

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Զալինյան Տիգրան Անդրանիկի

**ԷԼԵԿՏՐՈՆԻ ՑԱՆՑԱՅԻՆ ՇԱՐՃՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ԱՂՄՈՒԿՆԵՐԸ
ԲԵՎԵՌԱՅԻՆ ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴԻՉՆԵՐՈՒՄ**

Ա.04.10 - «Կիսահաղորդիչների ֆիզիկա» մասնագիտությամբ
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ - 2020

ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Залинян Тигран Андраникович

**ШУМЫ РЕШЕТОЧНОЙ ПОДВИЖНОСТИ ЭЛЕКТРОНА
В ПОЛЯРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.10 – “Физика полупроводников”

ЕРЕВАН - 2020

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Սլավիկ Վուրդյայի Մելքոնյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Վարդանյան Արշակ Լյուդվիգի
Ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու, դոցենտ
Պետրոսյան Ալֆրեդ Վաղինակի

Առաջատար կազմակերպություն՝

Հայաստանի ազգային
պոլիտեխնիկական համալսարան

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2020 թ. նոյեմբերի 21-ին՝ ժամը 12:00-ին, Երևանի պետական համալսարանի ֆիզիկայի 049 մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցե՝ ՀՀ, ք. Երևան, 0025, Ալեք Մանուկյան 1):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2020 թ. հոկտեմբերի 8-ին:

**Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար՝**



Ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու, դոցենտ
Վ. Պ. Քալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете

Научный руководитель:

доктор физ.-мат. наук, профессор
Мелконян Славик Володьевич

Официальные оппоненты:

доктор физ.-мат. наук, профессор
Вартанян Аршак Людвигович
кандидат физ.-мат. наук, доцент
Петросян Альфред Вагинакович

Ведущая организация:

Национальный политехнический
университет Армении

Защита диссертации состоится 21-го ноября 2020 г. в 12:00 часов на заседании специализированного совета по физике 049 при Ереванском государственном университете (адрес: РА, г. Ереван, 0025, Алека Манукяна 1).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 8-го октября 2020 г.

Ученый секретарь

специализированного совета:



кандидат физ.-мат. наук, доцент
В.П. Калантарян

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Թեմայի արդիականությունը

Ներկայումս աղմուկների ուսումնասիրությունը առանձնակի մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում ինչպես ֆիզիկայի, աստղաֆիզիկայի, միկրո-, նանո- և օպտոէլեկտրոնիկայի, այնպես էլ՝ կենսաֆիզիկայի, երկրաֆիզիկայի, մեխանիկայի, առողջապահության, բժշկության, էկոլոգիայի և շատ այլ բնագավառների համար: Նանտեխնոլոգիաների, փոքր ու գերփոքր հզորություններով աշխատող սարքերի ժամանակակից դարաշրջանում անհնար է զարգացնել տեխնոլոգիաները՝ առանց աղմուկների, հատկապես՝ ցածրհաճախային աղմուկների բավարար ուսումնասիրության:

Հաշվի առնելով այն հանգամանքը, որ ներկայումս գրեթե ամենուր կիրառվող էլեկտրոնային սարքավորումները (թվային տեխնոլոգիաները), ըստ էության, կիսահաղորդչային են՝ առանձնակի կարևոր է դառնում կիսահաղորդիչներում և կիսահաղորդչային սարքերում աղմուկների բազմակողմանի և մանրակրկիտ ուսումնասիրությունը: Նշենք, որ պինդարմային ֆիզիկայում և էլեկտրոնիկայում *աղմուկ* տերմինով հիմնականում ներկայացնում են էլեկտրական մեծությունների (հոսանք, լարում, լիցք, դիմադրություն և այլն) ֆլուկտուացիաները:

Ամենատարբեր համակարգերում և սարքավորումներում առկա անխուսափելի աղմուկները կարող են հանգեցնել համակարգի արագագործության նվազման, ինֆորմացիայի կորստի և այլն: Այս տեսանկյունից աղմուկներն «անցանկալի» են և խնդիր է դրվում հնարավորինս նվազեցնել աղմուկների մակարդակը: Մյուս կողմից, միշտ չէ, որ աղմուկներն «անցանկալի» են: Աղմկային դիագնոստիկան և սպեկտրոսկոպիան հանդիսանում են ժամանակակից էլեկտրոնային սարքավորումների հուսալիության, որակի ստուգման, կիսահաղորդչի ֆիզիկական պարամետրերի (խառնուրդների կոնցենտրացիա, խառնուրդային մակարդակի էներգիա, լիցքակիրների կյանքի տևողություն, հոսանքակիրների ցրման կտրվածքի մակերես, շարժունակություն, դիմադրություն և այլն) ճշգրիտ չափման առաջատար գործիքներ: Այս հանգամանքը թույլ է տալիս աղմկային սպեկտրոսկոպիան օգտագործել արդի էլեկտրոնային արդյունաբերությունում՝ գազային տվիչների, արեգակնային մարտկոցների, p-n անցումների, MOS և MOSFET կառուցվածքների մակերևույթի և միջմակերևույթային շերտերի որակի գնահատման, կառուցվածքային հնարավոր արատների բացահայտման և այլ նպատակներով:

Աղմուկների տեսակների մեջ յուրահատուկ տեղ են զբաղեցնում $1/f$ (կամ ֆլիկեր) աղմուկները: Սպեկտրալ խտության հաճախային կախվածության $1/f$ տեսք

ունեցող աղմուկների բացառիկ յուրահատկությունը կայանում է նրանում, որ այսպիսի աղմուկներ դիտվում են գերեթե բոլոր համակարգերում: Չնայած $1/f$ աղմուկները գերակշռում են ցածր հաճախությունների տիրույթում, սակայն աղմուկի մակարդակը շատ կարևոր է նաև բարձր հաճախային տիրույթում հաղորդակցության համար, քանի որ $1/f$ աղմուկը հանդիսանում է օսցիլյացիոն համակարգի փուլային աղմուկների հիմնական աղբյուրը: Ցածրհաճախային $1/f$ աղմուկը կարող է փոխակերպվել փուլային աղմուկի և սահմանափակել էլեկտրոնային սարքի աշխատանքը բարձրհաճախային տեղամասում: Օսցիլյատորի փուլային աղմուկը որոշում է ազդանշանը առանձնացնելու համակարգի ունակությունը: Դեպի բարձր հաճախությունների տիրույթ $1/f$ աղմուկի տեղափոխման առանձնահատկությունը արդյունք է էլեկտրոնային համակարգի անխուսափելի ոչ գծայնության: $1/f$ աղմուկի մակարդակը կարևոր պարամետր է, որը կարող է որոշել նաև բջջային կապի գրաֆենային տեխնոլոգիաների, ռադար և այլ հեռահաղորդակցային համակարգերի մրցակցային արդյունավետությունը: Այս դիտարկումները կարևորում են տարբեր չափայնությամբ կիսահաղորդչային սարքերում $1/f$ աղմուկների ուսումնասիրությունների կիրառական անհրաժեշտությունը: Աղմուկի այդ տեսակի հետ կապված սահմանափակումները հատկապես զգալի են նանոչափային սարքերում, քանի որ աղմուկի մակարդակը աճում է սարքի չափերի նվազումից: Բազմապիսի էլեկտրոնային սարքերի կիրառությունների տեսանկյունից, որտեղ պահանջվում է ազդանշան/աղմուկ հարաբերության օպտիմալացում, հիմնական խնդիրը կապված է $1/f$ աղմուկների հետ:

Չնայած արդեն մի քանի տասնամյակ տևող տեսական և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքում հավաքված բազմաթիվ տվյալների, առաջ քաշված տեսությունների և մոտեցումների առկայությանը, այնուամենայնիվ՝ ցածրհաճախային աղմուկների առաջացման մեխանիզմների ֆիզիկական (նաև մաթեմատիկական) միասնական, գիտական հանրության կողմից լայնորեն ընդունված տեսություն առայժմ հայտնաբերված չէ, մինչդեռ աղմուկի մակարդակի էֆեկտիվ կառավարման համար կարևոր և սկզբունքային նշանակություն ունի ֆիզիկական մեխանիզմի իմացությունը:

Վերջին շրջանի մի շարք փորձարարական և տեսական հետազոտությունների արդյունքները վկայում են, որ կիսահաղորդիչներում և կիսահաղորդչային սարքերում հոսանքի ցածրհաճախային (ֆլիկեր) աղմուկների առաջացման ամենահավանական համարվող մեխանիզմներից մեկը հոսանքակիրների շարժունակության ֆլուկտուացիայի մոդելն է: Մոդելի շրջանակներում զարգացվել է էլեկտրոն-ֆոնոն ցրումներով պայմանավորված շարժունակության աղմուկների տեսությունը: Իսկ վերջինիս շրջանակներում առաջ

քաշված արտաքին էլեկտրական դաշտում էլեկտրոն-ֆոնոն ցրումների նոր մեխանիզմի՝ էլեկտրոն-ֆոնոն Դաշտով ինդուցված թունելային ցրումների (ԴԻԹ ցրումներ (FIT scattering – Field Induced Tunnel scattering)), ինչպես նաև շարժունակության աղմուկների ուսումնասիրության դիսպերսիոն մոտեցման տեսությունների վերջին շրջանի արդյունքները լավ հիմք են հանդիսանում հավասարակշիռ և անհավասարակշիռ կիսահաղորդիչներում լիցքակիրների շարժունակության ֆլուկտուացիաների և ԴԻԹ ցրումների տեսությունների հետագա ուսումնասիրության և զարգացման համար:

Աշխատանքի նպատակը

Ատենախոսության հիմնական նպատակներն ու խնդիրներն են.

- Ջարգացնելով էլեկտրոն-ֆոնոն ԴԻԹ ցրումների տեսությունը՝ այն տարածել բևեռային կիսահաղորդիչների նկատմամբ, հաշվել էլեկտրոն-բևեռային օպտիկական ֆոնոն ԴԻԹ ցրման ժամանակը, պարզել էլեկտրոնի էներգիայից և էլեկտրական դաշտի լարվածությունից էլեկտրոնի ԴԻԹ ցրման ժամանակի կախման օրինաչափությունները:
- Ուսումնասիրել բևեռային կիսահաղորդիչներում էլեկտրոնի շարժունակության աղմուկի հիմնական վիճակագրական բնութագրերը, մասնավորապես՝ բացահայտել շարժունակության հարաբերական դիսպերսիայի կախումը էլեկտրական դաշտի լարվածությունից և շարժունակության աղմկային գործակցի ջերմաստիճանային կախումը:
- էլեկտրոն-ֆոնոն բախումների ինտեգրալով Բուլցմանի ոչ ստացիոնար կինետիկական հավասարման հիման վրա ստանալ լիցքակիրների հավասարակշիռ բաշխման ֆունկցիայի ֆլուկտուացիաների սիմետրիկ բաղադրիչը նկարագրող հավասարում:
- Ուսումնասիրել էլեկտրոն-ֆոնոն ոչ առաձգական ցրումներով պայմանավորված էլեկտրոնի շարժումը էներգիայի առանցքով:
- Ստանալ էլեկտրոնի ցանցային շարժունակության ֆլուկտուացիաները նկարագրող հավասարում և դրա հիման վրա ուսումնասիրել շարժունակության ֆլուկտուացիաների ժամանակային մարման օրինաչափությունները:

Գիտական նորույթը

- Տույց է տրվել, որ բևեռային կիսահաղորդիչներում էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ գոտիների թեքման հետևանքով հնարավոր են դառնում

օպտիկական ֆոնոնի էներգիայից փոքր էներգիայով էլկտրոնի՝ ֆոնոնի առաքմամբ ընթացող էլեկտրոն-բևեռային օպտիկական ֆոնոն ցրումները: Դրա հետևանքով ցրման տեմպի (ցրման ժամանակի)՝ էլեկտրոնի էներգիայից կախման կորի վրա ֆոնոնի էներգիային համապատասխանող կետում առկա կտրվածքը վերանում է:

- GaAs-ի օրինակով ցույց է տրվել, որ բևեռային կիսահաղորդիչներում էլեկտրոնի ցանցային շարժունակության հարաբերական դիսպերսիան էլեկտրական դաշտի աճին զուգահեռ նվազում է լուգարիթմական օրենքով:
- Հաշվարկվել է GaAs-ում ցանցային ցրումներով պայմանավորված էլեկտրոնի շարժունակության աղմուկի աղմկային գործակցի ջերմաստիճանային կախումը, որն ինչպես որակական, այնպես էլ քանակական լավ համապատասխանության մեջ է հոսանքի ցածրհաճախային աղմուկի Հուգի գործակցի ջերմաստիճանային կախման համար գրականությունից հայտնի փորձարարական արդյունքների հետ:
- Ցույց է տրվել, որ էլեկտրոնի շարժունակության հավասարակշիռ ֆլուկտուացիաները պայմանավորված են հաղորդականության գոտու բնակեցվածության ֆլուկտուացիաների միայն սիմետրիկ բաղադրիչով:
- էլեկտրոն-ֆոնոն փոխազդեցությամբ պայմանավորված էլեկտրոնի «շարժումը» էներգիայի առանցքով իրենից ներկայացնում է միաչափ դիֆուզիա *k*-տարածությունում: Վերջինս բնութագրող էլեկտրոնների հավասարակշիռ բաշխման ֆունցիայի ֆլուկտուացիաների սիմետրիկ բաղադրիչի ժամանակային կախման համար ստացված հավասարման հիման վրա ցույց է տրվել, որ գծային մոտավորության շրջանակներում էլեկտրոնի ցանցային շարժունակության ֆլուկտուացիաները ժամանակի ընթացքում չեն մարում և բնութագրվում են ստոխաստիկ հարմոնիկ ֆունկցիայով:

Կիրառական նշանակությունը

- էլեկտրոն-բևեռային օպտիկական ֆոնոն ԴԻԹ ցրման ժամանակի համար ստացված արդյունքները կարող են օգտագործվել բևեռային կիսահաղորդիչներում էլեկտրական դաշտի ազդեցության ներքո ֆոնոնային ցրումների մեխանիզմների հետազա մանրակրկիտ ուսումնասիրության համար, ինչն էլ իր հերթին կարող է նպաստել հոսանքակիրների շարժունակության և շարժունակության ֆլուկտուացիաների տեսության հետազա զարգացմանը: Մասնավորապես՝ ցրման ժամանակի համար ստացված արդյունքների հիման վրա, GaAs-ի համար շարժունակության

աղմկային գործակցի ջերմաստիճանային կախման տեսական հաշվարկի նմանությամբ, հնարավոր է տեսականորեն հաշվարկել շարժունակության աղմկային գործակիցը և այդ գործակցի՝ արտաքին պարամետրերից (ջերմաստիճան և այլ) կախումը նաև այլ բևեռային կիսահաղորդիչներում: Նշվածը կարող է էական նշանակություն ունենալ բևեռային կիսահաղորդիչներում և վերջիններիս հիման վրա պատրաստված կիսահաղորդչային սարքերում հոսանքի ցածրհաճախային $1/f$ աղմուկների մեխանիզմների տեսության զարգացման հարցում:

- Լիցքակիրների հավասարակշիռ բաշխման ֆունցիայի ֆլուկտուացիայի սիմետրիկ բաղադրիչի ժամանակային կախման համար ստացված հավասարումը կարող է կիրառվել մի շարք խնդիրներում, մասնավորապես՝ հավասարման լուծումը թույլ կտա բացահայտել, օրինակ, էլեկտրոնային ենթահամակարգի լրիվ էներգիայի ֆլուկտուացիայի ժամանակային կախումը:
- Գծային մոտավորության շրջակներում ցանցային շարժունակության ֆլուկտուացիայի ժամանակային կախման համար ստացված արդյունքները կարող են հիմք հանդիսանալ շարժունակության ֆլուկտուացիաների տեսության հետագա զարգացման համար նաև ոչ գծային մոտավորության ընդհանուր դեպքում:
- Ստացված արդյունքները կարող են կիրառվել կիսահաղորդիչներում էլեկտրոնային համակարգի հավասարակշռության, հավասարակշռության վիճակից շեղման և հավասարակշռության վերականգնման մեխանիզմների, առհասարակ՝ ֆլուկտուացիոն երևույթների ընդհանուր տեսության հետագա խորը ուսումնասիրության և զարգացման համար:
- Ստացված արդյունքները կարող են կիրառվել նաև կիսահաղորդիչներում և կիսահաղորդչային սարքերում աղմուկների մոդելավորման և աղմկային սպեկտրոսկոպիայի հետ կապված գործնական-փորձարարական խնդիրներում:

Պաշտպանության ներկայացվող գիտական դրույթները

1. Էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ էլեկտրոն-բևեռային օպտիկական ֆոնոն ցրման ժամանակի՝ էլեկտրոնի էներգիայից կախման կորի վրա կոտրվածք չկա:
2. Բևեռային կիսահաղորդիչներում էլեկտրոնի ցանցային շարժունակության աղմուկի հարաբերական դիսպերսիան էլեկտրական դաշտի լարվածության աճին զուգահեռ նվազում է լոգարիթմական օրենքով:

3. GaAs-ում ցանցային ցրումներով պայմանավորված էլեկտրոնի շարժունակության աղմուկի աղմկային գործակիցը ջերմաստիճանների $300 \div 80$ K տիրույթում ընդունում է արժեքներ $\sim 10^{-3} \div 10^{-7}$ տիրույթում:
4. Կիսահաղորդիչներում էլեկտրոնի շարժունակության ֆլուկտուացիաները պայմանավորված են հաղորդականության գոտու էներգետիկ մակարդակների բնակեցվածության ֆլուկտուացիաների միայն սիմետրիկ բաղադրիչով: Բնակեցվածության ֆլուկտուացիաների ասիմետրիկ բաղադրիչները շարժունակության ֆլուկտուացիաների մեջ ներդրում չունեն:
5. Ֆոնոնի կլանման և ճառագայթման արդյունքում էլեկտրոնի «շարժումը» էներգիայի առանցքով *միաչափ դիֆուզիա է k-տարածությունում*, որը բնութագրվում է Ֆոկկեր-Պլանկի հավասարմամբ: Դիֆուզիայի գործակիցը հաստատուն չէ՝ այն կախված է էլեկտրոնի էներգիայից $3/2$ -ի օրենքով:
6. Բոլցմանի կինետիկական հավասարման՝ ֆլուկտուացիաների նկատմամբ գծային մոտավորության շրջանակներում էլեկտրոնի ցանցային շարժունակության ֆլուկտուացիաների ժամանակային կախումը նկարագրվում է ստոխաստիկ հարմոնիկ ֆունկցիայով, որի ամպլիտուդը և սկզբնական փուլը պատահական մեծություններ են:

Ատենախոսության ծավալը և կառուցվածքը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլուխներից, եզրակացությունից, հավելվածից և հղումների 85 անուն գրականության ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը կազմում է 118 էջ, որը ներառում է 30 նկար և 1 աղյուսակ:

Աշխատանքի համառոտ բովանդակությունը

Ներածության մեջ համառոտ ներկայացված է ատենախոսության թեմայի արդիականությունը, ձևակերպված են աշխատանքի հիմնական նպատակը, ստացված արդյունքների գիտական նորոյթը, կիրառական նշանակությունը և պաշտպանության ներկայացվող հիմնական գիտական դրույթները:

Գլուխ 1. Գիտական գրականության տվյալների համառոտ ակնարկ: Ատենախոսության այս գլուխը բաղկացած է 8 ենթագլուխներից, որոնցում ներկայացված են կիսահաղորդիչներում հոսանքի ցածրիաճախային, այդ թվում՝ ֆլիկեր աղմուկների հիմնական հատկությունները և ֆիզիկական մոդելները, էլեկտրոնի ցանցային շարժունակության ջերմային ֆլուկտուացիաների մեխանիզմները և աղբյուրները [1-6], էլեկտրոն-ֆոնոն ԴԻԹ ցրումների տեսության

հիմնական դրույթներն ու ներկա արդյունքները [7-9], հոմոպյար կիսահաղորդիչներում շարժունակության աղմուկի դիսպերսիայի և սպեկտրալ խտության համար ստացված հիմնական արդյունքները [10], էլեկտրոն-բևեռային օպտիկական ֆոնոն ցրումների «ստանդարտ» տեսությունը¹, ինչպես նաև բևեռային կիսահաղորդիչներում հոսանքի ցածրահաճախային աղմուկների Հուգի գործակցի ջերմաստիճանային կախման փորձարարական հայտնի արդյունքները: Ձևակերպված են եզրակացությունները և աշխատանքի հիմնական նպատակներն ու քննարկվող խնդիրները:

Գլուխ 2. Էլեկտրոն-բևեռային օպտիկական ֆոնոն դաշտով ինդուցված թունելային ցրումներ: Այս գլուխը բաղկացած է 5 ենթագլուխներից, որոնցում նախ ներկայացված է էլեկտրոն-բևեռային օպտիկական ֆոնոն ԴԻԹ ցրման հավանականության համար [9] աշխատանքում նախապես ստացված արտահայտության և վերջինիս կիրառելիության վերլուծությունը: Այնուհետև ներկայացված է [7-8] աշխատանքներում զարգացված ընդհանուր մոտեցումների շրջանակներում ոչ այլասերված ստանդարտ գոտիական կառուցվածքով բևեռային կիսահաղորդչում էլեկտրոն-բևեռային օպտիկական ֆոնոն ԴԻԹ ցրման ժամանակի հաշվարկը թույլ էլեկտրական դաշտերի դեպքում: ԴԻԹ ցրման տեմպի (ցրման ժամանակի հակադարձ մեծության) համար ստացվել է հետևյալ արտահայտությունը՝

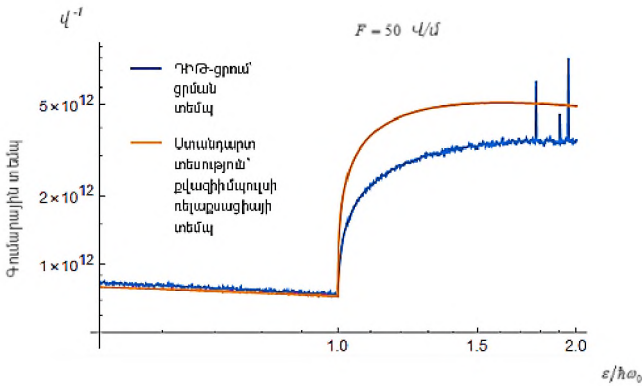
$$\frac{1}{\bar{\tau}_k} = \frac{me^2\omega_0 l}{(2\pi)^2 \hbar^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r^*} \left(N_0 + \frac{1}{2} \mp \frac{1}{2} \right) \int_{-\beta(\varepsilon_k \pm \hbar\omega_0)}^{+\infty} ds \frac{Ai^2(s)}{|s + \beta(\varepsilon_k \pm \hbar\omega_0) - \beta\varepsilon_{\perp}|}, \quad (1)$$

որտեղ ε_k -ն \mathbf{k} քվազիալիքային վեկտորով էլեկտրոնի էներգիան է, ω_0 -ն երկայնական բևեռային օպտիկական ֆոնոնի անկյունային հաճախությունն է, N_0 -ը բևեռային օպտիկական ֆոնոնների Բոզե-Այնշթայնի հավասարակշիռ բաշխման ֆունկցիան է, ինչպես նաև կատարված են հետևյալ նշանակումները՝ $\beta \equiv 2ml^2/\hbar^2$, $l \equiv (\hbar^2/2emF)^{1/3}$: F լարվածությամբ համասեռ էլեկտրական դաշտն ուղղված է z ուղղությամբ, իսկ էլեկտրոնի ε_{\perp} էներգիան որոշվում է որպես՝ $\varepsilon_{\perp} = \hbar^2 k_{\perp}^2/2m$, որտեղ \mathbf{k}_{\perp} -ը քվազիալիքային վեկտորի՝ դաշտին ուղղահայաց բաղադրիչն է: (1) արտահայտության մեջ վերին նշանը համապատասխանում է ֆոնոնի կլանմանը, իսկ ստորին նշանը՝ առաքմանը ընթացող ցրումներին:

Ստորև ներկայացված են (1) արտահայտության հիման վրա GaAs-ի համար կատարված թվային հաշվարկների որոշ արդյունքներ: Նկ.1-ա-ում և բ-ում ներկայացված են $T = 300$ Կ ջերմաստիճանում էլեկտրոն-բևեռային օպտիկական

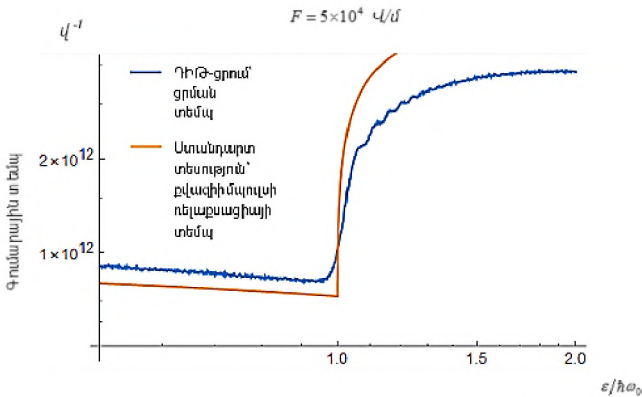
¹ «Ստանդարտ» տեսություն ասելով ի նկատի ունենք էլեկտրոն-ֆոնոն ցրումների՝ գիտական գրականությունից հայտնի տեսությունները (մոդելները): Անվանումը կրում է ֆորմալ բնույթ և ներմուծվում է հակիրճ ձևով ԴԻԹ ցրումների մոդելից տարանջատելու համար:

Ֆոնոն ցրման դեպքում քվազիհնավուսի ռելաքսացիայի գումարային տեմպի և ԴԻԹ ցրման գումարային տեմպի՝ էլեկտրոնի էներգիայից կախումներն արտահայտող գրաֆիկները էլեկտրական դաշտի լարվածության՝ համապատասխանաբար $F = 50$ Վ/Ճ և $F = 5 \times 10^4$ Վ/Ճ արժեքների դեպքերում:



Նկ.1-ա.

$F=50$ Վ/Ճ :



Նկ.1-բ.

$F=5 \times 10^4$ Վ/Ճ :

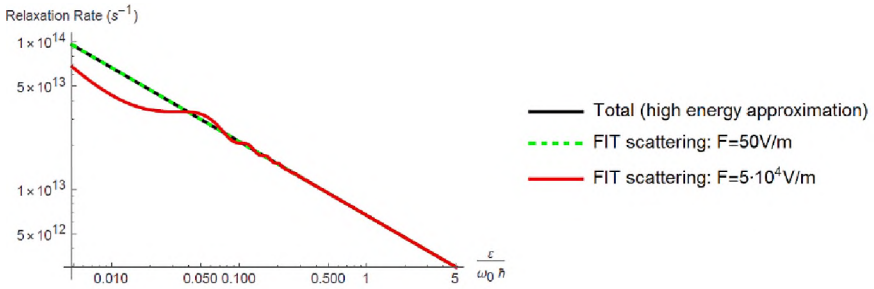
Վերլուծելով ԴԻԹ ցրման և «ստանդարտ» տեսության դեպքում ռելաքսացիայի գումարային տեմպերի գրաֆիկները՝ երևում է, որ էլեկտրական դաշտի զրոյական արժեքի դեպքում գրաֆիկները գրեթե համընկնում են և $\varepsilon = \hbar\omega_0$ կետում ունեն ընդգծված խզում, իսկ էլեկտրական դաշտի աճին զուգահեռ՝ ԴԻԹ ցրման դեպքում խզումը վերանում է և առաջանում է օսցիլյացիաներով պայմանավորված սահուն անցում: Էլեկտրական դաշտի լարվածության աճին համապատասխանում է օսցիլյացիաների լայնույթի աճ, իսկ էլեկտրոնի էներգիայի աճին զուգահեռ օսցիլյացիաների լայնույթը նազում է: Արդյունքում՝ ԴԻԹ ցրման

դեպքում ցրման տեմպի (ցրման ժամանակի) կախումը էլեկտրոնի էներգիայից անընդհատ ֆունկցիա է, ինչով արտահայտվում է ԴԻԹ ցրումների տեսության հիմնական առանձնահատկությունը՝ էլեկտրական դաշտի ազդեցության դեպքում կիսահաղորդչում ֆոնոնի ճառագայթմամբ ուղեկցվող ցրման պրոցեսները թույլատրված են ցանկացած էներգիայով էլեկտրոնների համար: Որպես հետևանք, ԴԻԹ ցրումների շնորհիվ էլեկտրոնի շարժունակության դիսպերսիան վերածվում է վերջավոր մեծության [7]: Ստացված արդյունքները կարևոր են բևեռային կիսահաղորդիչներում շարժունակության աղմուկների ուսումնասիրության համար:

Վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ $\varepsilon \gg \hbar\omega_0$ տիրույթում կարելի է օգտվել որոշակի մոտարկումներից և (1) արտահայտությունը ներկայացվում է հետևյալ պարզ ձևով՝

$$\frac{1}{\bar{\tau}_k} \cong \frac{e^2 \omega_0}{8\varepsilon_0 \varepsilon_r \varepsilon_k} (2N_0 + 1) \int_{-\beta\varepsilon_k}^{+\infty} ds A I^2(s) : \quad (2)$$

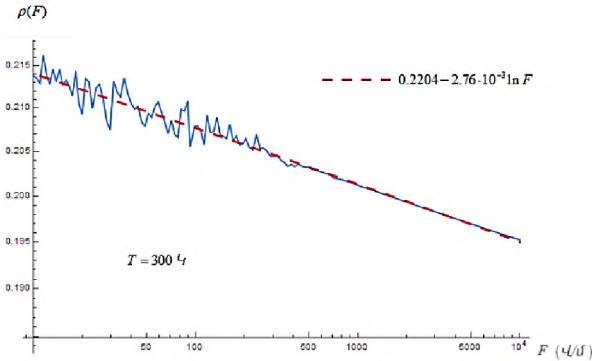
Նկ.2-ում ներկայացված են GaAs-ում $\varepsilon \gg \hbar\omega_0$ մոտավորության շրջանակներում $T = 300$ Կ ջերմաստիճանում էլեկտրոն-բևեռային օպտիկական ֆոնոն ցրման դեպքում քվազիհիմպոլսի ռելաքսացիայի գումարային տեմպի և ԴԻԹ ցրման գումարային տեմպի՝ էլեկտրոնի էներգիայից կախումներն արտահայտող գրաֆիկները էլեկտրական դաշտի լարվածության $F = 50$ Վ/մ և $F = 5 \times 10^4$ Վ/մ արժեքների դեպքերում:



Նկ.2.

Գլուխ 3. Շարժունակության աղմուկի որոշ բնութագրերը բևեռային կիսահաղորդիչներում: Գլուխը բաղկացած է 4 ենթագլուխներից, որոնցում նախ ներկայացված է ԴԻԹ ցրումների համար ստացված հիմնական արդյունքների կիրառությամբ դիսպերսիոն մոտեցման ընդհանուր ֆորմալիզմի շրջանակներում բևեռային կիսահաղորդիչներում ցանցային ցրումներով պայմանավորված

Էլեկտրոնի շարժունակության աղմուկի $\rho(F)$ հարաբերական դիսպերսիայի հաշվարկը: Նկ.3-ում ներկայացված է GaAs-ի համար $T=300\text{K}$ -ում թվային հաշվարկների արդյունքում ստացված $\rho(F)$ կախման գրաֆիկը լոգարիթմական ($\log\log$) մասշտաբով:



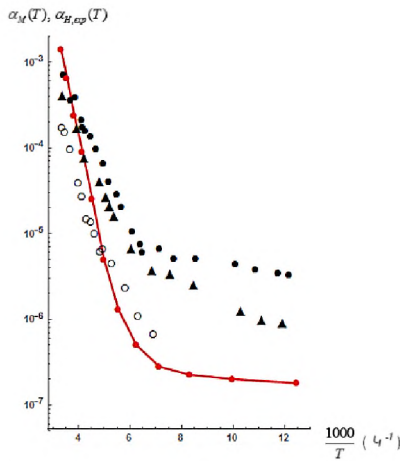
Նկ.3.

Տարբեր ջերմաստիճաններում կատարված հաշվարկների արդյունքում ստացվում են համանման կորեր, որոնց վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ GaAs-ում (ընդհանուր դեպքում՝ բևեռային կիսահաղորդիչներում) ցանցային ցրումներով պայմանավորված էլեկտրոնի շարժունակության $\rho(F)$ հարաբերական դիսպերսիայի կախումը էլեկտրական դաշտի լարվածությունից կարելի է ներկայացնել հետևյալ առնչությամբ՝

$$\rho(F) = b + c \ln\left(\frac{F_{char}}{F}\right), \quad (3)$$

որտեղ b , c և F_{char} -ը էլեկտրական դաշտից անկախ գործակիցներ են, որոնք ընդհանուր դեպքում կախված են կիսահաղորդչի պարամետրերից և ցրման մեխանիզմից:

Ստացված արդյունքների հիման վրա, հակադարձ խնդրի լուծման համար զարգացված ընդհանուր մոտեցումների շրջանակներում GaAs-ի համար հաշվարկվել է շարժունակության աղմկային գործակցի $\alpha_M(T)$ ջերմաստիճանային կախումը: Թվային հաշվարկների հիման վրա ստացված արդյունքները ներկայացված են Նկ.4-ում, որտեղ, ի համեմատություն, սիմվոլներով տրված են n-GaAs-ում հոսանքի ցածրհաճախային աղմուկների Հուգի α_H գործակցի ջերմաստիճանային կախման համար որոշ հայտնի փորձարարական տվյալներ՝ վերցված [11] աշխատանքից:



Նկ.4.

Ինչպես երևում է, ունենք ինչպես որակական, այնպես էլ քանակական լավ համապատասխանություն:

Ստացված արդյունքների համադրությունը հոմոպոլյար կիսահաղորդիչների (Si և Ge) համար [10] աշխատանքում ստացված արդյունքների հետ փաստում է, որ հոսանքի ցածրահաճախային $1/f$ աղմուկների առաջացման մեխանիզմներից՝ լիցքակիրների շարժունակության ֆլուկտուացիաների (մասնավորապես՝ ցանցային ցրումներով պայմանավորված շարժունակության ֆլուկտուացիաների) հետ կապված մոդելի հետագա քննարկումները կարող են հեռանկարային լինել:

Գլուխ 4. Կիսահաղորդիչներում էլեկտրոնների շարժունակության «չմարող» ֆլուկտուացիաներ: Գլուխը բաղկացած է 6 ենթագլուխներից, որոնցում նախ համառոտ ներկայացված են կիսահաղորդիչներում հոսանքի հավասարակշիռ ֆլուկտուացիաները, դրանց առաջացման հիմնական մեխանիզմներն ու հատկությունները: Այնուհետև, լիցքակիրների բաշխման ֆունկցիայի ֆլուկտուացիայի մոդելի շրջանակներում ցույց է տրված էլեկտրոնների բաշխման ֆունկցիայի ֆլուկտուացիաների և շարժունակության ֆլուկտուացիաների միջև կապը: Ցույց է տրվել, որ վերջինս էլեկտրոն-ակուստիկական ֆոնոն ցրումների դեպքում տրվում է հետևյալ առնչությամբ՝

$$\tilde{\mu}(t) = \mu_0 \int_0^{\infty} dx \tilde{f}_x^{(0,s)}(t) , \quad (4)$$

որտեղ կատարված են

$$\mu_0 \equiv \frac{\bar{\mu}(2mk_B T / \hbar^2)^{3/2}}{4\pi^{3/2} \bar{n}} , \quad x \equiv \frac{\varepsilon_k}{k_B T}$$

նշանակումները, իսկ $\tilde{f}_x^{0,s}$ -ը էլեկտրոնների հավասարակշիռ բաշխման ֆունկցիայի սիմետրիկ բաղադրիչի ֆլուկտուացիան է: (4) առնչություն ցույց է տալիս, որ $\tilde{\mu}(t)$ կախումը բացահայտելու համար անհրաժեշտ է բացահայտել $\tilde{f}_x^{0,s}(t)$ կախումը:

Էլեկտրոն-ակուստիկական ֆոնոն ցրումների մասնավոր դեպքում Բուլցմանի կինետիկական հավասարման գծայնացման եղանակով $\tilde{f}_x^{0,s}(t)$ կախման համար ստացվել է հետևյալ հավասարումը՝

$$\frac{d\tilde{f}_x^{0,s}(t)}{dt} = \frac{1}{\tau_M} \left[x^{3/2} \frac{d^2 \tilde{f}_x^{0,s}}{dx^2} + (x^{3/2} + 2\sqrt{x}) \frac{d\tilde{f}_x^{0,s}}{dx} + 2\sqrt{x} \tilde{f}_x^{0,s} \right], \quad (5)$$

որտեղ կատարված է

$$\frac{1}{\tau_M} \equiv \frac{2\pi\varepsilon_{df}^2 (k_B T)^{1/2} \hbar (2m / \hbar^2)^{5/2}}{(2\pi)^2 \rho_r} \quad (6)$$

նշանակումը: (5) հավասարումը Ֆոկկեր-Պլանկի հավասարումների տարատեսակ է, որը նկարագրում է էլեկտրոնի քառասյին «շարժումը» էներգիայի առանցքով, այլ կերպ ասած՝ էլեկտրոնի միաչափ դիֆուզիան k - տարածությունում: Հավասարման մեջ դիֆուզիայի գործակիցը հաստատուն չէ, այլ $\sim x^{3/2}$ աստիճանային օրենքով կախված է էլեկտրոնի էներգիայից: Առանձին ցույց է տրվել, որ (5) հավասարումը բավարարում է ներգոտային ցրումների դեպքում անհրաժեշտ էլեկտրոնների կոնցենտրացիայի պահպանման պայմանին:

(5) հավասարման հիման վրա ստացվել է էլեկտրոնի շարժունակության ֆլուկտուացիաների ժամանակային կախումն արտահայտող հետևյալ հավասարումը՝

$$\frac{d^2 \tilde{\mu}(t)}{dt^2} = -\frac{1}{4\tau_M^2} \tilde{\mu}(t), \quad (7)$$

որի լուծումը իրենից ներկայացնում է ստիխաստիկ հարմոնիկ ֆունկցիա՝

$$\tilde{\mu}(t) = A \cos\left(\frac{t}{2\tau_M} + \phi\right), \quad (8)$$

որտեղ A ամպլիտուդը և ϕ սկզբնական փուլը պատահական մեծություններ են: τ_M բնութագրական ժամանակի թվային արժեքը գործնականում գրեթե համընկնում է էներգիայի ռելաքսացիայի ժամանակի հետ, սակայն ցույց է տրվում, որ ցանցային շարժունակության և էներգիայի ֆլուկտուացիաների միջև կապը չի կրում ընդհանուր բնույթ: Իսկ $T \equiv 4\pi\tau_M$ բնութագրական մեծությունը, որը կարող է դիտարկվել որպես շարժունակության տատանումների պարբերություն, մոտ երեք կարգով մեծ է էլեկտրոնի ազատ վազքի ժամանակից: Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ գծային մոտավորության շրջանակներում էլեկտրոնի ցանցային շարժունակության

Ֆլուկտուացիաները չեն մարում՝ էլեկտրոնային համակարգի հավասարակշռությունը չի վերականգնվում:

Ատենախոսության ընդհանուր եզրահանգումները

Ստորև ներկայացված են ատենախոսության արդյունքներից բխող հիմնական եզրակացությունները.

1. Էլեկտրական դաշտի ազդեցության ներքո էլեկտրոն-բևեռային օպտիկական ֆոնոն ԴԻԹ ցրման տեմպը կախված է էլեկտրական դաշտից, էլեկտրոնի քվադրադիբային վեկտորի բաղադրիչներից և քերամաստիճանից:
2. Թույլ էլեկտրական դաշտի դեպքում էլեկտրոն-բևեռային օպտիկական ֆոնոն ԴԻԹ ցրման տեմպը (ցրման ժամանակը) տրվում է (1) ինտեգրալային արտահայտությամբ, որի միջոցով կարելի է կատարել թվային հաշվարկներ: Ցրման տեմպը էլեկտրոնի էներգիայի $\varepsilon \gg \hbar\omega_0$ տիրույթում անալիտիկ տեսքով տրվում (2) արտահայտությամբ:
3. Էլեկտրական դաշտի զրոյական արժեքների դեպքում էլեկտրոն-բևեռային օպտիկական ֆոնոն ԴԻԹ ցրման տեմպի (ցրման ժամանակի) համար ստացված արդյունքները գործնականում համընկնում են էլեկտրոնի քվադրիմպուլսի ռելաքսացիայի՝ հարթ գոտիներով կիսահաղորդչի «ստանդարտ» տեսությունից հայտնի արդյունքների հետ:
4. ԴԻԹ ցրումների տեսության շրջանակներում էլեկտրոն-բևեռային օպտիկական ֆոնոն ցրումների համար որակապես նոր արդյունքներ են ստացվում հատկապես էլեկտրոնի էներգիայի $\varepsilon \sim \hbar\omega_0$ և $\varepsilon < \hbar\omega_0$ տիրույթներում: Մասնավորապես՝ էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ գոտիների թեքման հետևանքով հնարավոր են դառնում $\varepsilon < \hbar\omega_0$ էներգիաներով էլեկտրոնների՝ ֆոնոնի առաքմամբ ընթացող ցրումները: Որպես հետևանք՝ ԴԻԹ ցրման դեպքում ցրման տեմպի (ցրման ժամանակի) կախումը էլեկտրոնի էներգիայից անընդհատ ֆունկցիա է:
5. Էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ էլեկտրոնի շարժունակության դիսպերսիան վերջավոր է նաև բևեռային կիսահաղորդիչներում:
6. Ցանցային ցրումներով պայմանավորված էլեկտրոնի շարժունակության աղմուկի հարաբերական դիսպերսիայի՝ էլեկտրական դաշտից $\rho(F)$ կախումը կարելի է ներկայացնել նույն կերպ, ինչ հոմոպոլյար կիսահաղորդիչներում՝ $\rho(F) = b + c \ln(F_{char}/F)$ առնչությամբ, որտեղ b , c և F_{char} -ը դաշտից անկախ գործակիցներ են և կախված են կիսահաղորդչի պարամետրերից:

7. Հոմոպոլյար կիսահաղորդիչներում *հակադարձ խնդրի* լուծման համար [10] աշխատանքում զարգացված ընդհանուր մոտեցումները և հիմնական արդյունքները կիրառելի են նաև բևեռային կիսահաղորդիչների համար:
8. GaAs-ում էլեկտրոնի շարժունակության աղմկային գործակցի $\alpha_M(T)$ ջերմաստիճանային կախման համար տեսականորեն ստացված արդյունքները բավականին մոտ են Հուգի $\alpha_H(T)$ գործակցի ջերմաստիճանային կախման համար փորձնականորեն ստացված՝ գրականությունից հայտնի արդյունքներին, ընդ որում՝ կա ինչպես քանակական, այնպես էլ որակական համապատասխանություն: Ջերմաստիճանների $300 \div 80$ Կ տիրույթում α_M -ը փոփոխվում է $\sim 10^{-3} \div 10^{-7}$ միջակայքում:
9. Կիսահաղորդիչներում էլեկտրոնի շարժունակության ֆլուկտուացիաները պայմանավորված են հաղորդականության գոտու բնակեցվածության \tilde{n}_k ֆլուկտուացիաների միայն $\tilde{n}_k^s(t)$ սիմետրիկ բաղադրիչով (կամ էլեկտրոնների հավասարակշիռ բաշխման ֆունկցիայի ֆլուկտուացիաների $\tilde{f}_k^{0,s}(t)$ սիմետրիկ բաղադրիչով): $\tilde{n}_k^a(t)$ կամ $\tilde{f}_k^{0,a}(t)$ ասիմետրիկ բաղադրիչները շարժունակության ֆլուկտուացիաների մեջ որևէ ներդրում չունեն:
10. Ֆոնոնի կլանման և ճառագայթման պատահական պրոցեսների արդյունքում էլեկտրոնի «շարժումը» էներգիայի առանցքով կարելի է մեկնաբանել որպես *միաչափ դիֆուզիա k-վարածությունում*, որը բնութագրվում է Ֆոկկեր-Պլանկի հավասարմամբ: Էներգիայի առջանցքով էլեկտրոնի դիֆուզիոն շարժման դիֆուզիայի գործակիցը հաստատուն չէ՝ այն 3/2-ի օրենքով կախված է էլեկտրոնի էներգիայից:
11. Գծային մոտավորության շրջանակներում էլեկտրոն-ակուստիկական ֆոնոն ցրումների դեպքում էլեկտրոնների հավասարակշիռ բաշխման ֆունկցիայի ֆլուկտուացիայի սիմետրիկ բաղադրիչի ժամանակային կախումը նկարագրվում է (5) հավասարմամբ:
12. Գծային մոտավորության շրջանակներում էլեկտրոնների ցանցային շարժունակության ֆլուկտուացիաները ժամանակի ընթացքում չեն մարում:
13. Ցանցային շարժունակության ֆլուկտուացիաների ժամանակային կախումը նկարագրվում է $\tilde{\mu}(t) = A \cos(t/2\tau_M + \phi)$ ստոխաստիկ ֆունկցիայով, որտեղ A ամպլիտուդը և ϕ սկզբնական փուլը պատահական մեծություններ են:

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները տպագրվել և զեկուցվել են.

1. S.V. Melkonyan, A.L. Harutyunyan, T.A. Zalinyan, *Electron-Acoustic Phonon Field Induced Tunnel Scattering*, Condensed Matter Physics, 18, No. 2, 23702-23716, 2014.
2. S.V. Melkonyan, T.A. Zalinyan, A.L. Harutyunyan, *Electron Mobility Noise Spectral Density and Variance in a Semiconductor*, Armenian Journal of Physics, 7(4), 224-243, 2014.
3. Տ.Ա. Զալինյան, *Կիսահաղորդիչներում էլեկտրոնային համակարգի հավասարակշիռ վիճակից սիմետրիկ շեղումների մարման օրինաչափությունները*, ԵՊՀ ՈՒԳԸ Գիտական հոդվածների ժողովածու, 2016թ. տարեկան գիտական նստաշրջանի նյութեր, 1.5(22), 237-245, Երևան, 2017.
4. T.A. Zalinyan, S.V. Melkonyan, *Electron Lattice Mobility Fluctuations in Equilibrium Semiconductors*, Proc. of the 11th International Conference on Micro- and Nanoelectronics, June 23-25, Yerevan, Armenia, 14-18, 2017.
5. S.V. Melkonyan, T.A. Zalinyan, S.S. Melkonyan, *Electron Mobility Non-Damping Fluctuations in Semiconductors*, Fluctuation and Noise Letters, Vol.17, No.2, 1850018(1-15), 2018.
6. T.A. Zalinyan, *Relaxation Time of Electron – Polar Optical Phonon Field-Induced Tunnel Scattering*, Armenian Journal of Physics, 11(2), 91-100, 2018.

Գրականություն

1. S.V. Melkonyan, V.M. Aroutiounyan, F.V. Gasparyan, C.E. Korman, *Peculiarities of electron distribution function's fluctuations damping in homogeneous semiconductors*, Physica B, 357, no. 3-4, pp. 398-407, (2005).
2. S.V. Melkonyan, V.M. Aroutiounian, F.V. Gasparyan and H.V. Asriyan, *Phonon mechanism of mobility equilibrium fluctuation and properties of 1/f-noise*, Physica B, 382(1-2), pp. 65-70, (2006).
3. S.V. Melkonyan, H.V. Asriyan, Ash.V. Surmalyan, J.M. Smulko, *Electron mobility variance in semiconductors: The variance approach*, Armenian Journal of Physics, v.4, N1, pp. 62-73, (2011).
4. S.V. Melkonyan, *Non-Gaussian conductivity fluctuations in semiconductors*, Physica B, 405, pp. 379-385, (2010).
5. S.V. Melkonyan, F.V. Gasparyan, H.V. Asriyan, *Main Sources of Electron Mobility Fluctuations in Semiconductors*, Proc. of SPIE Inter. Conf. on Noise and Fluctuations in Circuits, Devices, and Materials, Florence, Italy, 6600, pp. 66001K-1-8, (2007).
6. S.V. Melkonyan, *On the low-frequency limit of the Schönfeld pulse 1/f law*, Physica B, 403(12), pp. 2029-2035, (2008).
7. S.V. Melkonyan, *Electron mobility variance in the presence of an electric field: electron-phonon field-induced tunnel scattering*, Physica B, 407(24), pp. 4804-4809, (2012).
8. S.V. Melkonyan, A.L. Harutyunyan, T.A. Zalinyan, *Electron-acoustic phonon field induced tunnel scattering*, Condensed Matter Physics, 18(2), pp. 23702;1-12, (2014).
9. A.L. Harutyunyan, *Electron-Polar Optical Phonon Field-Induced Tunnel Scatterings in a Polar Semiconductor Under Electric Field*, Arm. J.Phys., 8(1), pp. 38-43, (2015).
10. S.V. Melkonyan, T.A. Zalinyan, A.L. Harutyunyan, *Electron Mobility Noise Spectral Density and Variance in a Semiconductor*, Armenian Journal of Physics, 7(4), pp. 224-243, (2014).
11. L. Ren, *On the origin of 1/f noise in epitaxial GaAs*, PhD Thesis, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, (1993).

ЗАЛИНЯН ТИГРАН АНДРАНИКОВИЧ

ШУМЫ РЕШЕТОЧНОЙ ПОДВИЖНОСТИ ЭЛЕКТРОНА В ПОЛЯРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

РЕЗЮМЕ

В диссертации исследованы и анализированы рассеяния электронов на полярных фононах в невырожденных полярных полупроводниках под воздействием слабого электрического поля в рамках теории электрон-фононного Полем индуцированного туннельного рассеяния (ПИТ-рассеяние). Исследована относительная дисперсия шума подвижности электрона, вызванного решеточным рассеянием. Для GaAs рассчитаны зависимости относительной дисперсии от напряженности электрического поля и температуры. Исследованы процессы нарушения и восстановления равновесного состояния электронного газа, взаимодействующего с фононной системой в равновесном полупроводнике. Проанализированы особенности затухания малых отклонений (флуктуаций) электронной системы от состояния равновесия за счет случайных рассеяния электронов на акустических фононах. В приближении линеаризации уравнения Больцмана рассмотрена зависимость флуктуаций подвижности электронов от времени.

Основные выводы диссертации:

1. При рассеяния электорнов на полярных оптических фононах под воздействием электрического поля на кривой зависимости времени релаксации от энергии электрона нет излома. Это связано с тем, что согласно теории электрон-фононного Полем индуцированного туннельного рассеяния (ПИТ-рассеяние), под воздействием электрического поля из-за наклона зон полупроводника становятся возможными рассеяния с эмиссией фонона тех электронов, энергия которых меньше энергии фонона. В случае слабого электрического поля при рассеяния электрона на полярных оптических фононах зависимость темпа релаксации ПИТ-рассеяния от энергии электрона и от напряженности электрического поля дается интегральным соотношением, содержащим функцию Эйри, с помощью которой можно проводить численные расчеты. Темп рассеяния в области высоких значений энергии электронов дается в аналитическом виде.

2. В полярных полупроводниках относительная дисперсия шума решеточной подвижности электронов по логарифмическому закону уменьшается по мере возрастания напряженности электрического поля.
3. В GaAs коэффициент шума решеточной подвижности электрона в диапазоне температур $300 \div 80 \text{ K}$ принимает значения в диапазоне $\sim 10^{-3} \div 10^{-7}$. Сравнение теоретических результатов температурной зависимости шумового коэффициента с известными экспериментальными результатами температурной зависимости параметра Хуга низкочастотных шумов тока в n-GaAs показывает, что имеется как количественное, так и качественное соответствие.
4. Флуктуации подвижности электронов в полупроводниках обусловлены только симметричной составляющей флуктуаций заселенности энергетических уровней зоны проводимости. Асимметричный составляющий флуктуаций заселенности не вносит вклад в флуктуации подвижности.
5. «Движение» электрона по энергетической оси в результате абсорбции и эмиссии фонона представляет собой одномерную диффузию в \mathbf{k} -пространстве, которая описывается уравнением Фоккера-Планка. Коэффициент диффузии непостоянен и по закону $3/2$ зависит от энергии электрона.
6. В рамках линейного приближения кинетического уравнения Больцмана к флуктуациям временная зависимость флуктуаций решеточной подвижности электрона описывается стохастической гармонической функцией, амплитуда и начальная фаза которой являются случайными величинами.

ELECTRON LATTICE MOBILITY NOISES IN POLAR SEMICONDUCTORS

SUMMARY

In the dissertation electron-polar optical phonon scatterings in non-degenerate polar semiconductors under the influence of a weak electric field have been investigated and analyzed in the framework of the theory of electron-phonon Field-induced tunnel scattering (FIT-scattering). The relative variance of the electron lattice mobility noise is investigated. The temperature and electric field strength dependences of the variance are calculated for GaAs. Equilibrium state disturbance and restoration processes of an electron gas interacting with phonon system in an equilibrium semiconductor have been investigated. Damping peculiarities of small deviations (fluctuations) of electron system from equilibrium state due to electron-acoustic phonon random scatterings have been analyzed. In the Boltzmann equation linearization approximation the time dependence of the electron mobility fluctuations have been considered.

The main conclusions of the thesis are:

1. Under the influence of an electric field there is no fracture on the curve of the dependence of the electron-polar optical phonon scattering relaxation time on electron energy. This is the result of the following: according to the theory of electron-phonon Field-induced tunneling scattering (FIT-scattering), under the influence of an electric field due to the tilting of the semiconductor bands scattering with phonon emission of electrons with energy less than the phonon energy becomes possible. In the case of a weak electric field dependence of the electron-polar optical phonon FIT-scattering rate on the electron energy and electric field strength is given by an integral expression containing the Airy function, which can be used to perform numerical calculations. The scattering rate in the high energy approximation is given in an analytical form.
2. In polar semiconductors the relative variance of the electron lattice mobility noise decreases according to the logarithmic law with increasing electric field strength.
3. In GaAs the electron lattice mobility noise coefficient in the temperature range $300 \div 80K$ takes values in the range $\sim 10^{-3} \div 10^{-7}$. Comparison of the theoretical results of the temperature dependence of the noise coefficient with the well-known experimental results of the temperature dependence of the Hooge parameter of low-frequency current noise in n-GaAs shows that there is both quantitative and qualitative agreement.

4. Electron mobility fluctuations in semiconductors are caused by only the symmetric component of fluctuations of the population of conduction band energy levels. The asymmetric component of population fluctuations does not contribute to mobility fluctuations.
5. The "motion" of an electron along the energy axis as a result of absorption and emission of a phonon is a one-dimensional diffusion in k -space, which is described by the Fokker-Planck equation. The diffusion coefficient is not constant and depends on the electron energy according to the 3/2 law.
6. Within the framework of the linear approximation of the Boltzmann kinetic equation to fluctuations, the time dependence of fluctuations of the electron lattice mobility is described by a stochastic harmonic function, the amplitude and initial phase of which are random quantities.

