных эффектов в тензочувствительных плёнках методами фазовых траекторий и термодинамики циклических процессов.

Метод исследования. Методы фазовых траекторий в теории колебаний. Моделирование деформационных эффектов. Численные эксперименты.

Полученные результаты и их новизна:

4. Впервые показано, уменьшение вихревых токов за счёт силы Миллера.
5. В полупроводниковых плёнках впервые применён метод фазовых портретов для исследования деформационных эффектов в полупроводниках.
6. Установлено влияние освещения собственного света на фазовые траектории деформационных эффектов.

Практическая значимость: Метод фазовых траекторий может быть использован при контроле характеристик полупроводников. Результаты исследования тензочувствительности могут быть использованы при разработке новых тензодатчиков с управляемой чувствительностью.

Область применения: Микроэлектроника, физика твердого тела, физика полупроводников, тензометрия, оптоэлектроника.

RESUME

Thesis of Gulyamov Abdurasul Gafurovich on the scientific degree competition of the doctor of philosophy in physical-mathematical sciences on specialty 01.04.10 - a physics semiconductor subject "Track record deforming effect and reactive photocurrents in semiconductor film".

Keywords: Hot electrons, ballistic photocurrents, reactive photocurrents, radio-frequency quasipotential, $R(\varepsilon)$ trajectory and portraits, dynamic tenzosensitivity, circle currents, anomalous greater photo-tension.

Subject of the inquiry: tenzosensitivity films Bi_2Te_3 , Sb_2Te_3 got under vacuum evaporation, high recouped silicon with deep level, flint p-n-transition, AGP film CdTe and Si .

Aim of the inquire is a study of mechanism origin EMF in p-n-transition in strong SRF floor. The Description speakers deforming effect in tenzosensitivities film by methods $R(\varepsilon)$ path and thermodynamics of the round-robin processes.

Methods of inquiry: The methods $R(\varepsilon)$ path in theories of the fluctuations. Modeling deforming effect. The Numerical experiments.

The results achieved and their novelty:

1. Reduction of vortical currents for the first time is shown at the expense of force Miller.
2. Method of thermodynamics of cyclic processes and $(R(\varepsilon))$ diagrams for the first time is used for research of deformation effects in semiconductors.
3. Establish influence of the illumination of the own light on phase trajectory of deforming effect.

Practical value: Method phase path can be use when checking the features semiconductor. The Results studies of tenzosensitivity can be used at development a new tenzogauges

Sphere of usage: Microelectronics, solid state physics, physics semiconductor, optoelectronics.