

**SHAROF RASHIDOV NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/30.12.2019.K.02.05 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**SHAROF RASHIDOV NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
UNIVERSITETI**

ISAQULOVA MARXABO NEMAT QIZI

**ZOL-GEL TEXNOLOGIYASI ASOSIDA ANORGANIK MATERIALLAR
ISHLAB CHIQISH VA ULARNI KIMYOVIY SENSORLARDA
ISHLATISH**

02.00.02 – Analitik kimyo

**KIMYO FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Samarqand – 2024

**Kimyo fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)
dissertatsiyasi avtoreferati mundariyasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по химическим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on chemical sciences**

Isaqulova Marxabo Nemat qizi

Zol-gel texnologiyasi asosida anorganik materiallar ishlab chiqish va ularni kimyoviy sensorlarda ishlatish 3

Исакулова Мархабо Немат кизи

Разработка неорганических материалов на основе зол-гель технологии и их использование в химических сенсорах 21

Isaqulova Markhabo Nemat qizi

Development of inorganic materials based on sol-gel technology and their use in chemical sensors 39

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ
List of published works 42

**SHAROF RASHIDOV NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/30.12.2019.K.02.05 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**SHAROF RASHIDOV NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT
UNIVERSITETI**

ISAQULOVA MARXABO NEMAT QIZI

**ZOL-GEL TEXNOLOGIYASI ASOSIDA ANORGANIK MATERIALLAR
ISHLAB CHIQISH VA ULARNI KIMYOVIY SENSORLARDA
ISHLATISH**

02.00.02 – Analitik kimyo

**KIMYO FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Samarqand – 2024

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiya mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2020.4.PHD/K326 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus va ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifada (www.samdu.uz) va "ZiyoNET" axborot-ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Nasimov Abdullo Muradovich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Sultonov Marat Mirzayevich
kimyo fanlari doktori, professor

Rahmatov Xudoyor Boboniyozovich
kimyo fanlari nomzodi, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Umumiy va noorganik kimyo instituti

Dissertatsiya himoyasi Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti huzuridagi ilmiy daraja beruvchi PhD.03/30.12.2019.K.02.05 ilmiy kengashning 2024-yil "21" "may" soat "11.00" dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 140104, Samarqand shahri, Universitet xiyoboni, 15-uy. Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti, Biokimyo instituti, Kimyo binosi 220-xona. Tel.: (+99866)239-11-40, faks: (+99866)239-11-51, e-mail: devonxona@samdu.uz).

Dissertatsiya bilan Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (31 raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 140104, Samarqand shahri, Universitet xiyoboni 15-uy. Tel.: (+99866) 239-11-51).

Dissertatsiya avtoreferati 2024-yil "13" "may" tarqatildi.
(2024-yil "13.05" dagi № 6 raqamli reyestr bayonnomasi.)



X.T.Trobov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash raisi, k.f.d., professor

J.R.Uzokov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash kotibi, PhD

E.Abduraxmonov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, k.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda nanomateriallarga asoslangan sensorlar yuqori sezuvchanligi, tezkor javob berishi va miniatyuralashtirish kabi noyob xususiyatlarga ega bo'lganligi tufayli ular fan, texnika va ishlab chiqarishning turli sohalarida moddalar analizida katta ahamiyat kasb etmoqda. Jumladan, zaharli gazlar va organik birikmalarni aniqlab monitoringni amalga oshirishda, kimyo sanoatida xomashyo va mahsulotlar sifatini nazorat qilishda, atrof-muhitdan metallarni aniqlashda, oziq-ovqat, biologik, radiatsiyaviy va yadroviy tahdidlarni baholashda, qondagi glyukoza, oqsillar, antitanalar va saraton belgilarini aniqlash va monitoringida keng qo'llanilmoqda. Ma'lumki, nanomateriallar kichik o'lchamlari va hajmga nisbatan katta sirt maydoni tufayli yuqori sirt faolligiga ega. Bu ularga asoslangan sensorlarga juda past konsentratsiyalarda maqsadli molekulalar mavjudligini aniqlash muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda elektron, optik, magnit xossalarini namoyon qiladigan nanomateriallarni olish hamda ular asosida sensorlar yaratish va ularning analitik kimyoda qo'llanilishi bo'yicha tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu borada, o'lchami, shakli va sirtini funksionallashtirish, istalgan sezgirlik xossalariga ega sensorlar olish va laboratoriya sharoitida turli moddalar analizida, jumladan gazlar, biomolekulalar va og'ir metall ionlarini aniqlash, laboratoriya sharoitida chidamli, barqaror va takrorlanuvchi natijalar beruvchi sensorlar yaratishga alohida e'tibor berilmoqda.

Respublikamizda ham termokimyoviy va elektrokimyoviy sensorlar yaratish va ularning qo'llanilishi bo'yicha talay ishlar amalga oshirilgan. Jumladan, vodorod, kislorod, ammiak, vodorod sulfid, karbonat angidrid va boshqa shu kabi gazlarni aniqlash bo'yicha ishlab chiqilgan sensorlar amaliyotga joriy etilgan. Respublikamizni yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasida "sanoatni yanada modernizatsiya qilish va diversifikatsiyalash, uning yuqori texnologiyali ishlab chiqarish tarmoqlarini, birinchi navbatda mahalliy xomashyoni chuqur qayta ishlash asosida yuqori qo'shimcha qiymatga ega tayyor mahsulot ishlab chiqarishni jadallashtirishga yo'naltirilgan holda uni yangi sifat darajasiga ko'tarishga"¹ qaratilgan muhim vazifalar belgilangan. Bu borada texnologik chiqindi va zaharli gazlarni nazorat qilish uchun zamonaviy, mustahkam, ekspress, selektiv sensorlarni yaratish hamda joriy etish muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi PF-4947-sonli "O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi" to'g'risidagi Farmoni², 2018-yil 25-oktyabrdagi PQ-3983-sonli "O'zbekiston Respublikasi kimyo sanoatini jadal rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida" gi va 2019-yil 3-apreldagi PQ-4265-sonli "Kimyo sanoatini yanada isloh qilish va investitsion jozibadorligini oshirish" to'g'risidagi qarorlari hamda mazkur

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi PF-4947-son "O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni.

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi PF-4947-son "O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish harakatlar strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni.

faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni bajarishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi: Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining VII "Kimyo, kimyoviy texnologiyalar va nanotexnologiyalar" ustuvor yo'nalishiga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi: Dunyoda yetakchi bo'lgan va rivojlanib borayotgan mamlakatlarda atrof-muhitdagi turli xil gazlarning havodagi konsentratsiyalarini aniqlash bo'yicha bir qator ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda.

Chiqindi va zaharli gazlarni monitoring qilishda ishlatiluvchi sensorlarni rivojlantirish sohalari bilan Rumyantseva M.N., Makeeva E.A., Prabir K., Gardner J.W. ishlari diqqatga sazovordir. Belarussiyada nanotexnolog olim Xatko V.V. tomonidan kimyoviy sensorlar sohasi, Rossiyada pyezokvarts biosensorlar yo'nalishida Shashkanova O.Y., biosensorlarni yaratish ustida Rudnitskoy A.M., Vlasov Y.G., Legina, elektrokimyoviy DNK-sensorlar yo'nalishida Evtyugina G.A., Budnikov G.K., Britaniyalik olimlar Kolett Mak Donaf, Benjamin M.T, Olujinmi M, Arshak K. tomonidan chiqindi gazlarni monitoring qilish sohasida kimyoviy sensorlarda yangi materiallar va texnologiyalardan foydalanish sohasida o'z tadqiqot ishlarini olib borgan.

Respublikamiz olimlari T.K.Xamraqulov, N.S.Zokirov, A.M.Gevorgyan, R.X.Djiyanboyeva, A.M.Nasimov, E.Abduraxmanovlar kimyoviy sensorlar yaratish bo'yicha bir qator ilmiy tadqiqot ishlarini olib borishgan. Adabiyot manbalari tahlillari shuni ko'rsatadiki, xona haroratida ammiak va oltingugurt (IV) oksidining mikrokonsentratsiyagacha aniqlovchi optik sensorlar (xususan, TEOS va indikator tarkibli) bo'yicha tadqiqotlar cheklangan. Yuqoridagilardan kelib chiqib, NH₃ va SO₂ uchun xona haroratida ishlaydigan vizual sensorlarni yaratish kam o'rganilgan sohaligi haqida xulosa qilishimiz mumkin. Shuning uchun BTK@TEOS, BKQ@TEOS tarkibli gaz sezgir materiallarni ishlab chiqish nazariy va amaliy jihatdan dolzarbdir.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Tadqiqot Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universitetining ilmiy-tadqiqotlar rejasiga muvofiq №IOT-2015-7-23 "Zol-gel texnologiyasi asosida "smart" nanogibrid (organik-anorganik) materiallar ishlab chiqish va ularning kimyoviy sensorlarda ishlatilishi" (2015-2016) mavzusidagi innovatsion granti doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi Zol-gel texnologiyasi asosida anorganik materiallar ishlab chiqish, ularni kimyoviy sensorlarda ishlatish, NH₃ va SO₂ gazini selektiv aniqlovchi optik sensorlar yaratishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

zol-gel jarayoni natijasida tetraetoksisilan (TEOS) ning turli erituvchi muhitlarida gidrolitik polikondensatsiya sharoitlari va qonuniyatlarini o'rganish;

optik materiallar sintezi uchun turli katalizatorlar hamda kerakli erituvchilar ishtirokida optimal tarkibli qatlam hosil qilish va ushbu qatlamga indikatorlarni immobilizatsiya qilish;

olingan sensorning tuzilishi va fotokimyoviy xossalarini turli zamonaviy spektral usullar - kukun rentgen diffraksiyasi, diffuz aks etish spektroskopiyasi, Fur'e transformatsion infraqizil spektroskopiyasi, elektron yutilish spektroskopiyasi yordamida aniqlash;

zol-gel texnologiyasi asosida nanotuzilishli materiallar sintez qilish, ammiak va oltingugurt(IV) oksidning mikrokonsentratsiyalarigacha aniqlovchi optik sensor yaratish;

ammiak va oltingugurt(IV) oksidini aniqlovchi optik sensorlarning analitik va metrologik xossalarini tavsiflash hamda ishlab chiqilgan sensorlarni laboratoriya va ishlab chiqarish sharoitlarida sinovlardan o'tkazish.

Tadqiqotning ob'yekti sifatida TEOS asosida hosil qilingan zol-gel materiallar, sanoat korxonalarining chiqindi gazlari, atmosfera havosi va standart gaz aralashmalari olingan.

Tadqiqotning predmetini ammiak va sulfid angidrid gazlari, TEOS, silanlar, kerakli xossaga ega bo'lgan turli indikatorlar asosidagi gaz sezgir materiallar tashkil etgan.

Tadqiqotning usullari sifatida ilmiy tadqiqot ishida elektron yutilish spektroskopiyasi, lyuminessensiya, kukun rentgen diffraksiyasi, IQ spektroskopiyasi, termik analiz, vizkozimetriya, diffuz aks etish spektroskopiyasi, yorug'lik va elektron mikroskopiyasi kabi zamonaviy fizik kimyoviy usullari qo'llanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

ko'p komponentli gazlar aralashmalari tarkibidan NH_3 gazini mikrokonsentratsiyalarigacha aniqlovchi BKQ@TEOS tarkibli qatlam hosil qilindi. Shuningdek, SO_2 gazini mikrokonsentratsiyalarigacha aniqlash uchun esa BTK@TEOS tarkibli qatlam hosil qilingan va bu qatlamlar asosida optik sensorlar yaratilgan;

SO_2 va NH_3 gazini aniqlovchi optik sensorlarga kislotali (CO_2 , va boshqalar) va ishqoriy (aminlar) muhit beruvchi gazlar ta'siri aniqlangan;

turli xil indikatorlardan foydalanib SO_2 va NH_3 gazi konsentratsiyasini keng diapozonda aniqlovchi gaz sezgir materialning metrologik va ekspluatatsion parametrlariga turli omillarning ta'siri aniqlangan;

ammiak va oltingugurt(IV) oksidi uchun sensorlar kimyoviy sezgir qatlamining kompozitsiyalari optimallashtirildi va kimyoviy sensorlar uchun belgilangan xususiyatlarga ega "smart" membranalar olingan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

atmosfera havosi va gazlar aralashmasi tarkibidan ammiak va sulfid angidridni aniqlovchi optik sensorlar yaratilgan.

o'lchami 0,5x3 cm, sezgirligi 0,005%, dinamik o'lchash sohasi 0-100%, javob reaksiyasi 1,8 sekund ($\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2$) bo'lgan ammiak gazini aniqlovchi optik sensorni olish texnologiyasi ishlab chiqilgan;

o'lchami 0,5x3 cm, sezgirligi 0,001%, dinamik o'lchash sohasi 0-100%, javob reaksiyasi 2,5 sekund ($\text{SO}_2 \rightarrow \text{Ar}$) bo'lgan oltingugurt(IV) oksidini aniqlovchi optik sensorni olish texnologiyasi ishlab chiqilgan;

optik sensor yordamida ammiak gazini aniqlashning metodikasi ishlab chiqilgan;

optik sensor yordamida oltingugurt(IV) oksidini aniqlashning metodikasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Natijalarning ishonchliligi bir-birini to'ldiruvchi gaz xromatografiyasi va elektrokimyoviy analiz usullari singari zamonaviy usullarga asoslanib olinganligi bilan tasdiqlangan. Matematik statistik usullar yordamida qayta ishlangan tajriba natijalari asosida xulosalar qilingan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati kimyoviy sensorlarda foydalanish uchun zol-gel texnologiyasi asosida noorganik materiallarni ishlab chiqish va o'rganish bo'yicha bilimlar chegaralarini kengaytirishga va bu bilimlarni amaliy maqsadlarda qo'llashga yordam berish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati shundan iboratki, kimyoviy sensorlarni qo'llash sohasini takomillashtirish va kengaytirish uchun yangi imkoniyatlarni ochib beradi, bu esa ilmiy tadqiqotlarda muvaffaqiyatga olib keladi, shuningdek, yangi texnologiyalarni kundalik hayotda amaliyotga tatbiq etishga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Zol-gel texnologiyasi asosida yaratilgan sulfit anhidrid va ammiak gazlarini aniqlovchi sensorlar ishlash jarayonining ilmiy texnologik asoslari ishlab chiqish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

sulfit anhidrid gazini aniqlovchi sensor "Elektrokimyozavod" qo'shma korxonasi aksiyadorlik jamiyati qoshidagi "Elkimyo-agroximoya" MChJda amaliyotga joriy etilgan ("Elkimyo-agroximoya AJ ning 2022 yil 26 iyundagi 159-son ma'lumotnomasi). Natijada, ishlab chiqilgan optik sensor zavod chiqindilaridagi SO₂ gazini aniqlash imkonini bergan;

sulfit anhidrid gazini aniqlovchi sensor "Elektrokimyozavod" qo'shma korxonasi aksiyadorlik jamiyatida qoshidagi "Elkimyo-agroximoya" MChJda SO₂ ni monitoringini o'tkazishda amaliyotga joriy etilgan ("Elkimyo-agroximoya AJning 2022-yil 26-iyundagi №159-son ma'lumotnomasi). Natijada ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'lgan SO₂ ni monitoringini amalga oshirish imkoni yaratilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Ushbu tadqiqot natijalari 9 ta, jumladan, 5 ta xalqaro va 4 ta Respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma'ruza qilingan va muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 14 ta ilmiy ishlar chop etilgan. Shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarida 5 ta maqola, jumladan 2 ta respublika va 3 ta xorijiy jurnallarda nashr etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibiga kirish, uchta bob, xulosalar, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati hamda ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning asosiy hajmi 100 sahifani tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida o‘tkazilgan tadqiqotning dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, ob’jekt va predmetlari tavsiflangan, respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan. Tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning “Analitik kimyoda nanomateriallar olish uchun zol-gel usulining qo‘llanilish istiqbollari” (Adabiyotlar sharhi) deb nomlangan bobida nanomateriallar va ularni olishning asosiy usullari, noorganik materiallar olishning hozirgi holati va rivojlanish tendensiyalari, zol-gel texnologiyasi asosida materiallar olish va ulardan kimyoviy sensorlar yaratish uchun foydalanish holati, SO₂ va NH₃ ni nazorat qilishda ishlatiladigan kimyoviy sensorlarning hozirgi zamon holati va ularda foydalanilgan elektrodlar, elektrolitlar va materiallar, ularning kimyoviy va optik xossalari, qattiq holdagi materiallarni xossalari tekshirishda diffuz aks etish spektroskopiyasining ahamiyati haqida ma’lumot keltirilgan.

Dissertatsiyaning “Zol-gel usulida nanomateriallar olish va ularning kimyoviy sensorlarda ishlatilishi” (Tajribaviy qism) deb nomlangan bobida zol-gel usulida kremniyli prekursor tarkibli materiallar olish va ularga dopantlar qo‘shish yo‘llarini ishlab chiqish, haroratni o‘zgartirib material olish, olingan materiallarning optik xossalari va tuzilishini o‘rganish, tayyorlangan optik sensorlarni kimyoviy sensorlar yaratishda foydalanish haqida ma’lumotlar keltirilgan.

Kremniy prekursorli materiallar olish va ularga dopantlar qo‘shish yo‘llarini ishlab chiqish. Zol-gel qatlamiga bromkrezol qizilini (BKQ) va bromtimol ko‘ki (BTK) ni birlashtirish uchun dastlab indikatorlar etil spirtida (99%) eritib olindi va ularning 0,1; 0,05; 0,01; 0,005; 0,001 M li tarkibli eritmaları tayyorlandi hamda turli erituvchilar ishtirokida TEOS ga dopant sifatida birlashtirildi (1- va 2-jadvallar).

1-jadval

Dopant qo‘shilgan zol-gel eritmalar tarkibi

No	Alkoksid	Erituvchi	Indikator	C _{Ind} , mol/l	Izoh
1	TEOS	C ₂ H ₅ OH	BKQ	0,0100	- - (S+)
2	TEOS	C ₂ H ₅ OH	BKQ	0,0050	+ + (S+)
3	TEOS	C ₂ H ₅ OH	BKQ	0,0010	+ + (S-)
4	TEOS	C ₂ H ₅ OH	BKQ	0,0005	+ + (S-)
5	TEOS	C ₂ H ₅ OH	BKQ	0,0001	+ + (S-)
6	TEOS	CH ₃ OH	BKQ	0,0100	- - (S+)
7	TEOS	CH ₃ OH	BKQ	0,0050	+ + (S+)
8	TEOS	CH ₃ OH	BKQ	0,0010	+ + (S-)
9	TEOS	CH ₃ OH	BKQ	0,0005	+ + (S-)
10	TEOS	CH ₃ OH	BKQ	0,0001	+ + (S-)
11	TEOS	C ₃ H ₇ OH	BKQ	0,0100	- - (S+)

№	Alkoksid	Erituvchi	Indikator	C _{Ind} , mol/l	Izoh
12	TEOS	C ₃ H ₇ OH	BKQ	0,0050	+ + (S+)
13	TEOS	C ₃ H ₇ OH	BKQ	0,0010	+ + (S-)
14	TEOS	C ₃ H ₇ OH	BKQ	0,0005	+ + (S-)
15	TEOS	C ₃ H ₇ OH	BKQ	0,0001	+ + (S-)
16	TEOS	<i>i</i> -C ₃ H ₇ OH	BKQ	0,0100	- - (S+)
17	TEOS	<i>i</i> -C ₃ H ₇ OH	BKQ	0,0050	+ + (S+)
18	TEOS	<i>i</i> -C ₃ H ₇ OH	BKQ	0,0010	+ + (S-)
19	TEOS	<i>i</i> -C ₃ H ₇ OH	BKQ	0,0005	+ + (S-)
20	TEOS	<i>i</i> -C ₃ H ₇ OH	BKQ	0,0001	+ + (S-)
21	TEOS	<i>i</i> -C ₄ H ₉ OH	BKQ	0,0100	- - (S+)
22	TEOS	<i>i</i> -C ₄ H ₉ OH	BKQ	0,0050	+ + (S+)
23	TEOS	<i>i</i> -C ₄ H ₉ OH	BKQ	0,0010	+ + (S-)
24	TEOS	<i>i</i> -C ₄ H ₉ OH	BKQ	0,0005	+ + (S-)
25	TEOS	<i>i</i> -C ₄ H ₉ OH	BKQ	0,0001	+ + (S-)
26	TEOS	1-C ₄ H ₉ OH	BKQ	0,0100	- - (S+)
27	TEOS	1-C ₄ H ₉ OH	BKQ	0,0050	+ + (S+)
28	TEOS	1-C ₄ H ₉ OH	BKQ	0,0010	+ + (S-)
29	TEOS	1-C ₄ H ₉ OH	BKQ	0,0005	+ + (S-)
30	TEOS	1-C ₄ H ₉ OH	BKQ	0,0001	+ + (S-)

Izoh: “+” gomogen, “-” agregatlan, (S +) sezgirligi yuqori, (S -) sezgirligi past

Jadvaldan, BKQ ning konsentratsiyasi 0,005 mol/l bo‘lgan namunalarida gomogenlik va gazga nisbatan sezgirligi eng yuqori bo‘lishini ko‘rish mumkin.

2-jadval

Dopant qo‘shilgan zol-gel eritmalar tarkibi

№	Alkoksid	Erituvchi	Indikator	C _{Ind} , mol/l	Izoh
1	TEOS	C ₂ H ₅ OH	BTK	0,0100	- - (S+)
2	TEOS	C ₂ H ₅ OH	BTK	0,0050	+ + (S+)
3	TEOS	C ₂ H ₅ OH	BTK	0,0010	+ + (S-)
4	TEOS	C ₂ H ₅ OH	BTK	0,0005	+ + (S-)
5	TEOS	C ₂ H ₅ OH	BTK	0,0001	+ + (S-)
6	TEOS	CH ₃ OH	BTK	0,0100	- - (S+)
7	TEOS	CH ₃ OH	BTK	0,0050	+ + (S+)
8	TEOS	CH ₃ OH	BTK	0,0010	+ + (S-)
9	TEOS	CH ₃ OH	BTK	0,0005	+ + (S-)
10	TEOS	CH ₃ OH	BTK	0,0001	+ + (S-)
11	TEOS	C ₃ H ₇ OH	BTK	0,0100	- - (S+)
12	TEOS	C ₃ H ₇ OH	BTK	0,0050	+ + (S+)
13	TEOS	C ₃ H ₇ OH	BTK	0,0010	+ + (S-)
14	TEOS	C ₃ H ₇ OH	BTK	0,0005	+ + (S-)
15	TEOS	C ₃ H ₇ OH	BTK	0,0001	+ + (S-)
16	TEOS	<i>i</i> -C ₃ H ₇ OH	BTK	0,0100	- - (S+)
17	TEOS	<i>i</i> -C ₃ H ₇ OH	BTK	0,0050	+ + (S+)

№	Alkoksid	Erituvchi	Indikator	C _{Ind} , mol/l	Izoh
18	TEOS	<i>i</i> -C ₃ H ₇ OH	BTK	0,0010	+ + (S-)
19	TEOS	<i>i</i> -C ₃ H ₇ OH	BTK	0,0005	+ + (S-)
20	TEOS	<i>i</i> -C ₃ H ₇ OH	BTK	0,0001	+ + (S-)
21	TEOS	<i>i</i> -C ₄ H ₉ OH	BTK	0,0100	- - (S+)
22	TEOS	<i>i</i> -C ₄ H ₉ OH	BTK	0,0050	+ + (S+)
23	TEOS	<i>i</i> -C ₄ H ₉ OH	BTK	0,0010	+ + (S-)
24	TEOS	<i>i</i> -C ₄ H ₉ OH	BTK	0,0005	+ + (S-)
25	TEOS	<i>i</i> -C ₄ H ₉ OH	BTK	0,0001	+ + (S-)
26	TEOS	1-C ₄ H ₉ OH	BTK	0,0100	- - (S+)
27	TEOS	1-C ₄ H ₉ OH	BTK	0,0050	+ + (S+)
28	TEOS	1-C ₄ H ₉ OH	BTK	0,0010	+ + (S-)
29	TEOS	1-C ₄ H ₉ OH	BTK	0,0005	+ + (S-)
30	TEOS	1-C ₄ H ₉ OH	BTK	0,0001	+ + (S-)

Izoh: “+” gomogen, “-” agregatlan, (S +) sezgirligi yuqori, (S -) sezgirligi past

Jadvaldan, BTK ham konsentratsiyasi 0,005 mol/l bo‘lgan namunalarida gomogenlik va gazga nisbatan sezgirligi eng yuqori bo‘lishini ko‘rish mumkin.

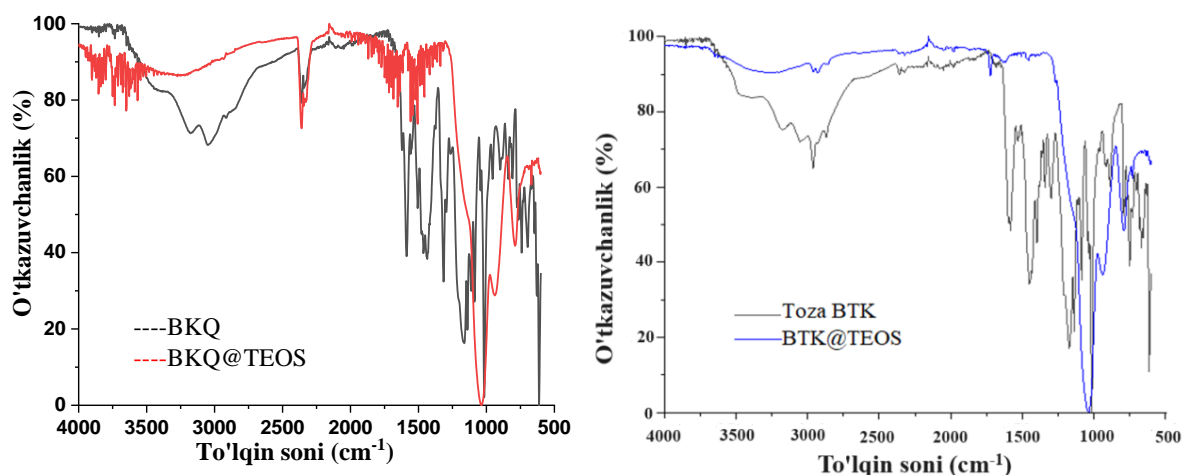
Materiallarning optik xossalarini o‘rganish. Mikroskop oynasi sirtiga qoplangan TEOS orqali nur o‘tkazuvchanlikning o‘zgarishini aniqlash uchun namunalarning 400 nm dan 800 nm gacha bo‘lgan sohada o‘tkazuvchanlik spektrlari olindi. Olingan natijalar mikroskop oynalari o‘tkazuvchanligini saqlab qolganligini ko‘rsatdi. Zol-gel usulida olingan materiallarda BTK va BKQ ning fotokimyoviy xossalarini o‘rganish uchun IQ Fur‘ye spektrometri yordamida spektral tahlil qilindi. Buning uchun BTK va BKQ ning konsentratsiyasi 0,005 mol/l bo‘lgan namunalardan foydalanildi. Tadqiqotlar uchun o‘lchashlar soni 20 marta va ajratib ko‘rsata olish kuchi 4 cm⁻¹ bo‘lgan parametrlar tanlandi.

SO₂ gazini aniqlovchi BTK@TEOS tarkibli qatlamning metrologik va analitik xossalarini aniqlash

Zol-gel usuli orqali olingan qatlamlarga indikatorlar immobilizatsiya qilindi hamda bu qatlamlar asosida turli gazlarning konsentratsiyasini aniqlash uchun tadqiqotlar olib borildi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, BTK@TEOS qatlam asosida hosil qilingan sensorning sezgirligi 0,001%, o‘lchami 0,5x3 sm, dinamik o‘lchash sohasi 0-100%, javob reaksiyasi 2,5 sekund (SO₂→Ar); 40 sekund (Ar→SO₂), ishlash muddati esa olti oygacha ekanligi aniqlandi.

NH₃ gazini aniqlovchi BKQ@TEOS tarkibli qatlamning metrologik va analitik xossalarini aniqlash

NH₃ gazini aniqlashda ishqoriy muhitga nisbatan sezgir BQK@TEOS tarkibli qatlamdan iborat sensorning sezgirligi yuqori hisoblanadi. Standart gaz aralashmalarini tayyorlash uchun N₂ va NH₃ gazlar aralashmasidan foydalanilgan. O‘lchami 0,5x3 cm bo‘lgan ammiak gazini aniqlovchi optik sensorning asosiy ko‘rsatkichlari: sezgirligi 0,005%, dinamik o‘lchash sohasi 0-100%, javob reaksiyasi 1,8 sekund (NH₃→N₂); 40 sekund (N₂→NH₃), ishlash muddati esa olti oy ekanligi aniqlandi.



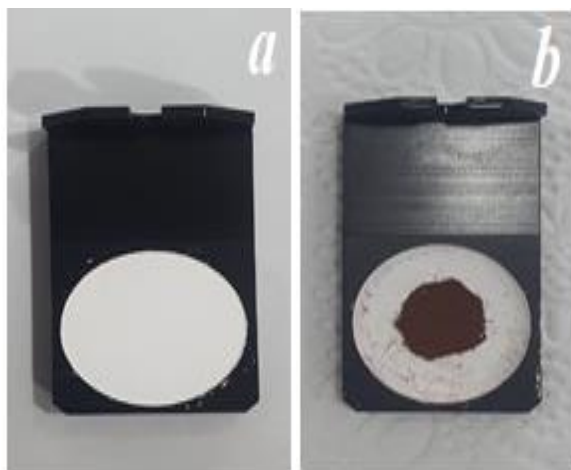
1-rasm. Toza BKQ va BKQ@TEOS tarkibli materialning (a) va toza BTK hamda BTK@TEOS tarkibli materialning (b) IQ (normallashtirilgan) spektri

Dopantlarning o‘z fotokimyoviy xossasini saqlab qolganligini aniqlash uchun ularning elektron yutilish spektrlari olindi va u TEOS ga biriktirilgandan so‘ng hosil qilingan namunalarning elektron yutilish spektrlari bilan taqqoslandi (1-rasm).

1-rasmdan BTK va BKQ ning zol-gel usulida silikat materialga birikkanda o‘z xossalarini saqlab qolganligini spektrdagi funksional guruhlarga tegishli (1500-4000 cm^{-1}) chastotalar o‘rni saqlanib qolganligini ko‘rish mumkin.

Shuningdek, hosil qilingan qatlamlarni kukun holatdagi sezuvchanligi diffuz aks etish spektroskopiyasi yordamida o‘rganildi. Bunda fon elektrolit sifatida bariy sulfat BaSO_4 kukunlaridan foydalanildi (2-rasm).

Olingan qatlamlarda zol-gel usulida turli indikatorlar immobilizatsiya qilinganligi uchun ulardan turli gazlarning konsentratsiyasini aniqlash uchun tadqiqotlar olib borildi, tayyorlangan qatlamlardan ammiak gazini aniqlashda vizual sensor sifatida foydalanish mumkin.



2-rasm. Tayyorlangan optik materiallarning tuzilishi: BaSO_4 fon (a); BKQ@SiO_2 (b)



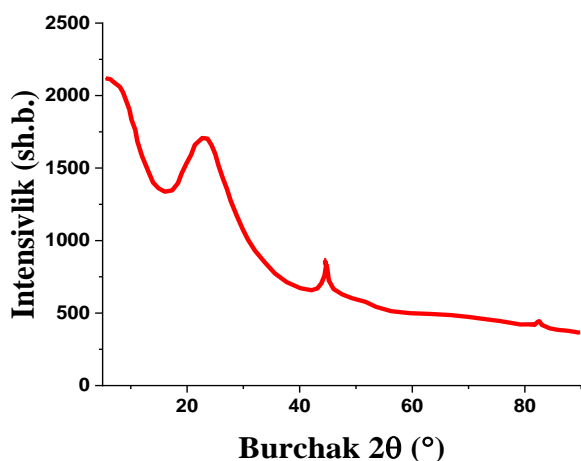
3-rasm. Diffuz aks etish spektrlarini olish uchun ISR-2600 integratsion sfera

Rasmda chap va o‘ng o‘rinlarga standart oq BaSO_4 qoplamasi joylashtirilib, bazaviy korreksiya amalga oshirilganligi tasvirlangan. Shundan so‘ng, o‘ng

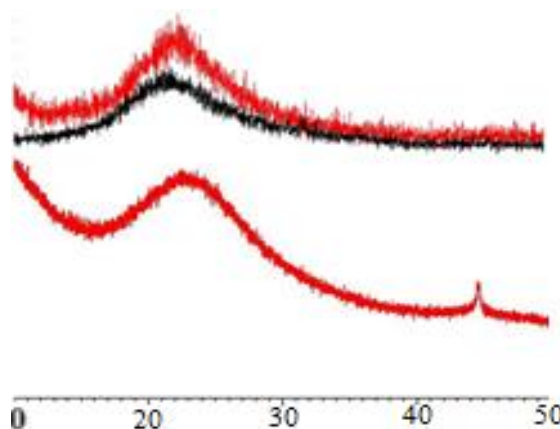
tomondagi oq qoplama ustiga BKQ@SiO₂ joylashtirilib, 3-rasmda ko'rsatilgan ISR-2600 integratsion sferada o'lchashlar olib borilgan.

Dissertatsiyaning "**Zol-gel usulida tayyorlangan noorganik materiallar xossalari (Natijalar va ularning tahlili)**" deb nomlangan bobida olingan gaz sezgir materiallarining fotokimyoviy xossalari, tayyorlangan nanoo'lchamli optik sensorning graduirovka xususiyatlari hamda hosil qilingan gaz sezgir materiallarning metrologik xossalarini o'rganish jarayonida olingan natijalar keltirilgan.

O'lchashlar xona haroratida va difraksiya burchagi (2θ) 5° dan 90° gacha qadamli rejimda skanerlandi. Olingan materialning difraktogrammasi 4-rasmda keltirilgan.



4-rasm. BKQ@TEOS tarkibli qatlamning difraktogrammasi

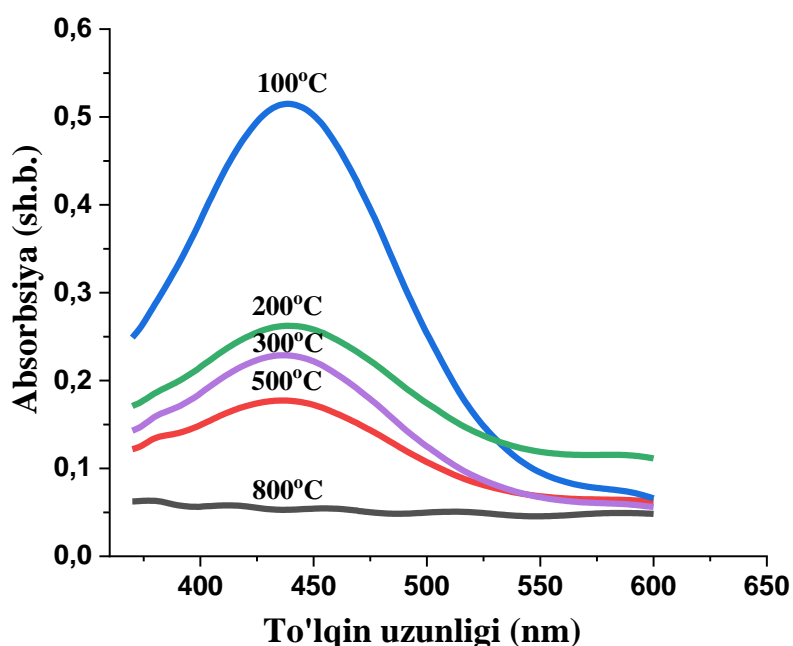


5-rasm. BKQ@TEOS tarkibli materialning oddiy shisha (yuqoridagi qora rangli) va nanotuzilishli shisha (yuqoridagi qizil rangli) bilan solishtirish

BKQ@TEOS tarkibli qatlamning difraktogrammalari ular amorf fazalardan iboratligini ko'rsatdi. Difraktogrammalarning $2\theta = 22 \div 24^\circ$ va $2\theta = 44 \div 46^\circ$ sohalarda yuqori intensivli cho'qqilar olingan namunalarni nanomaterial ekanligini tasdiqlaydi (5-rasm).

Haroratning yakuniy material xossalariga ta'siri. Zol-gel usulida bromkrezol qizilining har xil nisbatda tayyorlangan na'munalarining yutilish spektrlari "Specord 50" (Germaniya) spektrometrida o'lchandi. Olingan natijalar, namunalar tarkibida bromkrezol qizilining konsentratsiyasi ortishi bilan spektrlarda intensivlik ortishini ko'rsatdi (6-rasm). Ushbu namunalar 60 daqiqa davomida 100°C, 200°C, 300°C, 500°C va 800°C haroratdan xona haroratigacha ishlov berildi. So'ngra na'munalarning qaytadan havoga nisbatan yutilish spektri o'lchandi. Spektrdan ko'rinadiki, bunda ham bromkrezol qizilining konsentratsiyasiga bog'liq ravishda intensivlik har xil bo'ladi.

Gazli muhitda ammiak konsentratsiyasini diffuz aks etish spektroskopiyasi yordamida aniqlash. Tayyorlangan optik materialning diffuz aks etish spektri ammiak gazisiz va ammiakning turli konsentratsiyali standart gaz aralashmalari ta'siridan keyingi holati o'rganildi (3-jadval).



6-rasm. Bromkrezol qizilining TEOS asosidagi qatlamga biriktirilgan holatda turli haroratlarda barqarorligi

3-jadval

Gazli muhitda ammiak konsentratsiyasini aniqlash uchun tayyorlangan standart gaz aralashmalari

No	Hajmiy ulush NH ₃ , (%)	Diffuz aks etish, (R)	Kubekla-Munk birliklarida [(1 - R _∞) ² /2R _∞]	Optik zichlik log1/R _∞ , (sh.b)
1	100% N ₂	75,4	4,013	0,1230
2	0,1	73,3	4,860	0,1350
3	0,3	71,7	5,580	0,1440
4	0,5	70,0	6,430	0,1569
5	0,7	68,4	7,300	0,1650

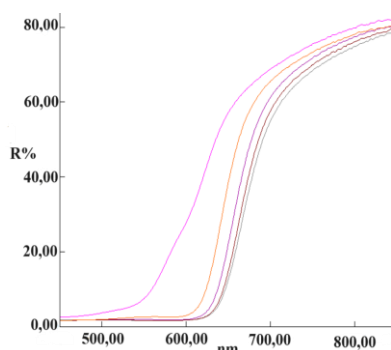
Ammiak konsentratsiyasi bilan Kubelka-Munk funksiyasi (K/S) bog‘liqligi quyidagi tenglamasi bilan ifodalanadi:

$$F(R_{\infty}) = \frac{(1 - R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} = \frac{K}{S}$$

bu yerda $F(R_{\infty})$ - Kubelka-Munk funksiyasi; R_{∞} - ideal (absolyut) aks etish; K – yutilish koeffitsienti; S – sochilish koeffitsienti.

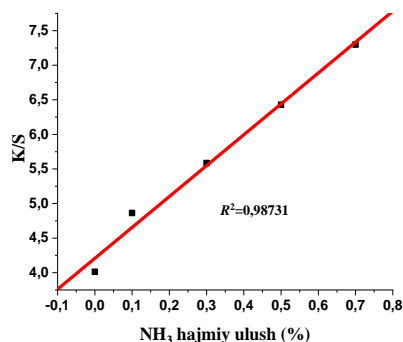
7- va 8-raslarda ko‘rsatilgandek, tayyorlangan optik material ammiak konsentratsiyasining keng sohasida chiziqli bog‘lanishni namoyon qildi. Shuningdek, diffuz aks etish ideal holda optik zichlikka ham bog‘liq bo‘lishi mumkin. Buning uchun yuqoridagi jadvalga muvofiq tayyorlangan optik qatlamning ammiak gaziga javob reaksiyasi optik zichlikka nisbatan ham hisoblab ko‘rildi va natijada to‘g‘ri chiziqli bog‘lanish kuzatildi (9-rasm).

Olingan BKQ@TEOS sensorga ammiak va oltingugurt (IV) oksidi standart gaz aralashmalarining javob reaksiyasi o‘rganildi (4-jadval).

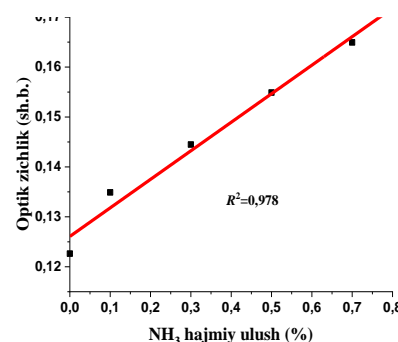


7-rasm. BKQ@SiO₂ optik materialning ammiakning turli konsentratsiyali gaz aralashmalariga javob reaksiyasi

(— 0% NH₃; — 0,1% NH₃; — 0,3% NH₃; — 0,5% NH₃; — 0,7% NH₃).



8-rasm. Kubelka-Munk parametrining K/S gaz fazasida ammiakning hajmiy ulushiga bog‘liqligi



9-rasm. BKQ@SiO₂ NH₃-BKP@TEOS sensorining graduirovka chizig‘i

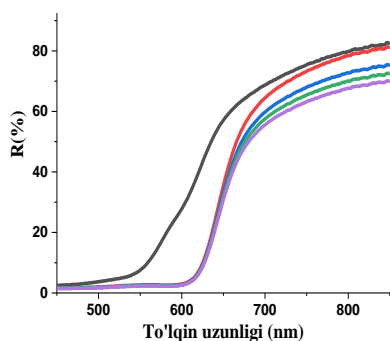
Olingan BKQ@TEOS sensorga ammiak va oltingugurt(IV) oksidi standart gaz aralashmalarining javob reaksiyasi o‘rganildi (4-jadval).

4-jadval

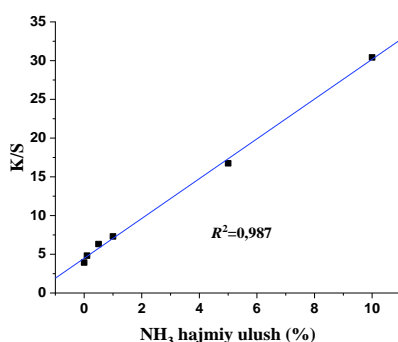
Ammiak va oltingugurt(IV) oksidi standart gaz aralashmalarining BKQ@TEOS sensorga javob reaksiyasi

No	Hajmiy ulush NH ₃ , (%)	Hajmi ulush SO ₂ , (%)	Diffuz aks etish R	Kubekla-Munk birliklarida [(1 - R _∞) ² /2R _∞]	O‘tkazuvchanlik log1/R _∞ , (sh.b)
1	10	5	46,7	30,42	0,330
2	5	5	56,5	16,75	0,250
3	1	5	68,4	7,30	0,165
4	0,5	5	70,2	6,33	0,154
5	0,1	5	73,4	4,82	0,134
6	0	5	75,6	3,94	0,121

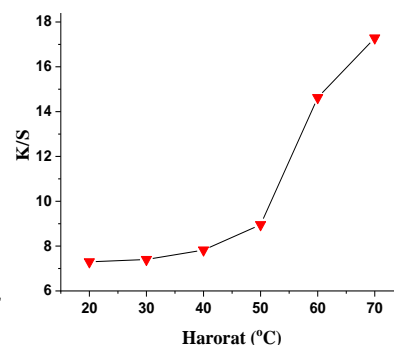
4-jadvaldan ko‘rish mumkinki, namuna tarkibida ammiak konsentratsiyasi 10% dan 0,1% kamayishi bilan Diffuz aks etishning son qiymati 46,7% dan 73,4% gacha ortishi kuzatildi. Shuningdek, ammiak miqdorining kamayishi Kubekla-Munk birliklarining 30,42% dan 4,82% gacha, o‘tkazuvchanlik esa 0,330 dan 0,134 (sh.b) gacha kamayishi aniqlandi. BKQ@TEOS sensorning NH₃ va SO₂ standart gaz aralashmalariga javob reaksiyasi hamda optik sensorga ta’siri graduirovka qilindi (10- va 11-rasmlar). 1 % li ammiak gazi aralashmasining turli haroratdagi sensor signaliga bog‘liqligi graduirovka chizig‘i esa 12- rasmda keltirilgan.



10-rasm. BKQ@TEOS sensorning NH₃ va standart gaz aralashmalariga javob reaksiyasi



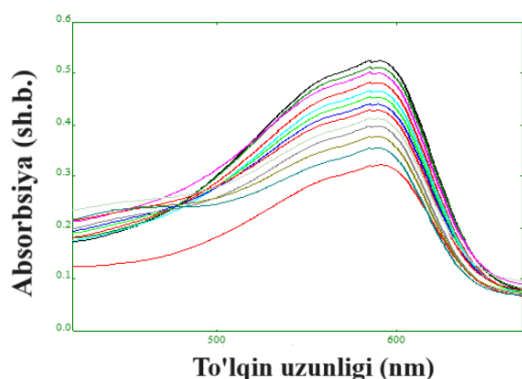
11-rasm. Tayyorlangan optik sensorga NH₃ ta'sirining graduivka chizig'i



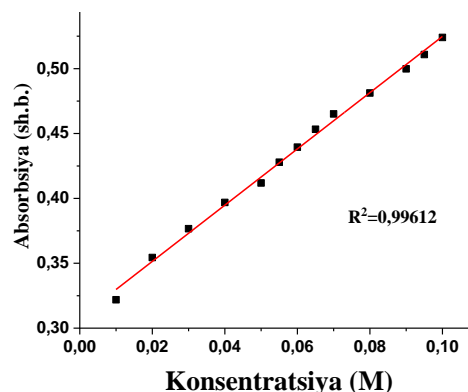
12-rasm. 1 % li ammiak gazi aralashmasining turli haroratdagi sensor signaliga bog'liqligi graduivka chizig'i

Sensor namunalari ammiakning suvli eritmasi bilan ta'sirlashganda darhol rangini sariqdan binafsha rangga o'zgartirishi kuzatildi. Bu shuni ko'rsatadiki, indikator molekulari zol-gel texnologiyasi bilan olingan sensor qatlamining g'ovakliklarida yaxshi joylashadi va ammiak bilan oson ta'sirlashadi. Shuningdek, BKQ optik qatlama kovalent bog'lanmasdan, Van der Vaals kuchlari orqali bog'lanishi va o'z spektrokimyoviy xossalarini yaxshi saqlab qolishi aniqlandi.

13-rasmda BKQ biriktirilgan optik sensorning (BKQ S1) ammiak eritmasi 0,01 M dan 0,2 M gacha konsentratsiyasida elektron yutilish spektrlari keltirilgan. BKQ asosli muhitda 590 nm da yutilish maksimumiga ega bo'lishini tasvirdan ko'rish mumkin. Eritmada ammiak konsentratsiyasi ortishi bilan bu maksimum intensivligi ham ortadi. Ammiakning past konsentratsiyali suvli eritmalar uchun optik zichlikning konsentratsiyaga bog'liqlik graduivka chizig'i 14-rasmda keltirilgan. Bundan, ammiak konsentratsiyasi 0,01 M dan 0,1 M gacha o'zgarishi optik zichlikning 0,33 sh.b dan 0,53 sh.b gacha chiziqli bog'lanish namoyon qilishi hamda $R^2=0,99612$ ga teng bo'lishi aniqlangan.



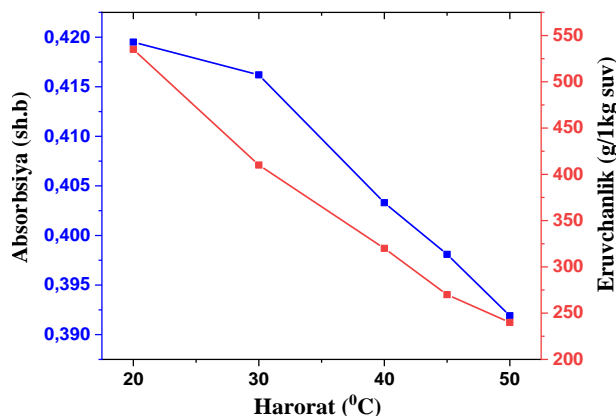
13-rasm. BKQ S1 optik sensorning 0,01 M dan 0,2 M gacha ammiak eritmasida elektron yutilish spektrlari (— 0,01M, — 0,02M, — 0,03M, — 0,04M, — 0,05M, — 0,06M, — 0,065M, — 0,07M, — 0,075M, — 0,08M, — 0,09M, — 0,1M, — 0,2M).



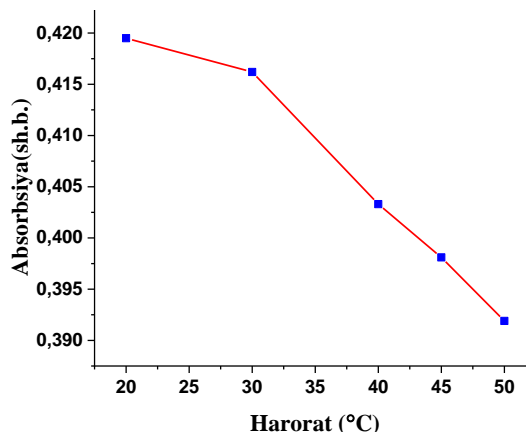
14-rasm. Ammiakning past konsentratsiyali suvli eritmalariga BKQ@TEOS sensorning graduivka chizig'i (ammiak konsentratsiyasi 0,01 M dan 0,1 M gacha)

Gaz sezgir materiallarining metrologik xossalari

BKQ asosida tayyorlangan sensorga haroratning ta'siri 20°C dan 50°C gacha o'rganilganda, ammiakning suvdagi eruvchanligini 550 g/kg suv dan 250 g/kg suv gacha, absorbsiyaning 0,420 sh.b dan 0,390 sh.b gacha kamayganligi kuzatildi (15-rasm). Bu rasmda sensorning javob reaksiyasi bilan ammiakning suvda eruvchanligi orasidagi bog'liqlik yaqqol ko'zga tashlanadi. Signalning sekin pasayishi 2M li eritma ayni haroratda to'yinmaganligi aniqlangan (16-rasm).

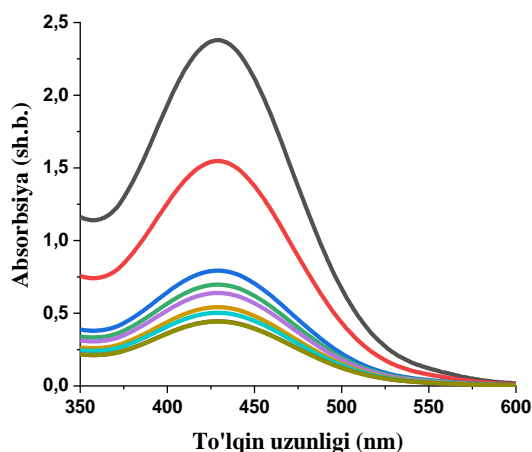


15-rasm. BKQ sensorning turli haroratlardagi 2M ammiak konsentratsiyasiga javob reaksiyasi



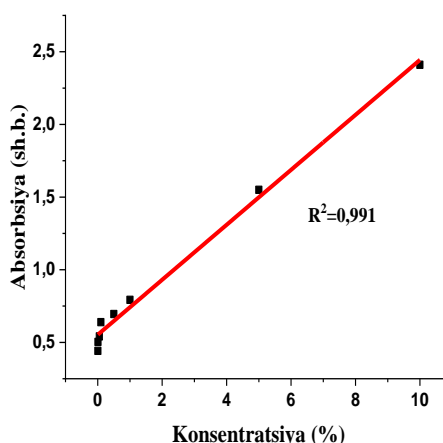
16-rasm. 20°C dan 50°C gacha haroratdagi 2M li ammiak eritmalariga sensorning javob reaksiyasi

17-rasmda BTK biriktirilgan optik sensorning sulfid anhidrid gazi konsentratsiyasi 10% dan 0,001% gacha konsentratsiyasida elektron yutilish spektrlari keltirilgan. BTK ning kislotali muhitda 430 nm da yutilish maksimumiga ega, lekin 550 nm dagi yutilish polosi SO₂ gazi konsentratsiyasi o'zgarishiga juda sezgir bo'ldi.



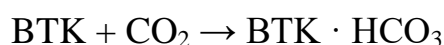
17-rasm. BTK optik sensorning 0,001 - 10% hajm oralig'ida sulfid anhidrid gaziga javob reaksiyasining elektron yutilish spektrlari

(— 10% SO₂, — 5% SO₂, — 1% SO₂, — 0,5% SO₂, — 0,1% SO₂, — 0,05% SO₂, — 0,01% SO₂, — 0,005% SO₂, — 0,001% SO₂).

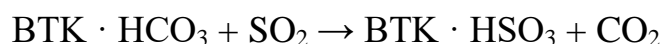


18-rasm. SO₂ gazi konsentratsiyasi bilan BTK@TEOS sensorining bog'liqlik graduirovka chizig'i

Turli gazlarning BTK@TEOS sensori ishlashiga ta'sirini o'rganishda CO va Cl₂ sensorning analitik signaliga amalda ta'sir qilmasligi aniqlandi, faqat CO₂ qisman ta'sir qiladi. Buning sababini BTK va CO₂ ham quyidagicha reaksiyaga kirishishi bilan izohlash mumkin:



Biroq, CO₂ gazining suvda eruvchanligi SO₂ nikidan past bo'lganligi sababli, uning aniqlanishiga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi.



Shuningdek, CO₂ gazi ishtirokida o'lchashlar olib borilganda avval reaksiyon ta'sirlashganda hosil bo'lgan tuz bilan sulfid angidrid orasida reaksiya sodir bo'lishi aniqlangan.

5-jadval

S1 sensor yordamida NH₃ miqdorini aniqlash natijalari (n =5, P =0,95)

Eritilgan NH ₃	O'lchangan NH ₃	S	Sr·10 ²
0,1	0,097	0,003	3,00
0,3	0,298	0,005	1,60
1	1,020	0,002	0,80
2	2,010	0,005	0,20
3	3,020	0,010	0,30
4	4,020	0,010	0,25
5	5,030	0,030	0,60
10	10,020	0,010	0,10

BKQ@TEOS sensori yordamida ammiak gazi konsentratsiyasini o'lchash metrologik asoslari gaz shpristi yordamida tayyorlangan va Nessler usuli yordamida tasdiqlangan standart gaz aralashmalari yordamida o'rganildi va quyidagi natijalar olindi (5 va 6-jadvallar).

6-jadval

S2 sensor yordamida NH₃ miqdorini aniqlash natijalari (n =5, P =0,95)

Eritilgan NH ₃	O'lchangan NH ₃	S	Sr·10 ²
0,001	9,7·10 ⁻⁴	2,60·10 ⁻⁵	2,700
0,003	3,1·10 ⁻³	2,10·10 ⁻⁵	0,600
0,005	4,9·10 ⁻³	1,80·10 ⁻⁵	0,300
0,008	8,0·10 ⁻³	2,20·10 ⁻⁵	0,280
0,010	1,1·10 ⁻²	1,36·10 ⁻³	0,124
0,030	3,1·10 ⁻²	1,36·10 ⁻³	0,044
0,050	5,1·10 ⁻³	1,77·10 ⁻³	0,135

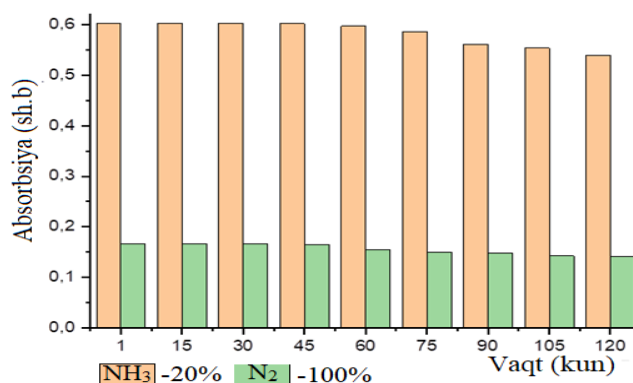
Keyinchalik, ishlab chiqilgan sensorning ammiakga sezgirlikini baholadik hamda uni atrof-muhit va atmosfera havosini kuzatishda qo'llash chegaralarini aniqladik. Natijalar 7-jadvalda keltirilgan.

S1 va S2 tarkibli sensorlarning gazli muhitda va suvda erigan ammiak konsentratsiyasini o‘lchash sohalari

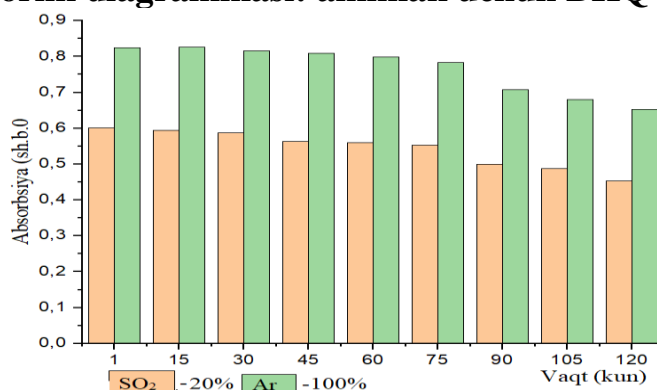
	Sensor	Sezgirligi	Muhit
1	S1	$(6,50 \pm 0,20) \cdot 10^{-3}$	Eritma
2	S2	$(2,16 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}$	Eritma
3	S1	$(3,30 \pm 0,13) \cdot 10^{-2}$	Gaz
4	S2	$(9,15 \pm 0,04) \cdot 10^{-4}$	Gaz

Izoh: S1 yuqori, S2 past konsentratsiyali ammiak uchun

SO₂ gazini aniqlovchi optik sensor ishlab chiqarish va uni sinovdan o‘tkazishda izobutil spirti erituvchi sifatida olinganda sensorning barqarorligini yana bir bor tasdiqladi. Bunga sabab TEOS prekursori yordamida sensor namunalari zol-gel usulidan foydalanib tayyorlanganda hosil bo‘lgan material g‘ovakliklarida yetarli miqdorda suv qolishi natijasida BTK indikatorining kislota oksidi bilan reaksiyaga kirishishi uchun optimal sharoit yaratadi.



19- rasm. Ishlab chiqilgan optik sensorlar analitik signalining vaqt bo‘yicha barqarorlik diagrammasi: ammiak uchun BKQ@TEOS



20- rasm. Ishlab chiqilgan optik sensorlar analitik signalining vaqt bo‘yicha barqarorlik diagrammasi: oltingugurt(IV) oksidi uchun BTK@TEOS

Ekspirimental tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, 19,20-rasmlardagi diagrammalarda keltirilgan zol-gel texnologiyasidan foydalanib, TEOSga tegishli kislota-ishqor qo‘shgan holda kompozit materiallar asosida ishlab chiqarilgan ammiak va oltingugurt (IV) oksidini aniqlovchi sensorlar, olti oydan kam bo‘lmagan vaqt davomida o‘z xususiyatlarini saqlab qoldi.

XULOSALAR

1. Zol-gel aralashmasi yotqizilgan shishalarning xossalari o'rganish natijasida eng optimal tarkib bu TEOS : *i*-C₃H₇OH : H₂O va TEOS : *i*-C₄H₉OH : H₂O mol nisbatini 1 : 4 : 4, *R* nisbat 4 – 6 bo'lganda hosil qilingan qatlam juda tekis, tiniq va shaffof holatda bo'lib gellanish vaqti 24 soatdan boshlanib 48, 96 soatgacha olingan namunalarda yoriqlar yo'qligi aniqlandi.

2. Optik shaffof va yetarlicha yupqa material olish uchun HCl ning pH=1 bo'lgan eritmasi katalizator sifatida qo'llanildi. Hosil qilingan qatlamga BTK hamda BKQ indikatorlarining 0,005 M li eritmali (maqbul sharoit sifatida tanlandi) birlashtirildi, kuchli kislotali muhitda reaksiya to'liqroq sodir bo'lib, materialga dopant yaxshi immobilizatsiyalandi; BTK@TEOS va BKQ@TEOS tarkibli gaz sezgir materiallarni qurtish uchun eng optimal harorat sifatida 70°C tanlandi.

3. Zol-gel texnologiyasi asosida tayyorlangan BKQ@TEOS va BTK@TEOS tarkibli materiallarning tuzilishi va fotokimyoviy xossalari o'rganildi. Olingan BKQ@TEOS materiallarning difraktogrammasida 2θ burchak 44-46° hamda 84-86° dagi polosalar uning nanotuzilishli ekanligini tasdiqlaydi. Diffuz aks etish spektri yordamida NH₃ konsentratsiyasi bilan Kubelka-Munk funksiyasi (K/S) bog'liqligi aniqlandi. IQ spektri tahlil qilinganda, indikatorlar silikat qatlamga fizik birikkanligi, elektron yutilish spektrlari tahlili asosida indikatorlar o'zining fotokimyoviy xossalarni saqlab qolgan holda birikkanligi isbotlandi.

4. Zol-gel texnologiyasi asosida tayyorlangan BKQ@TEOS tarkibli qatlam asosida yaratilgan sensor NH₃ gazini, BTK@TEOS tarkibli qatlam asosida yaratilgan sensor SO₂ gazining mikrokonsentratsiyalarini aniqlovchi optik sensor sifatida tavsiya etildi.

5. Zol-gel texnologiyasi asosida yaratilgan sulfid angidrid gazini aniqlovchi va monitoringini amalga oshiruvchi sensor "Elektrokimyozavod" aksiyadorlik jamiyatida amaliyotga joriy etildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/30.12.2019.К.02.05 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ПРИ САМАРКАНДСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ ИМЕНИ ШАРОФА РАШИДОВА**

**САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
ШАРОФА РАШИДОВА**

ИСАКУЛОВА МАРХАБО НЕМАТ КИЗИ

**РАЗРАБОТКА НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
ЗОЛ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В
ХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРАХ**

02.00.02 – Аналитическая химия

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА
ФИЛОСОФИИ (PhD) ХИМИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Самарканд – 2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирован под номером B2020.4.PhD/K326 в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науке и инноваций Республики Узбекистан.

Диссертационная работа выполнена в Самаркандском государственном университете имени Шарофа Рашидова.

Автореферат диссертации размещен на трех языках (узбекском, русском и английском (резюме)) на сайте Ученого совета (www.samdu.uz) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNET» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель: Насимов Абдулла Мурадович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Султанов Марат Мирзаевич
доктор химических наук, профессор
Рахматов Худойр Бобонизович
кандидат химических наук, доцент

Ведущая организация: Институт общей и неорганической химии

Защита диссертации состоится « 21 » май 2024 г., в 11⁰⁰ часов на заседании Научного совета Ph.D.03/30.12.2019.K.02.05 при Самаркандском государственном университете имени Шарофа Рашидова по адресу: 140104, Самарканд, Университетский бульвар, 15, Институт Биохимии, Химический корпус, 220 кабинет. Тел.: (+99866)239-11-40, (факс: (+99866) 239-11-51; E-mail: devonxona@samdu.uz).

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Самаркандского государственного университета имени Шарофа Рашидова за № 31, с которой можно ознакомиться в ИРЦ. (Фундаментальная библиотека СамГУ). Тел.: (+99866) 239-11-51.

Автореферат диссертации разослан « 13 » май 2024 г.
(реестр протокола рассылки № 6 от « 13 » май 2024 г.)



Х.Т.Троров

Председатель научного совета по присуждению учёных степеней, д.х.н., профессор

Ж.Р.Узоков

Ученый секретарь научного совета по присуждению учёных степеней, PhD

Э.Абдурахманов

Председатель научного семинара при Научном совете по присуждению учёных степеней, д.х.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотации диссертации доктора филофии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире сенсоры на основе наноматериалов приобретают большое значение при анализе веществ в различных областях науки, техники и производства благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокая чувствительность, быстродействие и миниатюризация. В частности, при обнаружении и мониторинге токсичных газов и органических соединений, при контроле качества сырья и продукции в химической промышленности, при обнаружении металлов в окружающей среде, при оценке пищевых, биологических, радиационных и ядерных угроз. Оно широко используется для обнаружения и мониторинга уровня глюкозы в крови, белков, антител и маркеров рака. Известно, что наноматериалы обладают высокой поверхностной активностью из-за небольшого размера и большой площади поверхности по отношению к объему. Сенсорам на их основе важно обнаруживать присутствие целевых молекул в очень низких концентрациях.

В мире ведутся исследования по получению наноматериалов, проявляющих электронные, оптические и магнитные свойства, созданию сенсоров на их основе и использованию их в аналитической химии. В связи с этим особое внимание уделяется функционализации размера, формы и поверхности, получению сенсоров с заданными свойствами чувствительности, а также при анализе различных веществ в лабораторных условиях, включая обнаружение газов, биомолекул и ионов тяжелых металлов.

Большая работа проделана по созданию термохимических и электрохимических сенсоров и их использованию в нашей республике. В частности, внедрены в практику датчики, разработанные для обнаружения водорода, кислорода, аммиака, сероводорода, углекислого газа и других подобных газов. Стратегия действий по дальнейшему развитию нашей республики определяет важные задачи, направленные на «дальнейшую модернизацию и диверсификацию отрасли, вывод ее на новый уровень качества, направленные на ускорение производства готовой продукции с высокой добавленной стоимостью на основе глубокого переработку ее высокотехнологичных производств, прежде всего местного сырья»¹ В связи с этим важно создать и внедрить современные, надежные, экспрессные, селективные датчики мониторинга технологических отходов и токсичных газов.

Настоящее диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Постановлением Президента Республики Узбекистан ПП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»², ПП-3983 от 25 октября 2018 года «О мерах по ускоренному развитию химической промышленности Республики Узбекистан» и Указом Президента Республики Узбекистан УП-4265 от 3 апреля 2019 года «О мерах по дальнейшему

¹ Указ Президента Республики Узбекистан УП-4947 «Стратегия действий Республики Узбекистан»

² Указ Президента Республики Узбекистан УП-4947 «Стратегия действий Республики Узбекистан»

реформированию химической отрасли и повышению ее инвестиционной привлекательности» а также другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и техники Республики: Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и техники Республики VII «Химия, химические технологии и нанотехнологии».

Степень изученности проблемы. В ведущих и развивающихся странах мира проводится ряд научно-исследовательских работ по определению концентраций различных газов в окружающей среде. В области разработки датчиков, используемых при мониторинге отходов и токсичных газов, заслуживают внимания работы Румянцевой М.Н., Макеевой Е.А., Прабира К., Гарднера Дж.В. В области химических сенсоров Хатко В.В., нанотехнолог в Белоруссии, Шашканова О.Ю. в России в области пьезокварцевых биосенсоров, Рудницкой А.М., Власов Ю.Г., Легина в области биосенсоров, Евтюгина Г.А., Будников Г.К., британские ученые Колетт Макдонаф в области электрохимических датчиков ДНК, Бенджамин М.Т., Олуджинми М., Аршак К. проводили исследования в области использования новых материалов и технологий в химических сенсорах в области мониторинга выхлопных газов.

Ученые нашей республики Т.К.Хамракулов, Н.С.Зокиров, А.М.Геворгян, Р.Х.Джиянбоева, А.М.Насимов, Э.Абдурахманов провели ряд научно-исследовательских работ по созданию химических сенсоров. Анализ литературных источников показывает, что исследования оптических сенсоров (в частности, ТЭОС и индикаторных компонентов), детектирующих оксид аммиака и серы (IV) при комнатной температуре вплоть до микроконцентраций, ограничены. На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что создание визуальных датчиков комнатной температуры для NH_3 и SO_2 является малоизученной областью. Поэтому разработка газочувствительных материалов, содержащих БТК@ТЭОС, БКП@ТЭОС, является теоретически и практически актуальной.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Исследования проводились в рамках инновационного гранта ИОТ-2015-7-23 (2015-2016) по теме «Разработка «smart» наногибридных (органонеорганических) материалов на основе золь-гель технологии и их применение в химических сенсорах» и Самаркандским государственным научным университетом имени Шарофа Рашидова – проведены согласно плану исследований.

Целью исследования является разработка неорганических материалов на основе золь-гель технологии, использование их в химических сенсорах, создание оптических сенсоров, избирательно обнаруживающих газы NH_3 и SO_2 .

Задачи исследования заключаются в следующем:

изучение условий и закономерностей гидролитической поликонденсации тетраэтоксисилана (ТЭОС) в различных средах растворителей в результате золь-гель процесса;

формирование сенсорного слоя оптимального состава в присутствии различных катализаторов и необходимых растворителей для синтеза оптических материалов с иммобилизованным рН-индикатором;

определение структуры и фотохимических свойств полученного сенсора с использованием различных современных спектральных методов - порошковой рентгеновской дифракции, спектроскопии диффузного отражения, инфракрасной спектроскопии с Фурье-преобразованием, спектроскопии электронного поглощения;

синтез наноструктурированных материалов на основе золь-гель технологии, создание оптического сенсора, детектирующего микроконцентрации аммиака и оксида серы (IV);

описание аналитических и метрологических свойств оптических сенсоров, обнаруживающих аммиак и оксид серы (IV), и тестирование разработанных сенсоров в лабораторных и производственных условиях.

Объектом исследования являлись золь-гель материалы, созданные на базе ТЭОС, газовые выбросы промышленных предприятий, атмосферный воздух и стандартные газовые смеси.

Предметом исследования являлись газообразный аммиак и диоксид серы, ТЭОС, силаны, газочувствительные материалы на основе различных индикаторов с заданными свойствами.

Методы исследований. При выполнении работы использованы современные инструментальные методы анализа: электронная спектроскопия, люминесценция, порошковая рентгеновская дифракция, ИК-спектроскопия, термический анализ, вискозиметрия, спектроскопия диффузного отражения, световая и электронная микроскопия.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

впервые получена пленка, содержащая БКП@ТЭОС, чувствительная к микроконцентрациям газообразного NH_3 в составе многокомпонентных газовых смесей. Для обнаружения микроконцентраций газа SO_2 был сформирован слой, содержащий БТС@ТЭОС, и на основе этих материалов созданы оптические сенсоры;

определено влияние кислых (CO_2 и др.) и щелочных (амины) газов на оптические датчики, обнаруживающие газы SO_2 и NH_3 ;

изучено влияние различных факторов на метрологические и эксплуатационные параметры газочувствительного материала, определяющего концентрацию газов SO_2 и NH_3 в широком диапазоне их применения;

оптимизированы составы химически чувствительного слоя сенсоров на аммиак и диоксид серы и получены smart - мембраны с заданными свойствами для хемосенсоров различного назначения.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

созданы оптические сенсоры для обнаружения аммиака и диоксида серы в атмосферном воздухе и газовых смесей;

разработана технология получения оптического датчика обнаружения газообразного аммиака размером 0,5x3 см, чувствительностью 0,005%, динамическим диапазоном измерения 0-100% и временем срабатывания 1,8 секунды ($\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2$);

разработана технология получения оптического датчика, детектирующего оксид серы (IV) размером 0,5x3 см, чувствительностью 0,001%, динамическим диапазоном измерения 0-100%, временем срабатывания 2,5 секунды ($\text{SO}_2 \rightarrow \text{Ar}$) был разработан;

разработана методика обнаружения газообразного аммиака с помощью оптического датчика;

разработана методика обнаружения оксида серы (IV) с помощью оптического датчика.

Достоверность результатов исследований. Достоверность результатов подтверждается применением современных методов исследования, включая дополнительным применением газо-хроматографических и электрохимических методов анализа. Выводы сделаны на основании результатов экспериментов, обработанных методами математической статистики.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследований заключается в том, чтобы помочь расширить границы знаний по разработке и изучению неорганических материалов на основе золь-гель технологии для использования в химических сенсорах и использовать эти знания в практических целях.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что они открывают новые возможности для совершенствования и расширения областей применения химических сенсоров, что приводит к успехам в научных исследованиях, а также внедрению новых технологий в повседневную жизнь.

Внедрение результатов исследований. На основе полученных научных результатов по разработке научно-технологических основ процесса работы датчиков обнаружения газов сульфитного ангидрида и аммиака, созданных на основе золь-гель технологии:

датчик обнаружения сульфит-ангидридного газа внедрен в эксплуатацию на ООО «Элкимё-агрохимой» акционерного общества «Электрохимёзавод» (справка АО «Элкимё-агрохимой» от 26 июня 2022 года № 159). В результате разработанный оптический датчик позволил обнаружить газ SO_2 в промышленных отходах;

внедрен в практику датчик обнаружения сульфитного ангидридного газа для мониторинга SO_2 на ООО «Элкимё-агрохимой» АО «Электрохимозавод» (справка АО «Элкимё агрохимойя» от 26 июня 2022 года № 159). В результате

разработанный оптический датчик позволил отслеживать газ SO₂ в промышленных отходах.

Апробация результатов исследования. Основные положения работы доложены и обсуждены на 2 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По материалам диссертации опубликовано 14 научных работ, включая 5 статьи 2 в республиканских и 3 в международных журналах.

Структура и объем диссертации: Структура диссертации состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Основной объем диссертации составляет 100 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ.

Во вводной части обосновывается актуальность и необходимость проводимого исследования, описываются цели и задачи, объекты и предметы исследования, а также показывается его совместимость с приоритетными направлениями развития науки и техники республики. Описаны научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта научная и практическая значимость полученных результатов, представлена информация о внедрении результатов исследования, опубликованных работах и структуре диссертации.

В главе диссертации **“Перспективы использования золь-гель метода получения наноматериалов в аналитической химии”** (Обзор литературы) рассмотрены наноматериалы и основные методы их получения, современное состояние и тенденции развития получения неорганических материалов, получение материалов на основе золь-гель технологии и создание из них химических сенсоров информация о состоянии использования, текущем состоянии химических сенсоров, используемых при контроле SO₂ и NH₃, а также используемых в них электродов, электролитов и материалов, их химических и оптических свойствах и важность спектроскопии диффузного отражения в исследовании свойств твердотельных материалов.

В главе диссертации **“Получение наноматериалов золь-гель методом и их использование в химических сенсорах”** (Экспериментальная часть) рассмотрены методы получения материалов-прекурсоров кремния золь-гель методом и добавления к ним легирующих добавок, получение материала путем изменения температуры и изучения оптических свойств и структуры полученных материалов представлены сведения об использовании готовых оптических сенсоров при создании химических сенсоров.

Разработка способов получения материалов-прекурсоров кремния и введения в них легирующих добавок. Для присоединения бромкрезолового пурпурного (БКП) и бромтимолового синего (БТК) к золь-гелевому слою индикаторы сначала растворяли в этиловом спирте (99%) и готовили их растворы 0,1, 0,05, 0,01, 0,005, 0,001 М. присоединяется к ТЭОС в качестве легирующей примеси в присутствии различных растворителей (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Состав золь-гель растворов с добавлением легирующей добавки

№	Алкоксид	Растворитель	Индикатор	$C_{\text{Инд}}$, моль/л	Примечание
1	ТЭОС	C_2H_5OH	БКП	0,0100	- - (S+)
2	ТЭОС	C_2H_5OH	БКП	0,0050	+ + (S+)
3	ТЭОС	C_2H_5OH	БКП	0,0010	+ + (S-)
4	ТЭОС	C_2H_5OH	БКП	0,0005	+ + (S-)
5	ТЭОС	C_2H_5OH	БКП	0,0001	+ + (S-)
6	ТЭОС	CH_3OH	БКП	0,0100	- - (S+)
7	ТЭОС	CH_3OH	БКП	0,0050	+ + (S+)
8	ТЭОС	CH_3OH	БКП	0,0010	+ + (S-)
9	ТЭОС	CH_3OH	БКП	0,0005	+ + (S-)
10	ТЭОС	CH_3OH	БКП	0,0001	+ + (S-)
11	ТЭОС	C_3H_7OH	БКП	0,0100	- - (S+)
12	ТЭОС	C_3H_7OH	БКП	0,0050	+ + (S+)
13	ТЭОС	C_3H_7OH	БКП	0,0010	+ + (S-)
14	ТЭОС	C_3H_7OH	БКП	0,0005	+ + (S-)
15	ТЭОС	C_3H_7OH	БКП	0,0001	+ + (S-)
16	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БКП	0,0100	- - (S+)
17	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БКП	0,0050	+ + (S+)
18	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БКП	0,0010	+ + (S-)
19	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БКП	0,0005	+ + (S-)
20	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БКП	0,0001	+ + (S-)
21	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БКП	0,0100	- - (S+)
22	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БКП	0,0050	+ + (S+)
23	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БКП	0,0010	+ + (S-)
24	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БКП	0,0005	+ + (S-)
25	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БКП	0,0001	+ + (S-)
26	ТЭОС	1- C_4H_9OH	БКП	0,0100	- - (S+)
27	ТЭОС	1- C_4H_9OH	БКП	0,0050	+ + (S+)
28	ТЭОС	1- C_4H_9OH	БКП	0,0010	+ + (S-)
29	ТЭОС	1- C_4H_9OH	БКП	0,0005	+ + (S-)
30	ТЭОС	1- C_4H_9OH	БКП	0,0001	+ + (S-)

Примечание: «+» — однородный, «-» — агрегированный, (S+) имеет высокую чувствительность, (S-) имеет низкую чувствительность.

Из таблицы видно, что однородность и чувствительность к газу наиболее высокие у образцов БТК с концентрацией 0,005 моль/л.

Таблица 2

Состав золь-гель растворов с добавлением легирующей добавки

№	Алкоксид	Растворитель	Индикатор	$C_{\text{Инд}}$, моль/л	Примечание
1	ТЭОС	C_2H_5OH	БТС	0,0100	- - (S+)
2	ТЭОС	C_2H_5OH	БТС	0,0050	+ + (S+)
3	ТЭОС	C_2H_5OH	БТС	0,0010	+ + (S-)
4	ТЭОС	C_2H_5OH	БТС	0,0005	+ + (S-)
5	ТЭОС	C_2H_5OH	БТС	0,0001	+ + (S-)
6	ТЭОС	CH_3OH	БТС	0,0100	- - (S +)
7	ТЭОС	CH_3OH	БТС	0,0050	+ + (S+)
8	ТЭОС	CH_3OH	БТС	0,0010	+ + (S-)
9	ТЭОС	CH_3OH	БТС	0,0005	+ + (S-)
10	ТЭОС	CH_3OH	БТС	0,0001	+ + (S-)
11	ТЭОС	C_3H_7OH	БТС	0,0100	- - (S+)
12	ТЭОС	C_3H_7OH	БТС	0,0050	+ + (S+)
13	ТЭОС	C_3H_7OH	БТС	0,0010	+ + (S-)
14	ТЭОС	C_3H_7OH	БТС	0,0005	+ + (S-)
15	ТЭОС	C_3H_7OH	БТС	0,0001	+ + (S-)
16	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БТС	0,0100	- - (S+)
17	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БТС	0,0050	+ + (S+)
18	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БТС	0,0010	+ + (S-)
19	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БТС	0,0005	+ + (S-)
20	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БТС	0,0001	+ + (S-)
21	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БТС	0,0100	- - (S+)
22	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БТС	0,0050	+ + (S+)
23	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БТС	0,0010	+ + (S-)
24	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БТС	0,0005	+ + (S-)
25	ТЭОС	<i>изо</i> - C_3H_7OH	БТС	0,0001	+ + (S-)
26	ТЭОС	1- C_4H_9OH	БТС	0,0100	- - (S+)
27	ТЭОС	1- C_4H_9OH	БТС	0,0050	+ + (S+)
28	ТЭОС	1- C_4H_9OH	БТС	0,0010	+ + (S-)
29	ТЭОС	1- C_4H_9OH	БТС	0,0005	+ + (S-)
30	ТЭОС	1- C_4H_9OH	БТС	0,0001	+ + (S-)

Примечание: «+» — однородный, «-» — агрегированный, (S+) имеет высокую чувствительность, (S-) имеет низкую чувствительность.

Из таблицы видно, что однородность и чувствительность к газу наиболее высокие у образцов БТС с концентрацией 0,005 моль/л.

Исследование оптических свойств материалов. Спектры пропускания образцов снимались в диапазоне от 400 нм до 800 нм для определения изменения коэффициента пропускания через ТЭОС, нанесенный на поверхность стекла микроскопа. Полученные результаты показали, что стекла микроскопа сохранили свою проводимость. С целью изучения фотохимических свойств БТК и БКП в материалах, полученных золь-гель методом, был проведен спектральный анализ с использованием ИК-Фурье-

спектрометра. Для этого использовали образцы БТК и БКП концентрацией 0,005 моль/л. Количество измерений составляло 20 раз, для исследования были выбраны параметры с разрешением 4 см^{-1} .

Определение метрологических и аналитических свойств слоя композиции БТС@ТЭОС, детектирующего газ SO_2

На слоях, полученных золь-гель методом, были иммобилизованы индикаторы и проведены исследования по определению концентрации различных газов на основе этих слоев. По результатам исследований чувствительность датчика на основе слоя БТС@ТЭОС составляет 0,001%, размер $0,5 \times 3 \text{ см}$, динамический диапазон измерения 0-100%, время срабатывания 2,5 секунды ($\text{SO}_2 \rightarrow \text{Ar}$); 40 секунд ($\text{Ar} \rightarrow \text{SO}_2$), а срок эксплуатации определен до шести месяцев.

Определение метрологических и аналитических свойств слоя композиции БКП@ТЭОС, детектирующего газ NH_3 .

Чувствительность датчика, состоящего из слоя БКП@ТЭОС, чувствительного к щелочной среде, считается высокой при обнаружении газа NH_3 . Для приготовления стандартных газовых смесей использовали смесь газов N_2 и NH_3 . Основные параметры оптического датчика обнаружения газообразного аммиака размером $0,5 \times 3 \text{ см}$: чувствительность 0,005%, динамический диапазон измерения 0-100%, время срабатывания 1,8 секунды ($\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2$), 40 секунд ($\text{N}_2 \rightarrow \text{NH}_3$), срок службы: оказалось шесть месяцев.

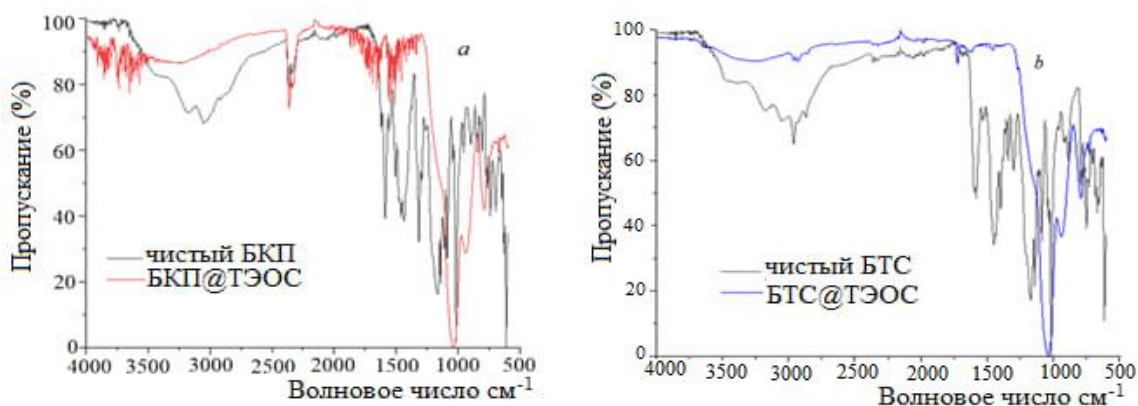


Рисунок 1. ИК (нормированный) спектр чистого материала, содержащего БКП и БКП@ТЭОС (а) и чистого материала, содержащего БТС и БТС@ТЭОС (б)

Чтобы определить, сохранили ли примеси свои фотохимические свойства, их электронные спектры поглощения были получены и сравнены с электронными спектрами поглощения их образцов после их прикрепления к ТЭОС (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что БТС и БКП сохранили свои свойства при прикреплении к силикатному материалу золь-гель методом, а также сохранилось положение частот, связанных с функциональными группами в спектре ($1500\text{-}4000 \text{ см}^{-1}$).

Также методом спектроскопии диффузного отражения была исследована чувствительность сформированных слоев в порошковом состоянии. В

качестве фонового электролита использовали порошки сульфата бария $BaSO_4$ (рис. 2).

Поскольку в полученных слоях золь-гель-методом были иммобилизованы различные индикаторы, были проведены исследования по определению концентрации различных газов, а полученные слои можно использовать в качестве визуального датчика для обнаружения газообразного аммиака.

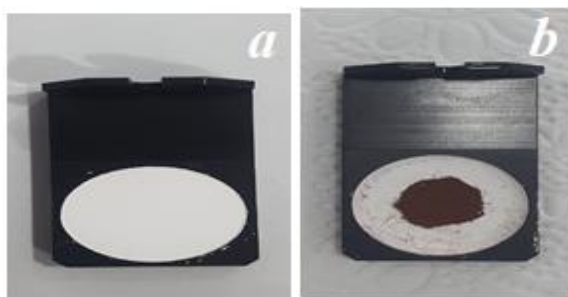


Рисунок 2. Структура полученных оптических материалов: БКП фон $BaSO_4$ (a); $@SiO_2$ (b)



Рисунок 3. Интегрирующая сфера ISR-2600 для получения спектров диффузного отражения

Наблюдали визуальное изменение цвета сенсорного слоя $BTC@SiO_2$ и его спектр диффузного отражения с использованием интегрирующей сферы ISR-2600, показанной на рисунке 3.

В третьей главе диссертации «Свойства неорганических материалов, полученных золь-гель методом (Результаты и их анализ)» представлены и интерпретированы результаты экспериментальных исследований по оценке характеристик материалов, полученных на основе золь-гель технологий и иммобилизованных индикаторов с применением рентгено-спектрального и спектрофотометрического анализов и созданных на базе этих материалов оптических хемосенсоров, включая изучение их градуировочных и метрологических характеристик.

Измерения проводились при комнатной температуре, угол дифракции (2θ) сканировался в ступенчатом режиме от 5° до 90° . Дифрактограмма полученного материала представлена на рис. 4.

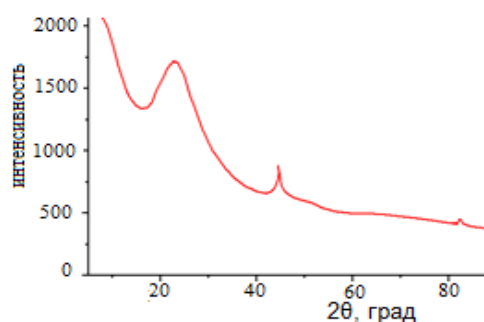


Рисунок 4. Дифрактограмма слоя, содержащего БКП@ТЭОС

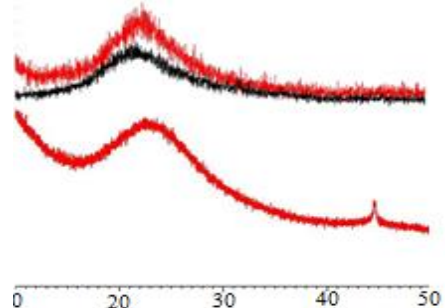


Рисунок 5. Сравнение композитного материала БКП@ТЭОС с простым стеклом (черное вверх) и наноструктурным стеклом (красное вверх)

Дифрактограммы слоев, содержащих БКП@ТЭОС, показал наличие аморфных фаз. Пики высокой интенсивности на дифрактограмме, соответствующие $2\theta=22-24^\circ$ и $2\theta=44-46^\circ$ подтверждают, что полученные образцы содержат наноструктуры (рис. 5).

Влияние температуры на конечные свойства материала. Спектры поглощения образцов бромкрезолового красного, приготовленных в различных пропорциях золь-гель методом, измеряли на спектрометре «Spesord 50» (Германия). Полученные результаты показали, что интенсивность спектра увеличивается с увеличением концентрации бромкрезолового красного в образцах. Образцы подвергали термообработке при 100°C , 200°C , 300°C , 500°C и 800°C в течение 60 минут, затем охлаждали до комнатной температуры. Спектры поглощения образцов измеряли до и после каждой термообработки. Из спектра видно, что интенсивность меняется в зависимости от концентрации бромкрезолового красного (рис. 6).

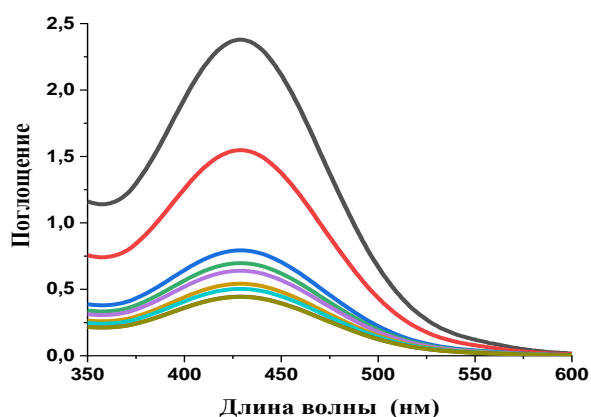


Рисунок 6. Стабильность бромкрезолового пурпурного, иммобилизованного к слою на основе ТЭОС, при различных температурах

Определение концентрации аммиака в газовой среде методом спектроскопии диффузного отражения. Изучен спектр диффузного отражения полученного оптического материала без газообразного аммиака и после воздействия стандартных газовых смесей с различной концентрацией аммиака (табл. 3).

Таблица 3

Стандартные газовые смеси, приготовленные для определения концентрации аммиака в газообразных средах

№	Объемная доля NH_3 , (%)	Диффузное отражение, (R)	В единицах Кубелки-Мунка $[(1 - P_\infty)^2/2P_\infty]$	Оптическая плотность $\log 1/R_\infty$, (y.e.)
1	100% N_2	75,4	4,013	0,1230
2	0,1	73,3	4,860	0,1350
3	0,3	71,7	5,580	0,1440
4	0,5	70,0	6,430	0,1569
5	0,7	68,4	7,300	0,1650

Концентрацией аммиака и функцией Кубелки-Мунка (K/S) выражается следующим уравнением:

$$F(R_{\infty}) = \frac{(1 - R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} = \frac{K}{S}$$

где $F(R_{\infty})$ — функция Кубелки-Мунка; R_{∞} – идеальное (абсолютное) отражение; K - коэффициент поглощения; S – коэффициент рассеяния.

Сенсор на основе полученного оптического материала продемонстрировал линейную зависимость в широком диапазоне концентраций аммиака (Рис. 7 и 8). Кроме того, диффузное отражение в идеале может зависеть от оптической плотности. Для этого также была рассчитана реакция оптического слоя, приготовленного в соответствии с приведенной выше таблицей, на газообразный аммиак в зависимости от оптической плотности, в результате чего наблюдалась прямая линейная зависимость оптической плотности от концентраций аммиака (рис. 9).

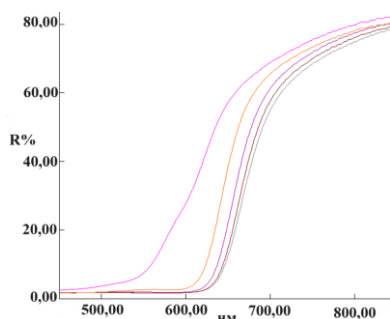


Рисунок 7. Реакция оптического материала $BKQ@SiO_2$ на газы различной концентрации аммиака

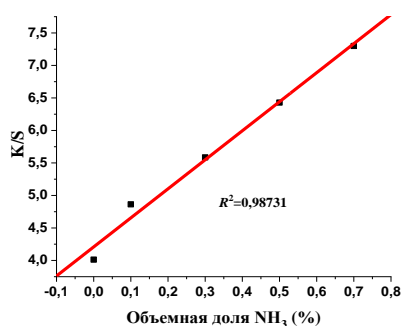


Рисунок 8. Зависимость параметра Кубелки-Мунка K/S от объемно концентрации аммиака в газовой фазе

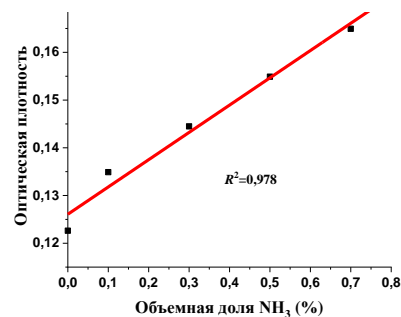


Рисунок 9. Градуировочный график NH_3 -БКП@ТЭОС сенсора

(— 0% NH_3 ; — 0,1% NH_3 ; — 0,3% NH_3 ; — 0,5% NH_3 ; — 0,7% NH_3);).

Была исследована ответная реакция стандартных газовых смесей аммиака и оксида серы (IV) на полученный сенсор БКП@ТЭОС (табл. 4).

Таблица 4
Реакция сенсора БКП@ТЭОС на стандартные газовые смеси аммиака и оксида серы (IV).

№	Объемная доля NH_3 , (%)	Объемная доля SO_2 , (%)	Диффузное отражение R	В координатах Кубелки-Мунка $[(1-P_{\infty})^2/2P_{\infty}]$	Оптическая плотность $\log 1/R_{\infty}$, (y.e.)
1	10	5	46,7	30,42	0,330
2	5	5	56,5	16,75	0,250
3	1	5	68,4	7,30	0,165
4	0,5	5	70,2	6,33	0,154
5	0,1	5	73,4	4,82	0,134
6	0	5	75,6	3,94	0,121

Из таблицы 4 видно, что при уменьшении концентрации аммиака в образце с 10% до 0,1% численное значение диффузного отражения возрастает с 46,7% до 73,4%. Также снижение содержания аммиака составляет от 30,42 до 4,82 единиц Кубелки-Мунка, а проводимости – от 0,330 до 0,134 (у.е.). Было обнаружено снижение до калибровка ответной реакции сенсора БКП@ТЭОС на стандартные газовые смеси NH_3 и SO_2 и воздействие на оптический сенсор (рис. 10 и 11). Температурная зависимость аналитического сигнала сенсора в присутствии газовой смеси, содержащей 1% об. представлена на рис. 12.

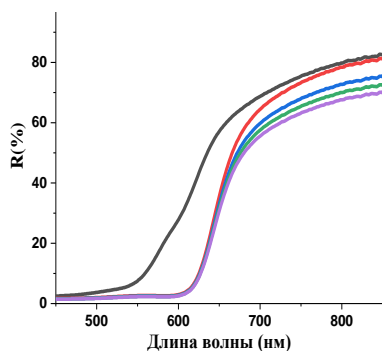


Рисунок 10. Реакция сенсора БКП@ТЭОС на стандартные газовые смеси NH_3

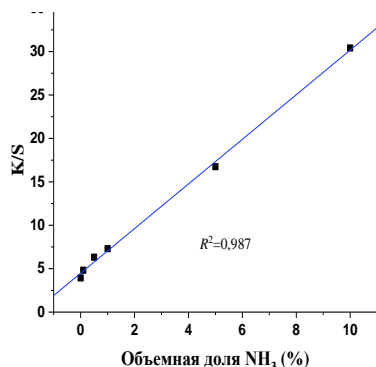


Рисунок 11. Градуировочная кривая воздействия NH_3 на подготовленный оптический сенсор

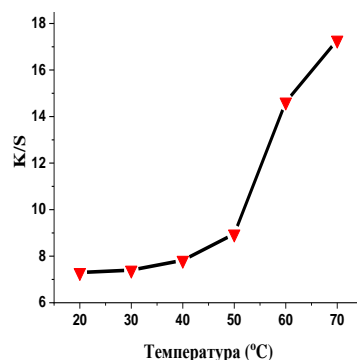


Рисунок 12. Температурная зависимость аналитического сигнала сенсора в присутствии газовой смеси, содержащей 1% об

Было обнаружено, что образцы сенсоров практически моментально изменяют свою окраску с желтого на фиолетовую при контакте с водным раствором аммиака. Это свидетельствует о том, что молекулы вещества-индикатора хорошо удерживаются в порах сенсорного слоя, полученного золь-гель технологией, и легко конформируются под действием аммиака. Также установлено, что БКП связывается с оптическим слоем не ковалентно, а за счет ван-дер-ваальсовых взаимодействий и сохраняет свои спектрально-химические свойства.

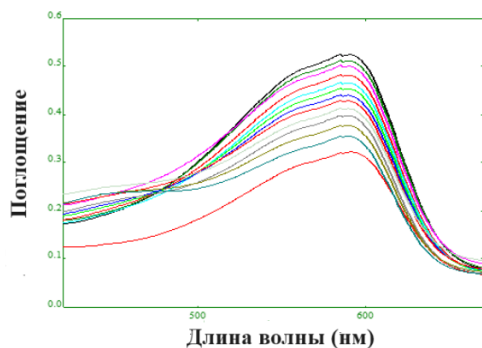


Рисунок 13. Реакция сенсора БКП@ТЭОС на стандартные растворы

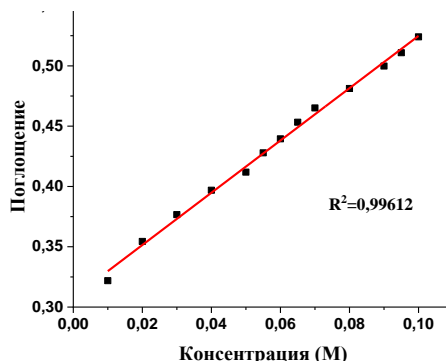


Рисунок 14. Градуировочный график сенсора БКП@ТЭОС для водных растворов аммиака

(— 0,01M, — 0,02M, — 0,03M, — 0,04M, — 0,05M, — 0,06M, — 0,065M, — 0,07M, — 0,075M, — 0,08M, — 0,09M, — 0,1M, — 0,2M).

На рис. 13 представлены электронные спектры поглощения приставного оптического сенсора ВКQ (ВКQ S1) в концентрации раствора аммиака от 0,01М до 0,2М. Из рисунка видно, что ВКQ имеет максимум поглощения при 590 нм в основных средах. Интенсивность этого максимума возрастает с увеличением концентрации аммиака в растворе. На рис. 14 представлен калибровочный график сенсора БКП@ТЭОС для водных растворов аммиака в диапазоне его концентраций 0,01 – 0,1 М. Зависимость оптической плотности от концентрации в этом интервале содержаний имеет линейный характер с $R^2=0,996$.

Метрологические характеристики газочувствительных материалов

При изучении влияния температуры на сенсор, изготовленный на основе БКК от 20°C до 50°C, наблюдалось снижение растворимости аммиака в воде с 550г/1кг воды до 250г/1кг воды, а поглощение уменьшилось с 0,420 до 0,390 (15-рисунок). На этом рисунке наглядно видна связь между откликом сенсора и растворимостью аммиака в воде. Монотонное уменьшение сигнала указывает на то, что раствор 2М при той же температуре является ненасыщенным (рис. 16).

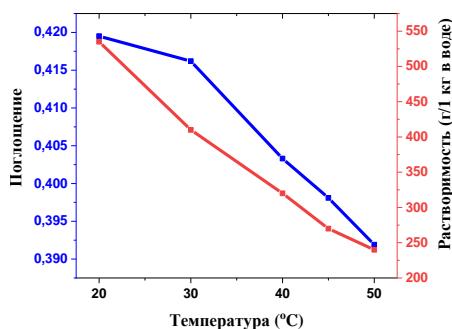


Рисунок 15. Влияние температуры на величину аналитического сигнала БКП-ТЭОС сенсора в 2М водном растворе аммиака

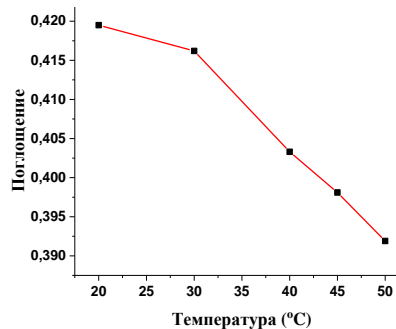


Рисунок 16. Реакция сенсора на растворы аммиака 2М при температуре от 20 °С до 50 °С

Аналогичны исследования были проведены с БТС- ТЭОС сенсора на диоксид серы.

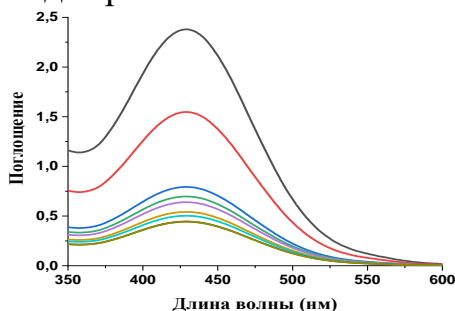


Рисунок 17. Электронные спектры поглощения оптического сенсора ВТК, реагирующие на содержание SO₂ в диапазоне 0,001 - 10% об

(— 10% SO₂, — 5% SO₂, — 1% SO₂, — 0,5% SO₂, — 0,1% SO₂, — 0,05% SO₂, — 0,01% SO₂, — 0,005% SO₂, — 0,001% SO₂).

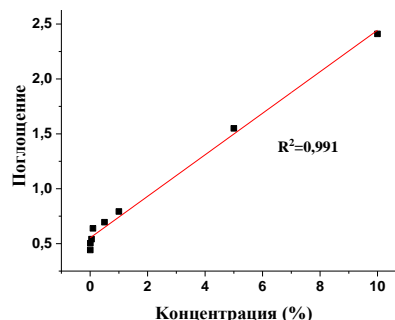
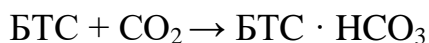
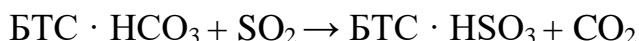


Рисунок 18. Градуировочный график на SO₂ для сенсора БТС@ТЭОС

При исследовании влияния различных газов на работу сенсора БТС@ТЭОС установлено, что СО и Cl₂ практически не влияют на аналитический сигнал сенсора, только СО₂ оказывает частичное влияние. Причину этого можно объяснить тем, что БТК и СО₂ реагируют также следующим образом:



Однако, поскольку растворимость газообразного СО₂ в воде ниже, чем растворимость SO₂, он не оказывает ощутимого воздействия на его определение.



Метрологические характеристики определения газообразного аммиака с помощью сенсора БКП@ТЭОС были изучены с использованием стандартных газовых смесей, приготовленных в соответствии с принятыми методиками и подтверждены фотоколориметрическим методом с применением реактива Несслера. Результаты эксперимента приведены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5

**Результаты измерений содержания NH₃ с помощью сенсора S1
(n = 5, P = 0,95)**

Введено NH ₃	Найдено NH ₃	S	Sr·10 ²
0,1	0,097	0,003	3,00
0,3	0,298	0,005	1,60
1	1,020	0,002	0,80
2	2,010	0,005	0,20
3	3,020	0,010	0,30
4	4,020	0,010	0,25
5	5,030	0,030	0,60
10	10,020	0,010	0,10

Таблица 6

**Результаты измерения содержания NH₃ с помощью сенсора S2
(n = 5, P = 0,95)**

Введено NH ₃	Найдено NH ₃	S	Sr·10 ²
0,001	9,7·10 ⁻⁴	2,60·10 ⁻⁵	2,700
0,003	3,1·10 ⁻³	2,10·10 ⁻⁵	0,600
0,005	4,9·10 ⁻³	1,80·10 ⁻⁵	0,300
0,008	8,0·10 ⁻³	2,20·10 ⁻⁵	0,280
0,010	1,1·10 ⁻²	1,36·10 ⁻³	0,124
0,030	3,1·10 ⁻²	1,36·10 ⁻³	0,044
0,050	5,1·10 ⁻³	1,77·10 ⁻³	0,135

Далее нами была проведена оценка чувствительности разработанного сенсора на аммиак и определены границы его применения в мониторинге окружающей среды и атмосферного воздуха. Результаты приведены в табл. 7

Таблица 7

Зоны сенсоров, содержащих S1 и S2 для измерения концентрации растворенного аммиака в газовой среде и воде

	Сенсор	Чувствительность	Среда
1	S1	$(6,50 \pm 0,20) \cdot 10^{-3}$	Раствор
2	S2	$(2,16 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}$	Раствор
3	S1	$(3,30 \pm 0,13) \cdot 10^{-2}$	Газ
4	S2	$(9,15 \pm 0,04) \cdot 10^{-4}$	Газ

Примечание. S1 — для высокой, S2 — для низкой концентрации аммиака.

При изготовлении оптического сенсора на SO_2 и его испытании на стабильность было получено подтверждение эффективности использования изобутилового спирта в качестве растворителя. Это связано с тем, что при приготовлении образцов сенсора золь-гель методом с использованием прекурсора ТЭОС в порах материала остается достаточное количество воды, которая может быть вытеснена изобутанолом, являющегося лучшим растворителем БТК, и, как следствие, создает оптимальные условия для реакции индикатора БТК с кислотным оксидом.

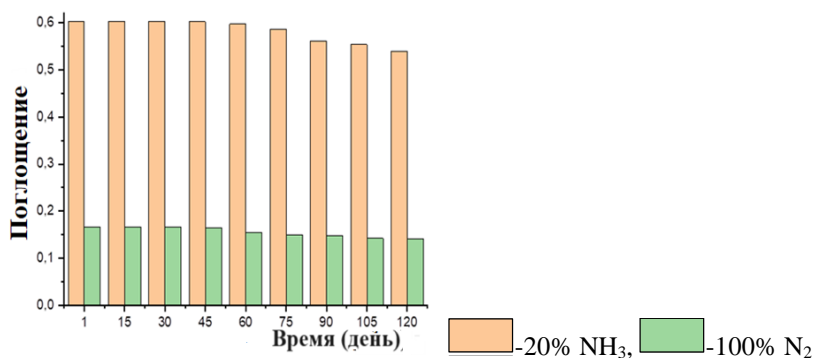


Рисунок 19. Диаграммы стабильности во времени аналитического сигнала разработанных хемосенсоров: для БКП-ТЭОС на аммиак

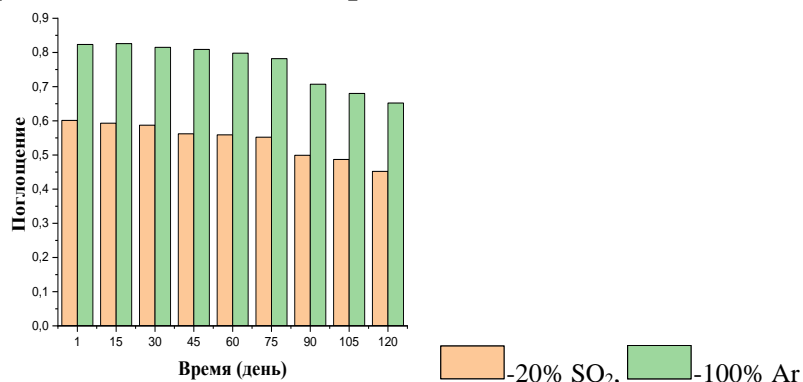


Рисунок 20. Диаграммы стабильности во времени аналитического сигнала разработанных хемосенсоров: для БТС - ТЭОС на диоксид серы

Сенсоры для определения аммиака и диоксида серы, изготовленные на основе композитных материалов методом золь-гель технологии с включением в ТЕОС соответствующих кислотно-основных индикаторов, сохраняли свои свойства, как показали экспериментальные исследования, в течение не менее шести месяцев. Результаты этого эксперимента представлены диаграммами на рисунках 19,20.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
PhD.03/30.12.2019.K.02.05 AT SAMARKAND STATE UNIVERSITY
NAMED AFTER SHAROF RASHIDOV**

SAMARKAND STATE UNIVERSITY NAMED AFTER SH. RASHIDOV

ISAQULOVA MARKHABO NEMAT QIZI

**DEVELOPMENT OF INORGANIC MATERIALS BASED ON SOL-GEL
TECHNOLOGY AND THEIR USE IN CHEMICAL SENSORS**

02.00.02 – Analytical chemistry

**DISSERTATION ABSTRACT
OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) IN CHEMICAL SCIENCES**

Samarkand – 2024

The theme of dissertation for doctor of philosophy (PhD) was registered in the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2020.4.PhD/K326.

The dissertation research has been carried out at Samarkand State University named after Sharof Rashidov.

The abstract of dissertation in three languages (Uzbek, Russian and English (resume)) is available online website of the Scientific Council (www.samdu.uz) and on the website of "ZiyoNET" information-education portal (www.ziyo.net).

Scientific supervisor: **Nasimov Abdullo Muradovich**,
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Sultanov Marat Mirzaevich**,
doctor of Chemical Sciences, Professor

Rakhmatov Khudoyor Boboniyozovich
Candidate of Chemical Sciences, associate professor

Leading organization: **Institute of General and Inorganic Chemistry**

The defense of the dissertation will take place on «21» may 2024 at «11» o'clock at the meeting of the Scientific Council awarding scientific degrees PhD.03/30.12.2019.K.02.05 at Samarkand State University named after Sharof Rashidov (address: 140104, Samarkand city, University Blvd., 15, Institute of Biochemistry, Building of the Chemistry Department, room 220.Ph: (99866) 239-11-40, fax; (99866) 239-11-40. e-mail: devonxona@samdu.uz).

The dissertation has been registered at the Information Resource Centre of Samarkand State University named after Sharof Rashidov № 31. (Address; 140104, Samarkand city, University Blvd., 15, IRC, Ph.: (99866) 239-11-51).

The abstract of the dissertation has been distributed on «13» may 2024 y.
(protocol at the register № 6 dated «13» may 2024 y).



Kh.T.Trobov

Chairman of the Scientific Council
awarding scientific degrees, doctor
chemical of sciences, professor

J.R.Uzokov

Scientific Secretary of the
Scientific Council awarding
scientific degrees, PhD

E.Abdurakhmanov

Chairman of the Scientific Seminar
under Scientific Council awarding
scientific degrees, doctor of
chemical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The purpose of the study: Development of inorganic materials based on sol-gel technology, their use in chemical sensors, and preparation of optical sensors for selective detection of NH_3 and SO_2 gas.

The object of research. The object of the dissertation is to obtain sol-gel materials, atmospheric air of industrial enterprises, and standard gas mixtures.

The scientific novelty of the research is as follows:

a layer containing BKQ@TEOS was formed, which detects NH_3 gas from the composition of multi-component gas mixtures to microconcentrations. Also, to detect SO_2 gas down to microconcentrations, a BTK@TEOS layer was formed and optical sensors were created based on these layers;

The effects of acidic (CO_2 , etc.) and basic (amines) gases on optical sensors detecting SO_2 and NH_3 gas have been determined;

the influence of various factors on the metrological and operational parameters of the gas-sensitive material, which detects the concentration of SO_2 and NH_3 gas in a wide range using different indicators was determined;

compositions of the chemically sensitive layer of sensors for ammonia and sulfur dioxide were optimized and "smart" membranes with specified properties for chemical sensors were obtained.

Implementation of research results. Based on the scientific results obtained on the development of the scientific and technological basis of the operation process of the sensors that detect sulfur dioxide and ammonia gases developed based on sol-gel technology:

the sensor for detecting sulfur dioxide gas was put into practice at "Elkimyo-agrokhimoy" LLC under the joint-stock company "Elektrokimyozavod" ("Elkimyo-agrokhimoya JSC reference No. 159 dated June 26, 2022). As a result, the developed optical sensor made it possible to detect SO_2 gas in factory waste;

the sensor for detecting sulfur dioxide gas was put into practice during monitoring of SO_2 at "Elkimyo-agrokhimoya" LLC under the "Elektrokimyozavod" joint-stock company ("Elkimyo-agrokhimoya JSC reference No. 159 dated June 26, 2022). As a result, it was possible to monitor SO_2 generated during the production process.

The structure and scope of the dissertation. The content of the dissertation consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of used literature, and appendices. The main volume of the dissertation is 100 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть, part I)

1. M.N.Isaqulova, A.M.Nasimov, A.O.Buronov, X.Sh.Tashpulatov, G'.Sh.Haydarov. Optical sensor preparation using the sol-gel technology for dissolved ammonia detection //Journal of Critical Reviews. – 2020. – V. 7. – №. 6. – P. 104-106 (Scopus).
2. M.N.Isaqulova, X.Sh.Tashpulatov, Sh.E.Mirzayev D.Toshpulatov, A.M.Nasimov. Development of Bromocresol Purple Immobilized Optical Sensor for the Determination of Dissolved Ammonia //Egyptian Journal of Chemistry. – 2023. – V. 66. – №. 10. – P. 119-124. (Scopus Q3).
3. M.N.Isaqulova, A.O.Buranov, A.M.Nasimov, X.Sh.Tashpulatov, Sh.E.Mirzayev, N.Mo'minov, T.Kushatov. Kremniy prekursor asosida olib borilgan zol-gel jarayoniga erituvchi ta'siri // SamDU Ilmiy axborotnomasi 2019-yil 3-son ISSN 2091-5446 22-26-betlar (02.00.00; №9)
4. M.N.Isaqulova, Sh.E.Mirzayev, A.O.Buronov, Sh.Begimkulova, Q.O.Zohidov, A.M.Nasimov, G'.Sh.Haydarov. Optik kimyoviy sensorlar xossalariga zol-gel jarayonida qo'llanilgan katalizator tabiatining ta'siri //SamDU Ilmiy axborotnomasi 2019-yil 5-son ISSN 2091-5446 105-109-betlar (02.00.00; №9)
5. M.N.Isaqulova, X.Tashpulatov, D.Tashpulatov, J.Xursandov, A.Nasimov, G.Eshmurodova. Optical determination of gaseous ammonia concentration using the diffuse reflectance spectroscopy //Universum: chemistry and biology.– 2024. – V. 2. – №. 2 (116). – P. 32-35. (02.00.00; №2)

II bo'lim (II часть, part II)

6. M.N.Isaqulova, A.O.Buronov, Sh.E.Mirzayev, A.M.Nasimov, Kh.Sh.Tashpulatov Development and study of optical sensor for ammonia solution.//Generating knowledge through research Eurasian conference, April 4, 2019. Jawa Timur 61215, Indonesia pp. 239-243
7. M.N.Isaqulova, X.Sh.Tashpulatov, A.M.Nasimov, D.T.Toshpulatov Zol-gel usulida tayyorlangan ormosil membranalarga biriktirilgan indikatorning xossalarini o'rganish //XXI asr – intellektual yoshlar asri mavzusidagi Respublika ilmiy va ilmiy-nazariy anjuman. Toshkent – 2020. 18-19-b
8. M.N.Isaqulova, X.Sh.Tashpulatov, D.T.Toshpulatov. Zol-gel texnologiyasi asosida gazlarni aniqlovchi sensorlar uchun indikatorlar tanlash //Инновационное развитие науки и образования. Международная научно-практическая конференция. Казахстан 2020. 37-39-ст.
9. M.N.Isaqulova, A.M.Nasimov, Sh.E.Mirzaev, A.O.Buronov, X.Sh.Tashpulatov. Zol-gel jarayoni asosida turli xil gazlarni aniqlovchi optik

sensorlar yaratish.//“Neft-gaz kimyosida innovasiyalar, zamonaviy energetika va ularning muammolari” Xalqaro konferensiya materiallari 2020-yil. 690-692-betlar

10. M.N.Isaqulova, X.M.Nasimov, R.A.Samiev. Development of inorganic materials based on the sol-gel technology // SamDU ilmiy axborotnomasi maxsus soni 2021. №ISSN 2091-5446. 63-65-б. (02.00.00; №9)

11. M.N.Isaqulova, X.Sh.Tashpulatov, A.M.Nasimov, G.M.Abilkosimova. Zol International scientific conference «global science and innovations – gel usulida tayyorlangan ORMOSIL membranalarining optik xossalarini o‘rganish. // 2019: Central Asia» Nur-Sultan, Kazakhstan, may 2019 ISBN 978-601-341-186-6. 346-347-betlar

12. M.N.Isaqulova, A.M.Nasimov, A.O.Buronov, Sh.E.Mirzayev, D.T.Toshpulatov Zol-gel usulida eritma pH ni keng sohada aniqlovchi optik sensor ishlab chiqish // XXI– asr analitik kimyosi: muammolari va rivojlanish istiqbollari ilmiy-amaliy anjumani materiallari 2018-yil, 10-dekabr 48-49-betlar

13. M.N.Isaqulova, Sh.E.Mirzayev, A.M.Nasimov, X.Sh.Tashpulatov, N.Tojiboyev. Zol-gel usulida ormosil alkoksidlardan foydalanib zaharli gazlarni sezuvchi «smart» materiallar olish // « Oziq-ovqat, neftgaz va kimyo sanoatini rivojlantirishning dolzarb muammolarini yechishning innovatsion yo‘llari» Xalqaro konferensiya materiallari 1-tom. Buxoro 2020, 493-496-betlar

14. M.N.Isaqulova, A.M.Nasimov, X.Sh.Tashpulatov, Sh.E.Mirzayev, N.Tojiboyev. Zol-gel texnologiyasi asosida zaharli gazlarni aniqlovchi optik sensorlar yaratish //“Qoraqalpog‘iston respublikasida kimyo va kimyo texnologiya sohalari rivojining dolzarb masalalari” mavzusidagi ilmiy-amaliy konferensiya materiallar to‘plami. Nukus 2021-yil 24-mart. 31-32-betlar

Avtoreferat Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti “Ilmiy axborotnoma”
jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlari o‘zaro
muvofiglashtirildi (20.01.2024 yil).

Bosmaxona tasdiqnomasi:



4268

2024-yil 2-mayda bosishga ruxsat etildi:
Ofset bosma qog‘ozi. Qog‘oz bichimi 60x84_{1/16}.
“Times” garniturasini. Raqamli bosma usuli.
Hisob-nashriyot t.: 2,7. Shartli b.t. 2,0.
Adadi 100 nusxa. Buyurtma №02/05.

SamDCHTI tahrir-nashriyot bo‘limida chop etildi.
Manzil: Samarqand sh., Bo‘stonsaroy ko‘chasi, 93-uy.