

NANOELEKTRON GURĞULARIN TƏTBIQ SAHƏLƏRİ

Aygün SULTANOVA ¹, Kəmalə ƏZİZOVA ², Səma BABAYEVA ¹

¹Naxçıvan Dövlət Universiteti, Naxçıvan, Azərbaycan

²Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu, Azərbaycan Universiteti, Bakı, Azərbaycan

*Yazışılan müəllif: aygunsultanova@ndu.edu.az

NƏŞR TARİXİ:

Qəbul edilmə tarixi:
03.03.2026

Nəşr edilmə tarixi:
17.03.2026

AÇAR SÖZLƏR:

mikroelektronika,
nanometr,
nanosensor,
fotodetektorlar, süni
zəka.

XÜLASƏ

Nanoelektronika – elektronika elm və texnologiyasının, nanometr miqyasında (1–100 nm) işləyən qurğu və sistemlərin hazırlanmasını və tətbiqini öyrənən istiqamətidir. Bu sahə, atom və molekul səviyyəsində maddənin xüsusiyyətlərinə nəzarət etmək, kvant effektlərini praktik məqsədlər üçün istifadə etmək imkanları ilə fərqlənir.

Nanoelektron qurğuların yaradılması yalnız hesablama sürətini və enerji səmərəliliyini artırmaqla kifayətlənmir, həm də yeni tip funksionallıqların - molekulyar yaddaş, kvant hesablama, nanosensor sistemləri kimi texnologiyaların inkişafına zəmin yaradır.

Nanoelektronika məhsulları və texnologiyaları müasir sənayenin müxtəlif sahələrində tətbiq olunur: Nanoelektron məhsullar və texnologiyalar elektronika (kiçik çiplər, yüksək sürətli yaddaşlar, yüksək keyfiyyətli displeylər), enerji (bataryalar, günəş bataryaları), tibb (məqsədli dərman çatdırılması, xəstəlik aşkarlama sensorları) kimi müxtəlif sahələrdə istifadə olunur.

Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, nanoelektronika müasir texnologiyaların inkişafında mühüm istiqamət olaraq, həm fundamental elmi nailiyyətlərə, həm də sənaye istehsalına ciddi təsir göstərir. Mikroelektronikadan nanoelektronikaya keçid prosesində əldə edilən nəticələr yalnız hesablama gücünün artırılması ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda enerji səmərəliliyinin yüksəldilməsi, cihazların miniaturizasiyası və yeni funksional imkanların yaradılması baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır.

GİRİŞ

XX əsrin sonları və XXI əsrin əvvəlləri texnologiya tarixində yeni bir mərhələ kimi qiymətləndirilir. Bu dövrdə informasiyanın sürətli emalı, yüksək məhsuldar hesablama sistemləri və mikromiqyaslı elektron cihazların inkişafı sahəsində mühüm nailiyyətlər əldə edilmişdir. Lakin mikroelektronika texnologiyalarının miniatürləşmə həddi yaxınlaşdıqca, ənənəvi istehsal metodlarının qarşısında ciddi fiziki və texnoloji məhdudiyyətlər yaranmışdır.

Bu məhdudiyyətlərin aradan qaldırılması məqsədilə elmi ictimaiyyət nanoölçülü strukturların tədqiqinə və tətbiqinə yönəlmişdir (Abdinov Ə.Ş., Səfərov V.H., 2010)

Nanoelektronikanın inkişafı həm fundamental elmi tədqiqatlara, həm də tətbiqi mühəndislik işlərinə əsaslanır. Bu sahədə qrafen, karbon nanoborular, nanotellər, kvant nöqtələri və digər nanomateriallər geniş şəkildə öyrənilir. Onların unikal elektrik, optik və mexaniki xüsusiyyətləri, gələcək nəsil tranzistorlar, yaddaş qurğuları, fotodetektorlar və enerji yığıma sistemləri kimi cihazlarda istifadəsinə imkan verir.

Nanoelektronika - nanometr miqyasında ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) fəaliyyət göstərən elektron cihazların, komponentlərin və sistemlərin hazırlanması, tədqiqi və tətbiqi ilə məşğul olan müasir elmi-texniki istiqamətdir. Bu sahə klassik mikroelektronikanın məntiqi davamı olaraq meydana gəlmiş, lakin ənənəvi texnologiyaların ölçü məhdudiyyətlərini aşmaq üçün kvant mexanikası prinsiplərindən və yeni materiallardan geniş istifadə etməyə başlamışdır.

MATERİALLAR VƏ METODLAR

Nanoelektronika, elektron qurğuların ölçülərinin nanometr diapazonuna endirilməsi ilə yüksək performans, enerji səmərəliliyi və yeni funksional imkanlar yaradan bir sahədir. Nanoelektron

qurğular mikroelektronikadan daha kiçik ölçülü, lakin daha güclü və çevikdir. Onlar süni intellekdən kvant hesablama texnologiyalarına qədər müxtəlif sahələrdə tətbiq olunurlar. Naoelektronika, unikal xüsusiyyətləri sayəsində bir çox sənaye və elmi sahələrdə innovativ tətbiqlər tapmışdır. Onun geniş yayılmış tətbiq sahələri aşağıdakılardır:

Naoelektron qurğular mikroprosessorların sürətini və enerji effektivliyini artırmaq üçün istifadə olunur. FinFET (**Field-Effect Transistor (FET)** – sahə-effekti tranzistor) və GAAFET (“**Gate-All-Around Field-Effect Transistor-**” bütün ətrafı qapalı sahə-effekti tranzistor”) kimi nanometr tranzistorlar ənənəvi CMOS (“Complementary Metal-Oxide-Semiconductor”- Tamamlayıcı Metal-Oksid-Yarımkeçirici) texnologiyalarını əvəz edir, bu da daha kiçik və güclü hesablama sistemlərinin yaradılmasına imkan verir. Nanoölçülü yaddaş elementləri (memristorlar, kvant nöqtə yaddaşları) məlumat saxlama sahəsində böyük potensiala malikdir. (Bassett, Deborah R. ,2010).

Termal molekulyar hərəkət mütləq sıfırdan yuxarı temperaturda hər hansı bir maddədə atomların və ionların təsadüfi hərəkətidir.

Mütləq sıfır bütün hərəkətin dayandığı mümkün olan ən aşağı temperaturdur. $-273,15^{\circ}\text{C}$ və ya 0 Kelvinə bərabərdir.

İstənilən başqa temperaturda molekullar daim titrəyir, bir-biri ilə və ətrafdakı cisimlərlə toqquşur. Bu hərəkət temperaturdan və maddənin vəziyyətindən asılıdır: temperatur nə qədər yüksək olarsa və molekullar arasındakı bağlar nə qədər az olarsa, hərəkət bir o qədər çox olar. Məsələn, qazda molekullar maye və ya bərkədən daha sürətli və xaotik hərəkət edir.

Nanoölçülü qurğular yüksək həssaslıq və selektivlik təmin edir. Nanotellər, qrafen və kvant nöqtələri əsasında hazırlanan nanosensorlar bioloji molekulların, toksinlərin və xəstəlik markerlərinin aşkarlanmasında istifadə olunur. Bu, erkən diaqnostika və fərdi müalicə üçün imkanlar yaradır (Paşayev A.M, Abdullayev X.İ, İbrahimov R.Ə, Səfərzadə Ə.Ə. , 2012)

Naoelektron qurğular kvant nöqtələr və qrafen kimi nanomateriallar sayəsində yüksək səmərəli işıq mənbələri, fotodetektorlar və ekranlar hazırlanır. Nanoölçülü optoelektron cihazlar gələcək informasiya ötürmə və enerji yığıcı sistemlərində əsas rol oynayacaq.

Nanoölçülü qurğuların kiçik ölçüləri və aşağı enerji sərfi kosmik aparatların və müdafiə sistemlərinin inkişafında əhəmiyyətlidir. Naoelektronika radiasiyaya davamlı və yüksək performanslı avadanlıqların hazırlanmasında istifadə olunur.

Bu məqalədə naoelektron qurğuların əsas tətbiq sahələri geniş şəkildə izah edilir.

Kompüter və Prosessor Texnologiyaları: Naoelektron tranzistorlar müasir mikroprosessorların və hesablama çiplərinin əsasını təşkil edir .

Yüksək performans: 3 nm və 2 nm texnologiya düyünlərində istehsal edilən prosessorlar saniyədə trilyonlarla əməliyyat icra edə bilir.

Aşağı enerji istehlakı: Kiçik ölçülü tranzistorlar daha az enerji sərf edir və istilik yayılması azalır.

Qabaqcıl arxitekturalar: FinFET, GAAFET və CFET kimi quruluşlar ilə daha yüksək inteqrasiya dərəcəsi əldə edilir.

Tətbiq sahələri aşağıdakılardan ibarətdir: Superkompüterlər və yüksək performanslı hesablama (HPC); Qrafik prosessorları (GPU) və neyropsessorlar (NPU); Mobil cihaz prosessorları (SoC) və enerji səmərəli çiplər; Yaddaş Qurğuları.

Süni İntellekt və Maşın Öyrənməsi Sistemləri. AI və ML texnologiyaları üçün yüksək hesablama gücü tələb olunur. Naoelektron qurğular bu sahədə əsas rol oynayır. **Süni intellekt sürətləndiriciləri:** TPU (Tensor Processing Unit- Tensor: çoxölçülü verilənlər), NPU (Neural Processing Unit- Neural: neyron şəbəkəsi) və xüsusi ASIC (Application-Specific Integrated Circuit- xüsusi tətbiq üçün hazırlanmış inteqrasiya olunmuş sxem) çipləri AI(Artificial Intelligence- Süni Zəka) hesablamaları üçün optimallaşdırılıb. **Aşağı enerji və yüksək performans:** Nanoölçülü cihazlar neyron şəbəkələrinin təlim və tətbiqi zamanı enerji səmərəliliyini artırır. (Sadiqov O.M. , Həsənova M.Ş. , 2012).

Naoelektron sensorlar kiçik ölçülü və aşağı enerji istehlaklı olduqları üçün milyonlarla cihazın bir-birinə qoşulmasına imkan verir.

Tibbi və Bioelektron Tətbiqlər: Nanoelektron qurğular tibbi diaqnostika və müalicə proseslərini dəyişir.

Biosensorlar: Xəstəliklərin erkən diaqnostikası üçün yüksək həssaslığa malikdir.

İmplantlar: Nanoölçülü elektron implantlar sinir sisteminə birləşdirilə bilər (neyroprotezlər).

Dərman çatdırılması: Nanoelektron kapsullar vasitəsilə hədəf hüceyrələrə dərman verilməsi.

Telekommunikasiya və RF Qurğular. Nanoelektron texnologiyalar telekommunikasiya sistemlərinin əsasını təşkil edir.

5G və 6G sistemləri: Yüksək tezlikli RF modulları nanometr texnologiyaları ilə istehsal olunur.

III-V materiallarına əsaslanan qurğular: GaN və InP tranzistorları yüksək güc və tezliklərdə işləyir.

Photonics integrasiyası: Optik siqnalların ötürülməsi üçün nanoölçülü dalğaötürücülər.

Kvant Hesablama. Nanoelektron qurğular kvant texnologiyalarının inkişafı üçün vacibdir (J. Plummer, M. Deal, P. Griffin, *Silicon VLSI Technology*).

Kvant nöqtələri və Josephson birləşmələri kvant bitlərini (qubit) idarə etmək üçün istifadə olunur.

Spintronik və topoloji izolyatorlar – kvant informasiyanın saxlanması və emalı üçün yeni platformalar.

Kryogen mühitdə işləyən elektronika – kvant prosessorlarının idarəsi üçün xüsusi çiplər.

Avtomobil Elektronika və Avtonom Sistemlər. Nanoelektron cihazlar avtomobil sənayesində geniş tətbiq olunur.

Güc elektronikasısı: SiC və GaN əsaslı nanoelektron qurğular elektrik avtomobillərində yüksək səmərəlilik təmin edir.

Avtonom idarəetmə sistemləri: Radar, LiDAR və kameraların işlənməsi üçün yüksək hesablama gücü tələb olunur.

Enerji idarəetməsi: Bataryaların optimallaşdırılması üçün nanoölçülü güc idarəetmə çipləri.

Enerji Toplama və İdarəetmə. Nanoelektron texnologiyalar alternativ enerji sistemlərində də istifadə olunur.

Günəş panelləri: Nanoölçülü strukturlaşdırma ilə işıq udma qabiliyyəti artırılır.

Enerji yığım çipləri: Kiçik cihazların enerji təminatı üçün mikrogenerasiya texnologiyaları.

Ağıllı enerji idarəetmə: Sərfiyyatı optimallaşdıran və itkiləri azaldan mikroçiplər (Teo B.K., Sun X.H., 2007).

Nanomaterialların yüksək səth sahəsi və unikal elektrik xassələri onların superkondensatorlar, yanacaq elementləri və günəş batareyalarında istifadəsini mümkün edir. Nanoelektronika enerjinin effektiv idarə olunması və saxlama texnologiyalarında inqilabi yeniliklərə yol açır.

1. Nanoelektronika və Hesablama Sistemləri: Qrafen və digər 2D materialların elektronika sahəsində tətbiqi; Nanohissəciklər əsasında yaddaş qurğuları (memristorlar və s.); Kvant nöqtələri ilə hesablama və fotonika.

2. Nanomateriallar və Onların Xüsusiyyətləri: Karbon nanoborular: mexaniki və elektrik xüsusiyyətləri; Nanokompozit materiallar və onların sənayedə istifadəsi; Öz-özünü bərpa edən (self-healing) nanomateriallar (Vo-Dinh, T., 2007).

Nanoelektron qurğuların əsas üstünlüklərindən biri onların aşağı enerji sərfi ilə işləməsidir. Miniaturlaşma nəticəsində tranzistorların açma və bağlama cərəyanları azaldılır, bu isə ümumi güc itkisini minimuma endirir. Bununla yanaşı, nanoölçülü qurğularda **istilik idarəetməsi** mühüm rol oynayır, çünki kiçik həcmli strukturlarda istilik yığılması və paylanması cihazın işinə ciddi təsir göstərir.

NƏTİCƏ

Yeni materialların – qrafen, karbon nanoborular, 2D yarımkeçiricilər – istifadəsi tranzistorların və sensorların xüsusiyyətlərini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır.

Litografiya və özünü-yığma texnologiyaları nanoölçülü strukturların istehsalında əsas rol oynayır.

Nanoelektron komponentlər təkcə informasiya texnologiyaları sahəsində deyil, həm də tibbi diaqnostika, ətraf mühit monitorinqi, hərbi texnologiyalar və kvant hesablamalarında geniş tətbiq imkanlarına malikdir.

Nanoelektron qurğular müasir elektronikanın inkişafında mühüm rol oynayır və hesablama, rabitə, süni intellekt və sensor texnologiyaları kimi sahələrdə yeni imkanlar açır. Onların istehsalı, dizaynı və tətbiqi material elmi, nanotexnologiya və elektronikanın birləşdiyi kompleks bir prosesdir.

Nanoelektron qurğular müasir texnologiyanın əsasını təşkil edir. Onların tətbiq sahələri hesablama, telekommunikasiya, süni intellekt, tibbi cihazlar, enerji və kvant texnologiyalarını əhatə edir. Bu sahədə aparılan tədqiqatlar yaxın gələcəkdə daha səmərəli, daha güclü və daha çevik sistemlərin yaranmasına səbəb olacaq.

ƏDƏBİYYAT

1. Abdinov Ə.Ş. , Səfərov V.H. --Elektron texnikasının materialları və nanotexnologiyanın əsasları. Bakı, 2010. 850s.
2. Bassett, Deborah R. (2010). "Taniguchi, Norio". In Guston, David H. (ed.). Encyclopedia of nanoscience and society. London: SAGE. p. 747. ISBN 9781452266176. Retrieved 3 August 2014.
3. **Orucov H.S., Əbilov Ç.İ.Sadiqov. O.M., Həsənova M.Ş** — *Elektronikada nanotexnologiyalar və nanomateriallar. I hissə, nanotexnologiyalar*. Bakı: AzTU, 2017, **196 səh.**
4. Paşayev A.M, Abdullayev X.İ, İbrahimov R.Ə, Səfərzadə Ə.Ə. Zond mikroskopiyası. Bakı, 2012. 202 s.
5. Paşayev A.M, Ağayeva S.X.. Nanomateriallar, tədqiqat üsulları, cihazlar. Bakı, 2012.
6. Sadiqov O.M. , Həsənova M.Ş. Elektron texnikasının materialları və komponentləri. Bakı, 2012. 205 s.
7. Teo, B. K. & Sun, X. H. (2007). Silicon-based low-dimensional nanomaterials and nanodevices. *Chemical Reviews*, 107(5), 1454–1532.
8. Vo-Dinh, T. (2007). *Nanotechnology in biology and medicine: Methods, devices, and applications*. In T. Vo-Dinh (Ed.). CRC Press

SUMMARY

APPLICATION FIELDS OF NANOELECTRONIC DEVICES

Aygün Sultanova, Azizova Kamala, Sema Babayeva

Nanoelectronics is a direction of electronic science and technology that studies the development and application of devices and systems operating at the nanometer scale (1–100 nm). This field is distinguished by the ability to control the properties of matter at the atomic and molecular levels and use quantum effects for practical purposes.

The creation of nanoelectronic devices not only increases computing speed and energy efficiency, but also creates the basis for the development of new types of functionalities - technologies such as molecular memory, quantum computing, nanosensor systems.

Nanoelectronic products and technologies are applied in various fields of modern industry: Nanoelectronic products and technologies are used in various fields such as electronics (small chips, high-speed memories, high-quality displays), energy (batteries, solar cells), medicine (targeted drug delivery, disease detection sensors).

Research shows that nanoelectronics, as an important direction in the development of modern technologies, has a significant impact on both fundamental scientific achievements and industrial production. The results obtained in the process of transition from microelectronics to nanoelectronics are not limited to increasing computing power, but are also of great importance in terms of increasing energy efficiency, miniaturization of devices, and creation of new functional capabilities.

Keywords: *microelectronics, nanometer, nanosensor, photodetectors, artificial intelligence.*

РЕЗЮМЕ

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Айгюн Султанова, Азизова Камала, Сема Бабаева

Нанoeлектроника — это направление электронной науки и техники, изучающее разработку и применение устройств и систем, работающих в нанометровом масштабе (1–100 нм). Эта область отличается возможностью контролировать свойства материи на атомном и молекулярном уровнях и использовать квантовые эффекты в практических целях.

Создание нанoeлектронных устройств не только повышает скорость вычислений и энергоэффективность, но и закладывает основу для разработки новых типов функциональных возможностей — таких технологий, как молекулярная память, квантовые вычисления, наносенсорные системы.

Нанoeлектронные продукты и технологии применяются в различных областях современной промышленности: нанoeлектронные продукты и технологии используются в таких областях, как электроника (малые чипы, высокоскоростная память, высококачественные дисплеи), энергетика (батареи, солнечные элементы), медицина (целевая доставка лекарств, датчики обнаружения заболеваний).

Исследования показывают, что нанoeлектроника, как важное направление в развитии современных технологий, оказывает значительное влияние как на фундаментальные научные достижения, так и на промышленное производство. Результаты, полученные в процессе перехода от микроэлектроники к нанoeлектронике, не ограничиваются увеличением вычислительной мощности, но также имеют большое значение с точки зрения повышения энергоэффективности, миниатюризации устройств и создания новых функциональных возможностей.

Ключевые слова: микроэлектроника, нанометр, наносенсор, фотодетекторы, искусственный интеллект.