PIEZOELEKTRIKLARNING KOMPOZIT MATERIALLAR OLISHDAGI O‘RNI.

Ergasheva Muqaddasxon Abdumajitovna

Namangan davlat universiteti Fizika kafedrasi dotsenti

Meliboyev Bositxon Vohid o‘g‘li

Namangan davlat universiteti kimyo kafedrasi talabasi

E-mail: bositxonmeliboyev20@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada piezoelektrik materiallarning kompozit materiallar yaratishdagi ahamiyati, ularning fizik xususiyatlari va zamonaviy texnologiyalarda qo‘llanilish istiqbollari yoritilgan. Piezoelektrik materiallarning mexanik ta’sir natijasida elektr zaryadi hosil qilish xususiyati hamda ushbu xususiyatdan funksional kompozit materiallar ishlab chiqishda foydalanish imkoniyatlari tahlil qilingan. Shuningdek, qo‘rg‘oshin sirkonat-titanat (PZT), rux oksidi (ZnO) va polivinilidenftorid (PVDF) kabi materiallarning kompozit tizimlardagi o‘rni ko‘rib chiqilgan. Piezoelektrik komponentlarni polimer matritsalar bilan birlashtirish orqali mexanik egiluvchanlik, elektr javob va funksional imkoniyatlarni uyg‘unlashtirish mumkinligi bayon etilgan. Bunday kompozit materiallarning sensorlar, energiya yig‘uvchi qurilmalar, moslashuvchan elektronika va o‘zini energiya bilan ta’minlaydigan tizimlarni yaratishdagi ahamiyati asoslab berilgan. Maqola natijalari piezoelektrik kompozit materiallarni rivojlantirishning istiqbolli yo‘nalishlarini tushunishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: piezoelektrik materiallar, kompozit materiallar, piezoelektrik effekt, PZT, rux oksidi, PVDF, polimer matritsa, nanokompozit, energiya yig‘ish, sensor, moslashuvchan elektronika.

РОЛЬ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКОВ В ПОЛУЧЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Эргашева Мукаддасхон Абдумаджитовна
доцент кафедры физики Наманганского государственного университета.
Мелибоев Боситхон Вохид угли
студент кафедры химии Наманганского государственного университета.

Аннотация: В статье рассматриваются значение пьезоэлектрических материалов в создании композиционных материалов, их физические свойства и перспективы применения в современных технологиях. Анализируется способность пьезоэлектрических материалов генерировать электрический заряд под воздействием механических нагрузок, а также возможности использования данного свойства при разработке функциональных композитов. Особое внимание уделяется таким материалам, как цирконат-титанат свинца (PZT), оксид цинка (ZnO) и поливинилиденфторид (PVDF), и их роли в составе композитных систем. Рассматриваются возможности сочетания пьезоэлектрических компонентов с полимерными матрицами для достижения требуемых механических, электрических и функциональных характеристик. Обсуждается применение таких композитов при разработке датчиков, устройств сбора энергии, гибкой электроники и автономных систем электропитания. Материал статьи способствует пониманию перспективных направлений развития пьезоэлектрических композиционных материалов.

Ключевые слова: пьезоэлектрические материалы, композиционные материалы, пьезоэлектрический эффект, PZT, оксид цинка, PVDF, полимерная матрица, нанокомпозит, сбор энергии, датчик, гибкая электроника.

THE ROLE OF PIEZOELECTRICS IN THE PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS.

Ergasheva Muqaddaskhon Abdumajitovna
Associate Professor of the Department of Physics
Namangan State University.

Meliboyev Bositkhon Vohid ugli
Student of the Department of Chemistry
Namangan State University.

Abstract. This article examines the importance of piezoelectric materials in composite material development, their physical properties, and their potential applications in modern technologies. It discusses the ability of piezoelectric materials to generate an electrical charge under mechanical stress and explores how this property can be utilized in the design of functional composites. Particular attention is given to lead zirconate titanate (PZT), zinc oxide (ZnO), and polyvinylidene fluoride (PVDF), focusing on their roles in composite systems. The article describes how combining piezoelectric components with polymer matrices can help integrate mechanical flexibility, electrical response, and functional performance. The potential applications of these composites in sensors, energy-harvesting devices, flexible electronics, and self-powered systems are also discussed. The article provides an overview of promising directions for the development of piezoelectric composite materials.

Keywords: piezoelectric materials, composite materials, piezoelectric effect, PZT, zinc oxide, PVDF, polymer matrix, nanocomposite, energy harvesting, sensor, flexible electronics.

KIRISH

Hozirgi kunda fan va texnologiyalarning jadal rivojlanishi yangi funksional materiallarni yaratish, ularning fizik xususiyatlarini takomillashtirish hamda turli texnologik jarayonlarda samarali foydalanishga bo‘lgan ehtiyojni oshirmoqda. Ayniqsa, elektronika, energetika, sensor texnologiyalari, robototexnika va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarida mexanik ta’sirni elektr signaliga aylantira oladigan materiallar muhim ahamiyat kasb etmoqda. Shu nuqtayi nazardan, piezoelektrik materiallar va ular asosida olinadigan kompozit tizimlarni o‘rganish zamonaviy materialshunoslikning dolzarb yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi [6,8]. Piezoelektrik effekt ayrim materiallarda mexanik kuchlanish yoki deformatsiya ta’sirida elektr zaryadining hosil bo‘lishi bilan

tavsiflanadi. Ushbu hodisaning teskari jarayonida esa elektr maydoni ta’sirida materialning mexanik deformatsiyasi yuzaga kelishi mumkin. Mazkur xususiyatlar piezoelektrik materiallardan bosim va tebranish sensorlari, ultratovush o‘zgartkichlari, aktuatorlar hamda mexanik energiyani elektr energiyasiga aylantiruvchi qurilmalar yaratishda foydalanish imkonini beradi [6,7]. Biroq alohida piezoelektrik materiallar har doim ham muayyan amaliy vazifa uchun zarur bo‘lgan barcha xususiyatlarni birgalikda ta’minlay olmaydi. Masalan, ayrim keramik piezoelektrik materiallar yuqori elektromexanik xususiyatlarga ega bo‘lsa-da, mo‘rtligi va egiluvchanligining cheklanganligi bilan ajralib turadi. Polimer materiallar esa yengilligi, egiluvchanligi va qayta ishlash qulayligi bilan ahamiyatlidir. Shu sababli turli materiallarning afzalliklarini birlashtirish maqsadida kompozit materiallardan foydalanish muhim ilmiy-amaliy yo‘nalishga aylangan [1.2.6].

ADABIYOTLAR TAHLILI

O‘zbek tilidagi adabiyotlarda kompozit materiallarning tarkibi, tuzilishi, fizik xususiyatlari va amaliy qo‘llanilishiga alohida e’tibor qaratilgan. A.V. Umarov va hammualliflarning Polimerli kompozit materiallar fizikasi nomli o‘quv qo‘llanmasi polimer asosidagi kompozitlarning fizik xususiyatlarini o‘rganish uchun nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi [1]. Ushbu yo‘nalishdagi adabiyotlar kompozit materiallarning xossalari ularning tarkibi, komponentlar o‘rtasidagi o‘zaro ta’sir va ichki tuzilishga bog‘liqligini tushunishga yordam beradi. Zamonaviy kompozitsion materiallar texnologiyasi kabi o‘quv manbalarida esa kompozitlarni ishlab chiqish va ularning xususiyatlarini shakllantirish bilan bog‘liq masalalar ko‘rib chiqiladi [2]. Bunday bilimlar piezoelektrik faol komponentlarni polimer matritsaga kiritishning nazariy asoslarini yoritishda muhim ahamiyatga ega.

Xorijiy adabiyotlarda piezoelektrik materiallarning fizik xususiyatlari, elektromexanik o‘zaro ta’siri va o‘zgartkichlarda qo‘llanilishi batafsil yoritilgan. A.Safari va E.K. Akdoğan tahriri ostidagi Piezoelectric and Acoustic Materials for Transducer Applications asarida piezoelektrik va akustik materiallarning o‘zgartkichlar yaratishdagi xususiyatlari hamda qo‘llanilish masalalari ko‘rib chiqilgan [6]. Ushbu manba piezoelektrik materiallarning mexanik va elektr xususiyatlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni

hamda ularning qurilmalardagi funksional vazifalarini tushunishda muhimdir. C.R.Bowen va A.R.Plummerning piezoelektrik materiallar xossalari va qo‘llanilishiga oid asarida ushbu materiallarning fizik asoslari, texnik imkoniyatlari va qurilmalardagi qo‘llanilishi yoritilgan [8]. Ushbu ma’lumotlar piezoelektrik kompozitlarning sensorlar, aktuatorlar va mexanik energiyani elektr energiyasiga aylantirish tizimlaridagi o‘rnini tahlil qilish uchun nazariy asos yaratadi. Umuman olganda, ko‘rib chiqilgan manbalar piezoelektrik materiallarning kompozit tizimlarni yaratishdagi ahamiyatini nazariy jihatdan asoslashga imkon beradi. Mazkur maqolada ushbu yondashuv asosida piezoelektrik materiallarning asosiy xususiyatlari, ularni polimer matritsalar bilan birlashtirish imkoniyatlari va kompozitlarning sensorlar hamda energiya yig‘uvchi qurilmalardagi istiqbollari tahlil qilinadi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Ushbu tadqiqotning metodologik asosini piezoelektrik materiallar, kompozit tizimlar va polimer matritsalarning fizik xususiyatlariga oid ilmiy adabiyotlarni o‘rganish, tahlil qilish va taqqoslash tashkil etadi. Tadqiqot piezoelektrik materiallarning kompozit materiallar yaratishdagi ahamiyatini aniqlash, ularning asosiy xususiyatlarini tavsiflash hamda zamonaviy texnologiyalarda qo‘llanilish istiqbollarini baholashga qaratilgan. Shu maqsadda materialshunoslik, qattiq jismlar fizikasi, polimerlar fizikasi va piezoelektrik texnologiyalar bo‘yicha nazariy ma’lumotlardan foydalanildi [1,2,6,8].

Tadqiqotning birinchi bosqichida kompozit materiallar va piezoelektrik effektning nazariy asoslari o‘rganildi. Ushbu bosqichda to‘g‘ri va teskari piezoelektrik effektlarning fizik mohiyati, mexanik ta’sir bilan elektr javob o‘rtasidagi bog‘liqlik hamda piezoelektrik materiallarning asosiy xususiyatlari tahlil qilindi. Shuningdek, kompozit materiallarning tarkibiy qismlari va matritsa bilan faol komponent o‘rtasidagi o‘zaro ta’sirning material xususiyatlariga ta’siri ko‘rib chiqildi [6.7.8].

Ikkinchi bosqichda piezoelektrik kompozitlar tarkibida foydalanish mumkin bo‘lgan materiallarning xususiyatlari qiyosiy tahlil qilindi. Jumladan, qo‘rg‘oshin sirkonat-titanat (PZT), rux oksidi (ZnO) va polivinilidenftorid (PVDF) materiallariga e’tibor qaratildi. PZT yuqori piezoelektrik faollikka ega bo‘lgan keramik material sifatida, ZnO piezoelektrik va

yarimo‘tkazgich xususiyatlariga ega noorganik material sifatida, PVDF esa egiluvchan polimer sifatida ko‘rib chiqildi. Ushbu materiallarni o‘zaro taqqoslashda ularning fizik xususiyatlari, kompozit tarkibidagi funksional vazifalari va ehtimoliy qo‘llanilish sohalari asosiy mezon sifatida belgilandi [6.7.8].

Uchinchi bosqichda piezoelektrik faol komponentlarni polimer matritsalar bilan birlashtirishning nazariy imkoniyatlari o‘rganildi. Bunda kompozitning umumiy xususiyatlari nafaqat faol komponentning turiga, balki uning matritsadagi miqdori va taqsimlanishiga, zarrachalar o‘lchamiga, komponentlar orasidagi bog‘lanishga hamda materialni tayyorlash texnologiyasiga bog‘liq ekaniga e’tibor qaratildi. Polimer matritsaning egiluvchanlik, yengillik va qayta ishlash qulayligi kabi xususiyatlari piezoelektrik komponentlarning funksional imkoniyatlari bilan birgalikda tahlil qilindi [1.2.7].

Material	**Asosiy xususiyati**	**Afzalligi**	**Cheklovi**	**Ehtimoliy qo‘llanilishi**
PZT — qo‘rg‘oshin sirkonat-titanat	Piezoelektrik xususiyati yuqori bo‘lgan keramika	Yuqori elektromexanik javob olish imkoniyati	Mo‘rtligi va tarkibida qo‘rg‘oshin mavjudligi	Sensorlar, aktuatorlar, ultratovush o‘zgartkichlari
ZnO — rux oksidi	Piezoelektrik va yarimo‘tkazgich xususiyatlariga ega noorganik material	Yupqa qatlamlar va nanostrukturalar shaklida qo‘llash imkoniyati	Xususiyatlari tuzilish va tayyorlash sharoitlariga bog‘liq	Nanoo‘lchamli sensorlar, energiya yig‘uvchi qurilmalar

PVDF — polivinilidenftorid	Piezoelektrik xususiyat namoyon qilishi mumkin bo‘lgan polimer	Yengillik, egiluvchanlik va yupqa plyonka shaklida tayyorlash imkoniyati	Piezoelektrik javobi polimerning fazaviy tuzilishi va ishlov berish usuliga bog‘liq	Egiluvchan sensorlar, kiyiladigan elektronika, polimer kompozitlar

NATIJALAR VA ULARNING TAHLILI

Piezoelektrik materiallar va kompozit tizimlarga oid ilmiy adabiyotlar tahlili ularning fizik xususiyatlari, tarkibiy qismlari va amaliy qo‘llanilish imkoniyatlari o‘rtasida muhim bog‘liqlik mavjudligini ko‘rsatadi. Piezoelektrik kompozitlarni yaratishda asosiy maqsad faol komponentning elektromexanik xususiyatlarini saqlab qolish yoki yaxshilash bilan birga, materialning mexanik egiluvchanligi, yengilligi va foydalanish qulayligini ta’minlashdan iborat. Bunday yondashuv sensorlar, aktuatorlar va mexanik energiyani elektr energiyasiga aylantiruvchi qurilmalarni ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega [6.7.8].

1-jadval. Piezoelektrik kompozitlarda qo‘llaniladigan materiallarning qiyosiy tavsifi

Jadvaldan ko‘rinadiki, PZT, ZnO va PVDF turli xususiyatlari bilan bir-biridan farq qiladi. PZT yuqori piezoelektrik javob talab qilinadigan qurilmalarda muhim material hisoblanadi. Biroq uning keramik tuzilishi egiluvchanlik talab qilinadigan ayrim qo‘llanilish sohalarida cheklov tug‘dirishi mumkin. PVDF esa yengil va egiluvchan polimer bo‘lgani sababli deformatsiyalanadigan sirtlar va kiyiladigan qurilmalar uchun istiqbolli hisoblanadi.

Umuman olganda, adabiyotlar tahlili piezoelektrik materiallarni kompozit tarkibida qo‘llash turli funksional xususiyatlarni birlashtirish imkonini berishini ko‘rsatadi. PZT, ZnO va PVDF asosidagi tizimlar sensorlar, moslashuvchan elektronika va energiya

yig‘uvchi qurilmalarni yaratish uchun istiqbolli yo‘nalishlar hisoblanadi. Biroq mazkur maqoladagi natijalar nazariy manbalarni taqqoslash va umumlashtirishga asoslangan bo‘lib, yangi eksperimental natijalar sifatida talqin qilinmasligi lozim.

XULOSA

O‘tkazilgan nazariy tahlil natijasida piezoelektrik materiallar zamonaviy kompozit materiallar yaratishda muhim ahamiyatga ega ekanligi aniqlandi. Ularning mexanik ta’sir natijasida elektr zaryadi hosil qilish xususiyati sensorlar, aktuatorlar, energiya yig‘uvchi qurilmalar va moslashuvchan elektronika tizimlarini ishlab chiqish uchun keng imkoniyatlar yaratadi. Piezoelektrik komponentlarni polimer matritsalar bilan birlashtirish orqali materiallarning funksional xususiyatlarini, jumladan, mexanik egiluvchanligi, yengilligi va amaliy foydalanish imkoniyatlarini uyg‘unlashtirish mumkin.

PZT, ZnO va PVDF materiallarining qiyosiy tahlili ularning har biri muayyan texnologik vazifalar uchun o‘ziga xos afzalliklarga ega ekanligini ko‘rsatdi. PZT yuqori piezoelektrik javob talab qilinadigan qurilmalarda, PVDF egiluvchan va yengil sensorlar yaratishda, ZnO esa nanostrukturali materiallar va funksional elektron qurilmalarni ishlab chiqishda istiqbolli komponentlar hisoblanadi. Biroq ularning samaradorligi material tarkibi, strukturasi, tayyorlash texnologiyasi va foydalanish sharoitlariga bog‘liq.

Umuman olganda, piezoelektrik materiallarni kompozit tizimlarda qo‘llash turli fizik va mexanik xususiyatlarni bir materialda uyg‘unlashtirish imkonini beradi. Mazkur yo‘nalishning keyingi rivoji materiallar tarkibini optimallashtirish, ekologik xavfsiz komponentlardan foydalanish hamda amaliy qurilmalarning samaradorligini tajribalar orqali tasdiqlash bilan chambarchas bog‘liq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

[1]. Umarov A.V., Muxamedov G.I., Quchqarov X.O. Polimerli kompozit materiallar fizikasi. O‘quv qo‘llanma. 287 b.

[2]. Axmedov S.I., Majidov S.R. Zamonaviy kompozitsion materiallar texnologiyasi. O‘quv qo‘llanma. Toshkent, 2022.

[3]. Orazimbetova G.J., Turdialiyev U.M., Ataxonova S.K. Kompozitsion materiallar. O‘quv adabiyoti.

[4]. Aripova M.X., Babaxanova Z.A., Mukhamedbayeva Z.A. Kompozitsion materiallar. O‘quv qo‘llanma.

[5]. Abdullayev L.A., Yusupov D.D. Polietilen asosli polimer kompozit materiallar va ularning elektr o‘tkazuvchanlik xossalari. Buxoro davlat universiteti ilmiy axboroti. 2025.

[6]. Safari A., Akdoğan E.K. (eds.). Piezoelectric and Acoustic Materials for Transducer Applications. Springer, 2008. 482 p.

[7]. Uchino K. Piezoelectric Composite Materials. In: Advanced Piezoelectric Materials: Science and Technology. Woodhead Publishing, 2010. P. 318–346.

[8]. Bowen C.R., Plummer A.R. Piezoelectric Materials: Properties, Applications and Devices. Wiley, 2025.

[9]. Справочник по композиционным материалам: в 2 книгах / под ред. Д.Л. Любани; пер. с англ. М.: Машиностроение, 1988.

[10]. Камолов Ш.М, Ахмедов А.Ш. Электротехнические материалы. Тошкент: Ўқитувчи, 1994.