АННОТАЦИЯ

«6D072300 – Техникалық физика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ғылыми-зерттеу жұмысы

Аймаганбетов Казыбек Пиржанулы

ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТІК ОПТОЭЛЕКТРОНДЫҚ МАТЕРИАЛДАР МЕН ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫ СИПАТТАУҒА АРНАЛҒАН ТӨМЕНГІ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ӨЛШЕУ ҚОНДЫРҒЫСЫ

Жұмыстың жалпы сипаттамасы.

Ғылыми жұмыс, жартылай өткізгіштік оптоэлектрондық материалдар мен құрылғылардың электр физикалық сипаттамаларын өлшеуге арналған қондырғыны әзірлеуге бағытталған.

Тақырыптың өзектілігі.

Жартылай өткізгішті материалдарды тереңінен зерттеу жұмыстары, тиімді және серпімді жаңа құрылғылардың қарқынды дамуына тікелей әсер етеді. Төмен температуралық өлшемдер, жартылай өткізгішті материалдардың электрондық қасиеттерін зерттеуде маңызды рөл атқарады. Төмен температурада тұрақты және айнымалы тоқпен зерттеулер, материалдардың электр өткізгіштігі, заряд тасымалдаушылардың табиғаты, әсерлері, ақаулар мен қоспалар бойынша орналасуы және заряд тасымалдаушылардың концентрациясына қатысты басқа да сипаттамалар туралы бірқатар құнды мәліметтер алуға мүмкіндік береді.

Үлгілерді эксперименталды өлшеу кезінде дұрыс емес ақпараттар мен өлшеу нәтижелер беретін әртүрлі мәселелер туындауы мүмкін: олар өлшеу дәлдігінің дұрыс болмауы, контактілердің нашар байланыстары, қоршаған ортаның әсері, сигналдың төмен деңгейінде немесе сезімтал деңгейлерде өлшеу кезінде шуылдар және кедергілердің болуы. Бұл мәселелерді шешу жоғары сапалы өлшеу құралдарын қолдануды, дұрыс өлшеу әдістемесін, қоршаған ортаны ескеруді және нәтижелерге әсер етуі мүмкін барлық параметрлерді мұқият тексеруді талап етеді. Сонымен қатар, жаңа өлшеу әдістері мен жетілдірілген әдістердің үздіксіз дамуы осы мәселелердің көпшілігін оңтайландыруға көмектеседі.

Атмосфералық қоршаған орта параметрлері зерттелетін үлгілердің электр физикалық өлшеу сапасына әсер ететіні белгілі. Бұл тұрғыда төмен температурада жүргізілетін жартылай өткізгіш материалдардың қасиеттерін өлшеу кезінде байқалады. Мұндай жағдайларда негізгі мәселелер, атмосфералық булардың немесе газдардың үлгіге конденсациясы болып табылады және сигналдың бұрмалануына және жоғалуына әкелуі мүмкін. Зерттеу үлгісінің температурасын және оның айналасындағы атмосфераны тұрақтандыру – төмен температуралық өлшеулер ғылыми бағытының маңызды шарты болып табылады. Сонымен қатар, белгілі бір өлшеу әдістерін жүргізу үшін, үлгілердің геометриялық пішініне бейімделген күрделі өлшеу

құрылғыларының жүйелік интеграциясы қажет. Криогендік температурада өлшеу жүргізу үшін оқшаулағыш вакуумдық ортаға негізделген өлшеу ұяшығын әзірлеу қажет. Мұндай конструкция: электр контактілерімен, бақылау құралдарымен, криогендік бақылау құралдары (температура басқару, қысым деңгейі) және өлшеу құрылғыларымен қамтамасыз етілуі керек. Жартылай өткізгіштік материалдардың электрофизикалық қасиеттерін жан-жақты зерттеудегі техникалық маңызды міндеттердің бірі, бір ғана өлшеу құрылғысын пайдалану арқылы қосымша ақпарат беретін бірнеше өлшеу әдістерін жүргізу мүмкіндігін іздеу.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты – оптоэлектрондық қолданбаларға арналған жартылай өткізгіш материалдар мен құрылғылардың электрофизикалық сипаттамаларын зерттеуге арналған өлшеу жүйелерін әзірлеу және әзірленген өлшеу жүйесін тәжірибеде қолдану.

Зерттеу нысаны – жартылай өткізгіш материалдар мен құрылғылардың электрофизикалық және оптоэлектрондық қасиеттерін зерттеуге арналған төмен температуралық өлшеу жүйесі.

Зерттеу пәні - жартылай өткізгіш материалдар мен құрылғылардың электрофизикалық және оптоэлектрондық қасиеттерін зерттеуге арналған төмен температуралы өлшеу жүйесінің кеңейтілген мүмкіндігі.

Зерттеу әдістері: сыйымдылық-кернеу сипаттамасы, вольт-амперлі сипаттамалары, импеданс спектроскопиясы.

Жұмыстың мақсатына жету үшін келесідей негізгі мәселелерді шешу қажет:

1. Жартылай өткізгіштік оптоэлектрондық материалдар мен құрылғылардың электрофизикалық қасиеттерін зерттеуге арналған төмен температуралы модернизацияланған жаңа өлшеу қондырғысын әзірлеу;
2. Көп қабатты графенді сұйық фазалық тасымалдау әдісімен кварц шыны төсенішіне көшіру және электрфизикалық қасиетін 10 - 350 К температура диапазонында өлшеу;
3. Тиімділігі жоғары гетероөткелді кремний Күн элементін алу және оның электрфизикалық және оптоэлектрондық қасиеттерін әзірленген өлшеу құрылғысымен, қараңғыда және жарықтандыру кезіндегі заряд тасымалдаушылардың релаксация уақыты және өмір сүру уақыты сипаттамасын анықтау, сыйымдылық – жиілік сипаттамасын айнымалы әр түрлі ығысу кернеуімен және 10 К - 300 К температура диапазонында өлшеу;
4. Алынған эксперименттік нәтижелердің сенімділігін анықтау үшін, бұрын алынған ғылыми жұмыстармен салыстыру.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы.

Диссертациялық жұмыстың жаңалығы мен өзіндік ерекшелігі - бұл алғаш рет:

1. Электр контактілері әртүрлі орналасқан жартылай өткізгішті материалдар мен құрылғылардың электр физикалық және оптоэлектрондық қасиеттерін, қараңғыда және жарық интенсивтілігінде, 10 – 350 К температура диапазонда, төмен және жоғары жиілікті кешенді өлшеулерді жүргізуге мүмкіндік беретін төмен температуралы өлшеу жүйесі әзірленді.

2. Сұйық фазалық тасымалдау әдісімен алынған кварц төсенішінің бетіндегі жұқа қабатты графеннің температураға тәуелді электр өткізгіштік қасиеті зерттелді және термоактивация энергия деңгейі анықталды;

3. ПӘК-і 20%-дан жоғары гетероөткелді кремнийлі Күн элементінің сыйымдылық спектрлерін температураның кең диапазонында өлшеу жұмыстары жүргізілді және термоактивация энергия деңгейлері анықталды.

Қорғауға шығарылатын негізгі тұжырымдар:

1. Әзірленген әмбебап үш электр контактілерімен жабдықталған микрокриогендік өлшеу қондырғысының жаңартылған нұсқасы, бір және екі жақты электродтық төсемдерде орналасқан жартылай өткізгішті материалдарды, әртүрлі жарық интенсивтілігінде, 10 – 350 К температура диапазонда, төмен және жоғары жиілікті электрфизикалық өлшеулерді жүргізуге мүмкіндік береді.

2. Кварц төсенішінің бетіндегі жұқа қабатты графен 150 – 350 К температура диапазонында 22 мэВ термоактивация энергиясына ие және кедергісінің температураға тәуелділігі жартылай өткізгіштер тәрізді өзгереді.

3. ПӘК-і 20%-дан жоғары гетероөткелді кремний Күн элементінде 16 – 300 К температура диапазонында термоактивация энергиясының мәні 15 мэВ болатын еркін заряд тасымалдаушыларды ұстау центрі болады.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңызы.

Бір және екі жағындағы электр контактілері бар жалпақ жұқа жартылай өткізгішті материалдар мен құрылғыларды, төмен температурада өлшеуге мүмкіндік беретін микрокриогендік машинаға негізделген өлшеу қондырғысының модернизацияланған нұсқасы, кешенді ипеданс өлшемдері 1 Гц-тен 1 МГц-ке дейінгі жиілік диапазонында және 10 - 350 К-ге дейінгі температура диапазонында, қараңғы және жарықтандыру кезіндегі электрофизикалық сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелердің маңыздылығы халықаралық рецензияланған басылымдардағы және халықаралық конференцияларға жарияланымдармен, сондай-ақ Қазақстан Республикасының № 6056, № 4647 патенттерімен расталады. Әзірленген ұяшықтың көмегімен жартылай өткізгішті материалдарға эксперименттік зерттеулер жүргізу нәтижесі, отандық ғылым бағыттарындағы қолданбалы физика, жылу физикасы, баламалы энергетика, электроника, материалтану және наноматериалдар өнеркәсібі саласындағы білімді кеңейтуге мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі – ғылыми жұмыс барысында алынған тәжірибелік нәтижелердің сенімділігі Q2, Q3 квартилі бар шетелдік журналдарында және басылымдарда ғылыми жұмыстардың болуымен және ҚР ҒЖБМ ҒЖБССҚК ұсынған басылымдарда және халықаралық ғылыми конференциялар еңбектерінде және патенттердің болуымен расталады.

Тақырыптың ғылыми-зерттеу жұмыстарының жоспарымен және әртүрлі мемлекеттік бағдарламалармен байланысы.

Ғылыми жұмыс ҚР ҒЖБМ ҒК жобалары және бағдарламалары шеңберінде орындалды:

1. «AP05133645-ОТ-20, Сутектендірілген меншікті өткізгішті аморфты кремниймен пассивтеу кристаллды кремнийдің беткі қабатының күйін басқару, 2018 – 2020»
2. «AP05133651-ОТ-19, Иілгіш органикалық жартылай өткізгіш материалдар негізінде болашағы мол, жаңғыртылатын энергия көздерін жасау және зерттеу, 2018 – 2020»
3. «BR05236498-ОТ-20, Баламалы энергия көздерін пайдалану арқылы агроөнеркәсіптік кешен объектілері үшін автономды қуат көзімен жабдықтаудың оңтайлы жүйелерін құру және элементтерді дамыту, 2018 – 2020»

Автордың жеке үлесі – эксперименттік және теориялық жұмыстарды, компьютерлік модельдеуді және тәжірибені сандық бағалауды, ғылыми материалдарды талдауды және жариялауға дайындықты қоса алғанда, диссертациялық жұмыстың барлық көлемін орындады. Мәселелерді шешу, зерттеу әдістерін таңдау және нәтижелерді талқылау ғылыми кеңесшілермен бірлесіп жүргізілді.

Жарияланымдар.

PhD дәрежесін алу мақсатында ғылыми-зерттеу жұмысының материалдары мен жұмыстың нәтижелері негізінде 14 ғылыми баспа жұмыстары жарияланды: ҚР ҒЖБМ ҒЖБССҚК тізіміндегі журналдарда 4 – мақала, Халықаралық ғылыми конференциялар материалдарында 3 жұмыс, басқа ғылыми журналдар мен басылымдарда жарияланған мақалалар 1 және импакт-факторы жоғары Web of Science (Clarivate Analytics, АҚШ) және Scopus (Elsevier, Нидерланды) халықаралық ақпараттық ресурстарына енгізілген журналдарда 6 жұмыс жарияланды, пайдалы модельге 2 патент алынды.

Диссертациялық жұмыстың апробациясы.

Ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелері, Web of Science және Scopus халықаралық ғылыми деректер базасына кіретін басылымдарда жарияланған мақалалар:

1. **Aimaganbetov, K.**, Almas, N., Kurbanova, B., Muratov, D., Serikkanov, A., Insepov, Z., & Tokmoldin, N. (2022). Electrical and Structural Characterization of Few-Layer Graphene Sheets on Quartz. Materials, 15(15), 5330. https://doi.org/10.3390/ma15155330 (Web of Science: IF=3.4, Q2; Scopus: Percentile=70%)
2. **Aimaganbetov, K.**, Yerezhep, D., Kishkenebayev, M., Chuchvaga, N., Almas, N., Tokmoldin, S., & Tokmoldin, N. (2024). Characterization of a Heterojunction Silicon Solar Cell by Means of Impedance Spectroscopy. Micromachines, 15(2), 184. https://doi.org/10.3390/mi15020184 (Web of Science: IF=3.4, Q2; Scopus: Percentile=72%)
3. Chuchvaga, N., Zholdybayev, K., **Aimaganbetov, K.**, Zhantuarov, S., & Serikkanov, A. (2023). Development of Hetero-Junction Silicon Solar Cells with Intrinsic Thin Layer: A Review. Coatings, 13(4), 796. https://doi.org/10.3390/coatings13040796 (Web of Science: IF=3.4, Q2; Scopus: Percentile=64%)
4. **Aimaganbetov, K.**, Ospanov, K., & Almas, N. (2023). Mobility of hydronium ion for graphene oxide–and poly (acrylate)-based proton exchange membranes at the molecular level. Ionics, 29(12), 5405-5415. https://doi.org/10.1007/s11581-023-05245-y (Web of Science: IF=2.8, Q3; Scopus: Percentile=80%)
5. **Aimaganbetov, K. P.**, Aldiyarov, A. U., Zhantuarov, S. R., Almasov, N. Z., Terukov, E. I., & Tokmoldin, N. S. (2021). A Low Temperature Cell for High Frequency Electrophysical Measurements of Semiconductor Devices. Instruments and Experimental Techniques, 64, 886-890. https://doi.org/10.1134/S0020441221050146 (Web of Science: IF=0.6, Q4; Scopus: Percentile=9%)

6. Almasov, N., Kurbanova, B., Kuanyshbekov, T., Akatan, K., Kabdrakhmanova, S., & **Aimaganbetov, K.** (2024). Study of the structure and electrical properties of graphene oxide (GO) and graphene oxide+ nanocellulose (GO+ NC). Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra= Complex use of mineral resources, 329(2), 103-109. https://doi.org/10.31643/2024/6445.21 (Web of Science: IF=0.7; Q3;)

ҚР ҒЖБМ ҒЖБССҚК ұсынған басылымдарда жарияланған мақалалар:

1. **Aimaganbetov, K. P.**, Shegebay, S. K., Aldiyarov, A. U., Zhantuarov, S. R., & Tokmoldin, N. S. (2021). Research of electrophysical properties of solar elements by impedance spectroscopy method using a specially designed low temperature microcryogenic measuring cell. Вестник КазНУ. Серия Физическая (ВКФ), 76(1), 68-74. https://doi.org/10.26577/RCPh.2021.v76.i1.08
2. Chuchvaga, N. A., **Aimaganbetov, K. P**., Tokmoldin, N. S., & Tokmoldin, S. Z. (2019). Моделирование и расчёт тепло-и фотофизических характеристик высокоэффективных кремниевых солнечных элементов. Вестник. Серия Физическая (ВКФ), 70(3), 55-62. https://doi.org/10.26577/RCPh-2019-i3-7
3. **Аймағанбетов Қ.П.**, Чучвага Н.А., Жантуаров С.Р., Шонғалова А.К., Тоқмолдин Н.С. Гетероөткелді кремнийлі күн элементтерінің баға факторлары мен операциондық шығыс сипаттамасының өтелу мерзіміне байланысты әсерін зерттеу. Хабаршы. Физика сериясы. №1 (64). 2018. 19-24 б.
4. Чучвага Н.А., Кислякова Н.М., **Аймаганбетов К.П.**, Ракыметов Б.А., Токмолдин Н.С. // Исследование влияния влажной химической обработки на поверхность кремниевых монокристаллических пластин // Вестник КазНУ. Серия физическая. №4 (67). 2018

Басқа ғылыми журналдар мен басылымдарда жарияланған мақалалар:

1. Chuchvaga, N. A., Schulze, J., Klimenov, V. V., Zholdybayev, K. S., **Aimaganbetov, K. P.**, Zhantuarov, S. R., ... & Tokmoldin, N. S. (2020). Optimization and Fabrication of Heterojunction Silicon Solar Cells Using an Experimental-Industrial Facility AK-1000 Inline. Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника, 23(5), 57-62. https://doi.org/10.32603/1993-8985-2020-23-5-57-62

Халықаралық конференциялардың жинақтарындағы жарияланымдар:

1. **Аймаганбетов К.П.**, Алдияров А.У., Теруков Е.И., Алмасов Н.Ж., ТокмолдинН.С., Токмолдин С.Ж. // Разработка установки для проведения комплексных адмиттансных измерений при исследовании полупроводниковых структур // XI Международная конференция, «Аморфные и микрокристаллические полупроводники», Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Российской Академи и Наук, Санкт-Петербург, Россия//19–21 ноября 2018 года
2. **Аймаганбетов К.П.**, Гирин Д.В., Клименов В.В., Токмолдин Н.С., Токмолдин С.Ж., // Фотоэнергетикалық қондырғыларды тестілеуге арналған аса жарық диодты негізіндегі бақылау-өлшеу жүйесін әзірлеу// VI МЕЖДУНАРОДНЫЕ ФАРАБИЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ Международная научная конференция студентов и молодых ученых, «ФАРАБИ ӘЛЕМІ» // Энергетика и энергоэффективность // КазНУ им. Аль Фараби// 2-12 апреля, 2019 г.
3. Kurbanova, B., **Aimaganbetov, K.**, Karibayev, M., Almas, N., Ospanov, K., Kuanyshbekov, T., ... & Kabdrakhmanova, S. (2023). Formation of Nanochannels by Heavy Ions in Graphene Oxide Reinforced Carboxymethylcellulose Membranes for Proton Exchange Membrane Fuel Cells Applications. ASAM-8. THE 8TH ASIAN SYMPOSIUM ON ADVANCED MATERIALS, 349-350

Патенттер:

1. **Аймаганбетов К.П**., Алдияров А.У., Жантуаров С.Р.,Серикканов А.С., Токмолдин С.Ж., Токмолдин Н.С., Низкотемпературная измерительная камера для проведения комплексных электрофизических исследований полупроводниковых материалов // Патент на полезную модель № 6056. – 2021.
2. Токмолдин С.Ж., Кешуов С.А., Клименов В.В., Гирин Д.В., **Аймаганбетов К.П.**, Токмолдин Н.С., Устройство для тестирования выходных характеристик фотоэнергетических установок // Патент № 4647 (29.01.2020).