

## XARİCİ ELEKTROMAQNİT SAHƏLƏRİNDƏ METALLARIN VƏ YARIMKEÇİRİCİLƏRİN SƏTHİNDƏ pH-HƏSSAS POLİELEKTROLİT TƏBƏQƏLƏRİNİN FİZİKİ-KİMYƏVİ XASSƏLƏRİNİN TƏDQIQI

TƏRANƏ FİRQƏT qızı YUSİBOVA,  
RAYİHƏ ŞƏMSƏDDİN qızı AĞAYEVA,  
AYGÜN AYDIN qızı ORUCOVA  
*Mingəçevir Dövlət Universiteti*  
AZ4500, Mingəçevir, Dilarə Əliyeva küç. 21  
tarana.yusibova@mail.ru

Xarici elektromaqnit sahələrinin köməyi ilə nanosistemlərin idarə edilməsi onların xassələrinin uzaqdan dəyişdirilməsi imkanlarına görə maraq doğurur. Sulu məhlullarda yerli şüalanma zamanı yarımkeçiricilərin səthində pH qradientinin yaranmasının bu yaxınlarda göstərilən təsiri yarımkeçirici substratlardan və pH-həssas təbəqələrdən (məsələn, polielektrolitlərdən) ibarət olan işığa həssas strukturlarda yarımkeçirici/məhlul interfeysində pH-nın dəyişməsi işıqla aktivləşdirilir ki, bu da yarımkeçirici səthdə pH-həssas təbəqələri müxtəlif vəziyyətlərə keçirməyə imkan verir [1].

**Açar sözlər:** fotoelektrodların elektro və fotoelektrokimyəvi aktivlik, pH-həssas təbəqələr, yarımkeçiricilərin fotokorroziya, nanoaktuator.

İşığın bir stimula kimi istifadəsi materialın yüksək reaksiya sürətini təmin edir, məruz qalma parametrləri geniş diapazonda dəyişdirilə bilər (məsələn, radiasiyanın intensivliyi və dalğa uzunluğu) və işığın yaratdığı pH gradientlərinin istifadəsi bunu mümkün edir. İşığa həssas materialların sinfini genişləndirmək üçün onların funksional reaksiyasına səbəb olan uzaqdan təsir edə bilər. Bundan əlavə, sulu məhlullarda elektrodların qütbləşməsi nəticəsində yaranan elektrokimyəvi proton qradienti də maraq doğurur, bu halda cərəyanın böyüklüyünü tənzimləməklə yaranan qradientin böyüklüyünə nəzarət etmək olar. Elektrodların səthində pH-həssas təbəqələrin keçidinin öyrənilməsi həm özlüyündə, həm də şüalanma zamanı yarımkeçirici substratlarda baş verən proseslərin modeli kimi maraq doğurur. pH-ə həssas bir komponent olaraq, polielektrolitlər istifadə edilə bilər - protonlaşdırıla / deprotonlaşdırıla bilən yüklü qrupları daşıyan polimer molekulları. Çox sayda biomolekul da pH-həssas (lipidlər, peptidlər) kimi təsnif edilə bilər.

Xarici elektromaqnit sahələrinə məruz qaldıqda baş verən pH qradientlərində polielektrolit təbəqələrində proseslərin qanunauyğunluqlarını müəyyən etmək imkan verir. pH-həssas təbəqələrin morfolojiyasına və xassələrinə nəzarət etmək üçün işlənmiş yanasmalar artıq toxuma mühəndisliyində və adaptiv örtüklərin yaradılmasında, həmçinin materialların korroziya və fotokorroziyadan qorunmasında istifadə olunur.

Bu məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı vəzifələri həll etmək olar:

1) Ultrabənövşəyi ( $\text{TiO}_2$ ) və görünən (GaP) işığa həssas metal elektrodların və yarımkeçirici fotoelektrodların səthində poliiyon birləşmələrin onların elektrokimyəvi və fotoelektrokimyəvi aktivliyinə və səthdə gedən proseslərin termodinamik xüsusiyyətlərinə təsirini öyrənmək.

2) Müxtəlif həndəsəli elektrik sahələrində elektrokimyəvi yolla və müxtəlif dalğa uzunluqlu şüalanmanın təsiri altında fotoelektrokimyəvi yolla yaradılmış proton qradientlərinin yayılmasına nəzarət etmək

yollarını müəyyən etmək, xarici sahələrin təsiri altında interfeyslərdə məhlullarda proton qradientlərinin qanunauyğunluqlarının əmələ gəlməsi imkanlarını araşdırmaq.

3) Protonasiya zamanı interfeyslərdə polielektrolitlərin və zwitterion lipidlərinin pH-həssas təbəqələrinin fiziki-kimyəvi xassələrində baş verən dəyişiklikləri xarakterizə etmək.

Yarımkeçiricilərin fotokorroziyadan qorunması vasitəsi kimi pH-bufer xüsusiyyətlərinə malik polielektrolitlərin birləşmələrinin effektivliyi göstərilir.

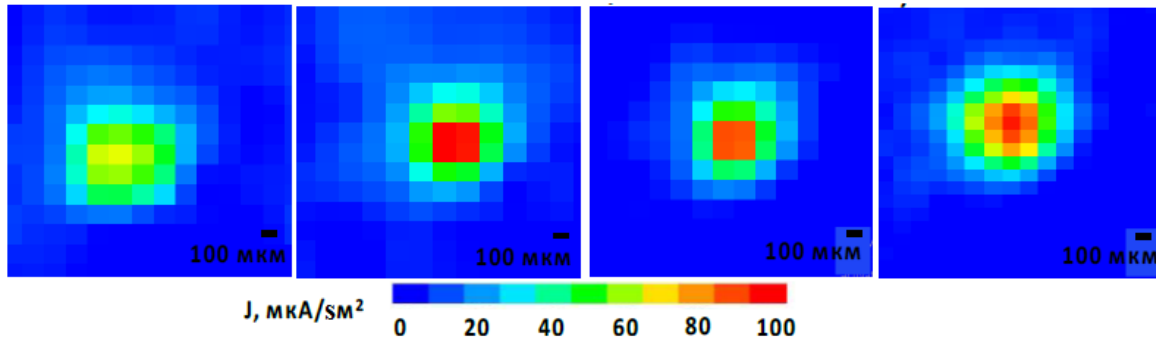
Yarımkeçirici materialların şüalanması nəticəsində yaranan proton qradientlərinə həssas adaptiv biointerfeyslərin yaradılması üsulları təklif edilmişdir. pH-həssas polielektrolit təbəqələrinin səthində böyüyən bakterial bioplyonkaların protonlaşma dərəcəsinə dəyişdirməklə onların böyüməsinə nəzarət etmək imkanları da sistemli şəkildə tədqiq edilmişdir. Nəticələri proqramlaşdırıla bilən işığa həssaslıq yaratmaq üçün qabaqcıl texnologiyalar və innovativ üsullar üçün platforma hazırlamaq üçün istifadə edilə bilər: 5 nanoaktuator, qiymətli fotovoltaj və günəş enerjisi materialları üçün korroziyaya qarşı örtüklər, biofilmin böyüməsinin proqramlaşdırılması.

Poliion birləşmələri xarici elektromaqnit sahələrinin təsiri altında elektrodların və fotoelektrodların səthində gedən proseslərin xüsusiyyətlərinə təsir göstərə bilər və arxitekturdan asılı olaraq elektrod və fotoelektrod aktivliyini həm zəiflədə, həm də gücləndirə bilər. Sulu məhlullarda xarici elektromaqnit sahəsinə (şüalanma) məruz qaldıqda meydana gələn pH qradientlərindən istifadə edərək fotoaktiv  $\text{TiO}_2$  substratında lipid membranı və polielektrolit təbəqələri arasında elektrostatik qarşılıqlı təsirin gücünün tənzimlənməsi adsorbsiya proseslərinə nəzarət etməyə imkan verir. Fotoelektrod və məhlul arasındakı interfeysi təmin edir və lipid təbəqəsini substratdan geri desorbsiya edir və sorbsiya zamanı məhluldakı maddələri lipid təbəqəsi altında əhatə edir. Kompozisiyanın pH-bufer xassələri olan polielektrolitlərdən yığılması GaP fotokorroziyasına

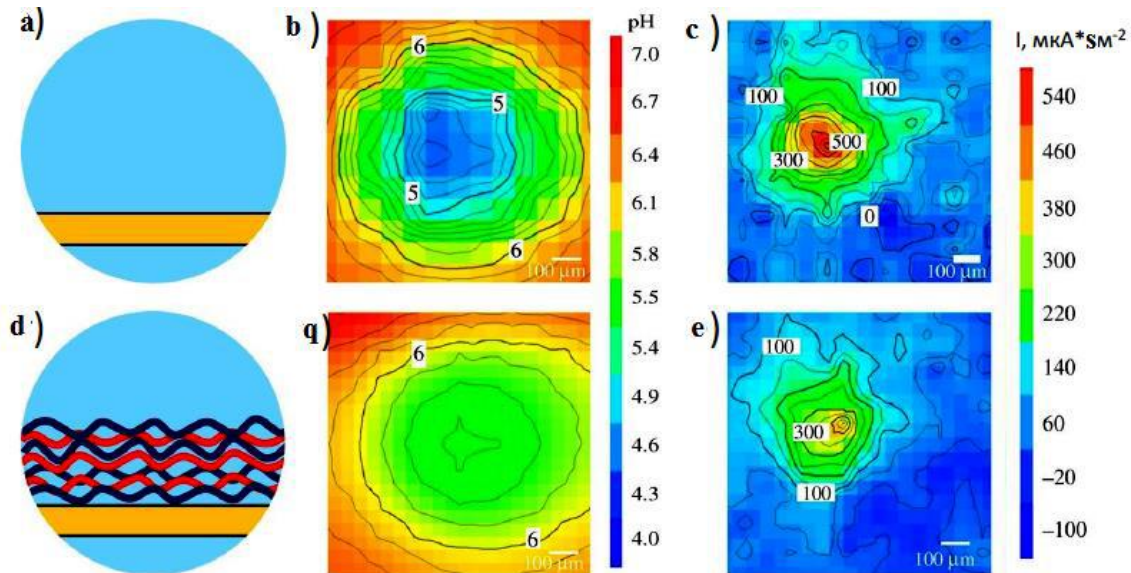
manəə törədir və sabit yüksək fotocərəyan sıxlığını saxlamaqla, materialın həll olunmasının və təbəqələrinin tətbiqi örtülməmiş fotoelektrod dörd saat ərzində işıqlandırıldıqda cərəyan sıxlığının beş dəfə azalmasının qarşısını alır. Elektrik və fotoelektrokimyəvi prosesləri, ionların spesifik fəza paylanmasını Şennonun entropiyası nöqtəyi-nəzərindən xarakterizə etmək olar. Foto cərəyanın fotoelektrokimyəvi keçidinin təsiri dəyişdirilməmiş anodlaşdırılmış nanostrukturulu TiO<sub>2</sub>-də titan substratda həyata keçirilə bilər və "və ya" və "eksklüziv və ya" məntiqinə uyğun olaraq məntiqi hesablamaların aparılmasında istifadə edilə bilər. pH-a həssas təbəqələrin yükü onların səthində biofilmlərinin böyüməsinin əsas determinantıdır. Polielektrolit örtüyünün növündən və onun protonasiya dərəcəsiindən asılı olaraq, biofilminin artımı və biokütlə istehsalı müxtəlif dərəcələrdə manəə törədilir ki, bu da biofilmin fenotipinə nəzarət etməyə imkan verir. Bütün nümunələrin skan edən titrəmə elektrodu və skan edən ion seçici elektrod

üsulları ilə öyrənilməsindən, bütün elektrokimyəvi üsullarla xarakterizə edilməsindən ibarətdir [4].

İstifadə olunan materiallar, maddələr, avadanlıq və tədqiqat üsulları təsvir olunur. Biz "qızıl-su məhlulu", "platin-su məhlulu", "TiO<sub>2</sub>-su məhlulu" və "GaP-su məhlulu" interfeyslərində elektro- və fotoelektrokimyəvi prosesləri tədqiq edilir. Elektrodların və fotoelektrodların səthləri təbii və sintetik polielektrolitlər və lipidlər təbəqələri ilə örtülmüşdür. İnterfeyslərin xassələri skan edən elektron mikroskopiyaya (SEM) və atom qüvvəsi üsulları ilə öyrənilmişdir. Mikroskopiyaya, pyezokristal mikrobəlas, damcı formalı analizatorundan istifadə etməklə. Tədqiq olunan prosesləri təsvir etmək üçün klassik elektrokimyəvi üsullar toplusundan istifadə edilmişdir. Yerli elektrokimyəvi ölçmələr üçün biz mikroelektrod aşkarlama üsullarından istifadə etdik - skan edən vibrasiya elektrodu və skan edən ion seçici elektrod.



Şəkil 1. Müsbət qütbləmiş (+90 nA) səthindən yuxarı olan 0,5 M NaCl məhlulunda ion cərəyanları a) Pt elektrod, b) Polietilenimin polikatasiyası (PE) təbəqəsi ilə örtülmüş Pt-elektrod, c) İki qat polielektrolitlə örtülmüş Pt-elektrod - polikation PE və polianion PS, d) Üç qat polielektrolit ilə örtülmüş Pt-elektrod - PE/PS/PE [2].



Şəkil 2. Elektrod səthinin sxematik təsviri, 150 mM hidrokinnonun 60 mM məhluluna batırılmış elektrodun 15 dəqiqə ərzində 5  $\mu$ A cərəyan keçirdikdən sonra ölçülən pH xəritəsi [3].

Təcrübələr üçün vibrasiya zond kimi təcrid olunmuş Pt-Ir mikrozondu istifadə edilmişdir. Cihaz bir-birindən  $\Delta r$  məsafədə yerləşən iki nöqtə arasında  $\Delta V$  potensial fərqi ölçdü - zond vibrasiyasının həddindən

artıq nöqtələri. Məlumatlar məhlulun keçiriciliyini ion cərəyanlarının dəyərlərinə nəzərə alaraq yenidən hesablanmışdır. Ölçmələri maye proton-selektiv membranla doldurulmuş diametri 2  $\mu$ m olan şüşə kapilyar

mikroelektrodlardan istifadə etməklə aparılmışdır. “Polielektrolit təbəqələrinin foto və elektrokimyəvi aktivliyə təsiri” adlı üçüncü fəsildə qütbləşmə zamanı qızıl və platin mikroelektrodlarında və şüalanma zamanı TiO<sub>2</sub> fotoelektrodlarında baş verən proseslər, polielektrolit təbəqələrinin səthdə elektro- və fotoelektrokimyəvi təsirlərə təsiri nəzərdən keçirilir. fəaliyyəti öyrənilir. Maqnezium nümunələrini korroziyadan və GaP-ni fotokorroziyadan qorumaq üçün poliion birləşmələrin imkanları tədqiq edilmişdir [2]. Nümunələrin səth morfoloqiyası polielektrolit örtüklərinin çökdürülməsindən əvvəl və sonra tədqiq edilmişdir. Göstərildi ki, platin elektrodunun (PE)-dan istifadə edərək ölçülən anodik aktivliyi, polietilenimin platin elektrodu (PE) və polistirol sulfonatın (PS) polielektrolit örtüyünə malik elektrod üçün belə örtüksüz platin elektrodun daha yüksəkdir. Polielektrolit örtüyü olmayan platin elektrod müsbət polarizasiyada (90nA) təxminən 70 μA/sm<sup>2</sup> anod aktivliyi göstərdi ki, bu da PE polikatsiya qatının çökməsindən sonra 90-100 μA/sm<sup>2</sup>-ə qədər artdı. PS polianion təbəqəsinin təbii elektrokimyəvi aktivliyi bir qədər azaldı (şəkil 1). Oxşar katod aktivliyi üçün də vəziyyət müşahidə edilmişdir [3].

Bununla belə, daha çox sayda polielektrolit təbəqəsi tətbiq edilərkən (poliionik kompozisiya qızıl elektrodun anodik aktivliyi və onun üzərində hidroxinonun oksidləşməsi zamanı baş verən pH qradienti daha az nəzərə çarpır (şəkil 2). Çox güman ki, belə bir qalınlığın poliion montajı rezistiv xüsusiyyətlər nümayiş etdirməyə başlayır və ötürülməyə mane olur. Polielektrolit örtüklərinin korroziyaya qarşı xüsusiyyətləri də öyrənilmişdir. Təbii polielektrolitlərin, xüsusən də hörümçək toru ipəyin metalları korroziyadan qorumaq üçün effektivliyi göstərilmişdir: ipəklə örtülmüş maqnezium substratları təmizlənməmiş nümunələrlə müqayisədə üç dəfə yüksək korroziyaya davamlılıq nümayiş etdirir. Əlavə ipək çöktürmə korroziyaya davamlılığı 18 dəfə yaxşılaşdırır. Beləliklə, protonasiya belə təbəqələrdə molekul daxili və molekullararası qarşılıqlı təsirlərin təbiətini dəyişdirir, onların morfoloqiyasının dəyişməsinə səbəb ola bilər: qalınlıq, kobudluq, məsaməlilik, həmçinin yük və islanma qabiliyyəti. Bu işin məqsədi xarici təsirlərin təsiri altında məhlullarda baş verən proton qradientlərində elektrodun və fotoelektrodun səthində pH-həssas təbəqələrdə baş verən prosesləri öyrənməkdir [1].

- [1] N.V. Ryzhkov, D.V. Andreeva, E.V. Skorb. Coupling pH-regulated multilayers with inorganic surfaces for bionic devices and infochemistry, Langmuir. 2019, t. 35, N. 26, c. 8543-8556.
- [2] N.V. Ryzhkov, N. Brezhneva, E.V. Skorb. Feedback mechanisms at inorganic-polyelectrolyte interfaces for applied materials. Surface Innovations. 2019, t. 7, N. 3–4, c. 145-167.
- [3] A. Nikitina, Y. Lanchuk, O. Luneva, N. Ryzhkov, S.A. Ulasevich, E.V. Skorb. Evolution of light-induced processes at heterostructured interfaces.

- Book of abstracts of the 2<sup>nd</sup> international conference PSNSPA 2018 – Photonic Colloidal Nanostructures: Synthesis, Properties, and Application. Санкт-Петербург. 4-8 июня 2018, т. 36.
- [4] Н.В. Рыжков, Е.В. Скорб. Светоуправляемые процессы на границе раздела фаз полупроводниково-полиэлектролитно-липидных композитов. Тезисы докладов кластера конференций 2018. Суздаль. 1-6 июля 2018. С. 437.

**T.F. Yusibova, R. Sh. Agayeva, A.A. Orujova**

#### **ELECTROPHYSICAL METHODS FOR STUDYING DEFECTS WITH DEEP LEVELS IN MULTILAYER STRUCTURES BASED ON SEMICONDUCTORS.**

The control of nanosystems with the help of external electromagnetic fields is of interest because of the possibility of remote switching of their properties. The recently shown effect of the appearance of a pH gradient on the surface of semiconductors during their local irradiation in aqueous solutions opens up prospects for creating photosensitive structures consisting of semiconductor substrates and pH-sensitive layers (for example, polyelectrolytes). In such structures, the pH change at the semiconductor/solution interface is activated by light, which makes it possible to achieve switching of pH-sensitive layers on the surface of semiconductors into different states. So protonation changes the nature of intra- and intermolecular interactions in such layers, which can lead to a change in their morphology: thickness, roughness, porosity, as well as charge and wettability. The use of light as a stimulus provides a high response rate of the material, the exposure parameters can be changed over a wide range (for example, the intensity and wavelength of radiation), and the use of pH gradients created by light allows you to expand the class of light-sensitive materials that can be remotely affected, causing their functional response.

**Т.Ф. Юсибова, Р.Ш. Агаева, А.А. Оруджова**

#### **ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ С ГЛУБОКИМИ УРОВНЯМИ В МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ.**

Управление наносистемами с помощью воздействия внешних электромагнитных полей представляет интерес ввиду возможности дистанционного переключения их свойств. Недавно показанный эффект возникновения градиента pH на поверхности полупроводников при их локальном облучении в водных растворах открывает перспективы для создания светочувствительных структур, состоящих из полупроводниковых подложек и pH-чувствительных слоев (например, полиэлектролитов). В таких структурах изменение pH на границе раздела ‘полупроводник/раствор’ активируется светом, что позволяет добиваться переключений pH-чувствительных слоев на поверхности

полупроводников в различные состояния. Так протонирование изменяет характер внутри- и межмолекулярных взаимодействий в таких слоях, что может приводить к изменению их морфологии: толщины, шероховатости, пористости, а также заряда и смачиваемости. Использование света в качестве стимула обеспечивает высокую скорость отклика материала, параметры воздействия могут быть изменены в широких пределах (например, интенсивность и длина волны излучения), а использование созданных светом градиентов рН позволяет расширить класс светочувствительных материалов, на которые можно дистанционно воздействовать, вызывая их функциональный отклик.