

NANOELEKTRONİKANIN SƏNAYE TƏTBİQLƏRİ VƏ İQTİSADI POTENSİALI

Aygün SULTANOVA , Səma BABAYEVA 

Naxçıvan Dövlət Universiteti, Naxçıvan, Azərbaycan

*Yazışılan müəllif: aygunsultanova@ndu.edu.az

NƏŞR TARİXİ:

Qəbul edilmə tarixi:

06.06.2026

Nəşr edilmə tarixi:

25.06.2026

AÇAR SÖZLƏR:

nanomiyasda,
mikroelektron,
nanometr,
sensorlar, kvant
qurğular.

XÜLASƏ

XXI əsrin əsas texnoloji nailiyyətlərindən biri nanoelektronikanın inkişafıdır. Elektronikanın nanomiyasda idarə olunması, daha kiçik, sürətli və enerji baxımından qənaətli qurğuların yaradılmasına imkan verir. Lakin nanoelektronikanın tətbiqi yalnız müsbət təsirlərlə məhdudlaşmır, bu sahənin qarşısında mühüm texnoloji məhdudiyyətlər və istehsal problemləri mövcuddur. Bu çətinliklər nanoelektronikanın geniş sənaye tətbiqlərinə keçidini ləngidir və global elmi-texnoloji əməkdaşlığı zəruri edir. Nanoelektronika ~1–100 nm miqyasında işləyən elektron sistemlərinin layihələndirilməsi və istehsalı əhatə edir. Bu miqyasda kvant effektləri, atomik miqyaslı qeyri-bərabərliklər və materialların yeni xüsusiyyətləri istehsalın mürəkkəbliyini artırır. Müasir yarımkeçirici sənayesi 2–3 nm texnoloji düyünlərə doğru irəliləsə də, həm texniki, həm də iqtisadi baxımdan ciddi problemlərlə üzləşir. Nanoelektronika texnologiyaları telekommunikasiyanın eləcə də informasiya texnologiyalarının, tibbin və enerji sənayesinin inkişafı üçün strateji əhəmiyyətə malikdir. Nanoelektronika, informasiya texnologiyaları və sənaye elektronikasının gələcək inkişafında əsas istiqamətlərdən biridir. Bu sahədə aparılan tədqiqatlar yalnız hesablama sistemlərinin gücünü artırmaqla kifayətlənmir, həm də tibb, ekoloji monitoring və digər mühüm sahələrdə yeni tətbiq imkanları yaradır. Gözlənilir ki, yaxın onilliklərdə nanoelektronika texnologiyaları klassik mikroelektronikanı tədricən əvəz edərək texnoloji tərəqqinin aparıcı qüvvəsinə çevriləcəkdir.

GİRİŞ

Nanoelektronikanın geniş tətbiqi bir sıra texnoloji problemlərlə üzləşir: İstehsalın dəqiqliyi və təkrarlana bilməsi – nanometr səviyyəsində struktur yaratmaq çətinidir və istehsal zamanı qüsurlar yaranma bilər; Materialların sabitliyi və homogenliyi – nanomaterialların kütləvi istehsalda keyfiyyətinin qorunması problemli ola bilər; İntegrasiya çətinlikləri – nanoölçülü komponentlərin mövcud mikroelektron sxemlərlə integrasiyası texniki problemlər yaradır; Qiymət və maliyyə xərcləri – yüksək texnoloji avadanlıq və xammalın baha olması. (Bassett, D. R. 2010, s.700).

Nanotexnologiya müasir elmin və sənayenin ən dinamik inkişaf edən sahələrindən biridir. Nanohissəciklər (1–100 nm ölçülü materiallar) öz unikal fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinə görə elektronika, tibb, kosmetika, kənd təsərrüfatı, enerji və digər sahələrdə geniş tətbiq olunur. Lakin onların bu cür geniş yayılması insan sağlamlığı və ətraf mühit üçün müəyyən risklər yaradır. Bu risklər ümumilikdə nanotoksiklik anlayışı ilə ifadə olunur. Nanotoksiklik – nanohissəciklərin bioloji sistemlərə təsiri nəticəsində yaranan mənfi nəticələrin öyrənilməsi sahəsidir.

Nanoelektronika müasir elmin və texnologiyanın ən sürətlə inkişaf edən istiqamətlərindən biridir. Elektronikanın nanomiyasda idarə olunması, klassik yarımkeçirici texnologiyaların sərhədlərini aşaraq daha kiçik, daha sürətli və enerji baxımından daha səmərəli qurğuların yaradılmasına imkan verir. Bu sahə yalnız fundamental elmi nailiyyətlərlə məhdudlaşmır, həm də sənaye istehsalı və global iqtisadiyyat üçün mühüm perspektivlər acır. (Bhushan, B. (Ed.). 2017. s. 24).

Nanoelektronika sənaye və iqtisadiyyatın bir çox sahələrində əhəmiyyətli təsir göstərir. Nanoölçülü elektron qurğular sayəsində yüksək performanslı hesablama sistemləri, yüksək həssas sensorlar, aşağı enerji sərf edən portativ cihazlar və yeni tip enerji saxlama texnologiyaları hazırlanır. Dünya bazarında nanoelektronika məhsullarının həcmi sürətlə artır. Bu sahədə aparılan tədqiqatlar və tətbiqi layihələr ölkələrin texnoloji rəqabət qabiliyyətini yüksəldir. Azərbaycanda da nanoelektronika üzrə potensialın artırılması elmi infrastrukturların inkişafı, təcrübəli kadrların

hazırlanması və innovasiya sistemlərinin yaradılması ilə bağlıdır.(Teo, B. K., & Sun, X. H. 2007.s1450).

MATERİALLAR VƏ METODLAR

Nanoelektronika ~1–100 nm miqyasda elektron proseslərin idarəsinə əsaslanır. Bu miqyasda kvant effektləri, səth- həcm nisbətinin artması, aşağı enerji sərfi və yüksək integrasiya sıxlığı kimi üstünlüklər əldə edilir. Nəticə: daha kiçik, sürətli, az enerji istehlak edən, funksional baxımdan “ağıllı” sistemlər.(Schön, J. H., Kloc, C., & Batlogg, B. 2002. s575).

Dəyər təklifi: Hesablama gücünün sıxlıq və enerji baxımından ölçülməsi (performance-per-watt); Səsinq və kommunikasiya xərclərinin azalması → biznes proseslərinin rəqəmsallaşması; Yeni məhsul sinifləri (bioelektronika, kvant qurğular) və yüksək giriş baryerləri sayəsində rəqəbat üstünlüyü.

Nanoelektronikanın sənaye tətbiqləri aşağıdakılardır:

1.Mikroprosessorlar və hesablama texnologiyaları: Nanoelektron komponentlər daha yüksək integrasiyalı mikroprosessorların istehsalına imkan verir.

Intel, AMD, TSMC və digər şirkətlər 3 nm texnologiyaya qədər çatmışdır və yaxın gələcəkdə atom miqyasında tranzistorların tətbiqi planlaşdırılır.

Bu texnologiyalar süni intellekt, kvant simulyasiyaları və yüksək performanslı hesablama sahələrində tətbiq olunur.

2.Məlumat yaddaş qurğuları: Nanoölçülü yaddaş texnologiyaları (MRAM, RRAM, PCRAM) yüksək sürət, davamlılıq və enerji qənaəti təmin edir. Bu yaddaş növləri gələcəkdə sərt disklərin və flash yaddaşların yerini tuta bilər.

3.Sensor texnologiyaları: Nanosensorlar tibbdə, ətraf mühitin monitorinqində, kimyəvi analizlərdə və təhlükəsizlik sahələrində geniş tətbiq olunur. Qazların aşkarlanması, biomarkerlərin təhlili, nanorobotların idarə edilməsi kimi funksiyaları mümkündür.

4. Enerji texnologiyaları: Nanoelektron qurğular daha səmərəli günəş elementlərinin, litium-ion batareyalarının və superkondensatorların istehsalında istifadə edilir. Enerji saxlama texnologiyalarında nanosəviyyəli materialların tətbiqi enerjiyə tələbatı daha optimal ödəməyə imkan yaradır

5.Telekommunikasiya və informasiya texnologiyaları:Yüksək sürətli internet və 5G/6G texnologiyaları nanoelektron qurğuların əsasında formalaşır.Optoelektron komponentlər (nanoLED, lazer diodları, fotodetektorlar) informasiya ötürməsinə daha effektivdir.

6.Tibb və biotexnologiya: Nanotransistor əsaslı biouyğun implantlar və nanosensorlar erkən diaqnostika və şəxsi tibbi müalicə üçün istifadə olunur . (Teo, B. K., & Sun, X. H. 2007.s 1454)

Nanoelektronika həm sənaye, həm də iqtisadiyyat üçün yeni imkanlar açan strateji sahədir. O, daha güclü kompüterlərin, enerji baxımından qənaətli qurğuların, tibbi diaqnostika vasitələrinin və yeni nəsil rabitə texnologiyalarının əsasını təşkil edir. Bu sahənin davamlı inkişafı global iqtisadiyyatda innovativ sıçrayışlara, ölkələrin texnoloji müstəqilliyinə və cəmiyyətin həyat keyfiyyətinin yüksəlməsinə mühüm töhfə verəcəkdir.

Nano ölçülü tranzistorlar, kvant nöqtələri, nanotellər və qrafen kimi nanomateriallar müasir elektron texnologiyalarında innovativ tətbiqlər tapır. Nanoelektronikanın inkişafı hesablama texnologiyaları, biotibb, optoelektronika, enerji saxlama və kosmik sənaye kimi sahələrdə böyük potensiala malikdir . (Janata, J. 2008. s 327)

NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

Ümumilikdə, nanoelektronika Azərbaycanın elmi və sənaye potensialının artırılmasında mühüm rol oynaya bilər və bu sahədə investisiyaların artırılması, kadr hazırlığı və innovasiya infrastrukturunun formalaşdırılması vacibdir. Mikroelektronika – hazırda kütləvi istehsalda istifadə olunan, klassik fizika və silisium əsaslı texnologiyalara söykənən bir sahədir.

Nanoelektronika – daha çox gələcək üçün nəzərdə tutulan, nanomateriallar və kvant prinsiplərinə əsaslanan yeni nəsil elektronikanı ifadə edir.

Nanotexnologiya sənaye, kənd təsərrüfatı, biznes, tibb və ictimai səhiyyə kimi insan fəaliyyətinin bir çox sahələrində nanomaterialların ehtiyacları və tətbiqləri səbəbindən böyük ictimai maraq qazanmışdır.

NƏTİCƏ

Nanoelektronika müasir sənayenin inkişafında mühüm rol oynayan və gələcəyin texnologiyalarını formalaşdıran strateji istiqamətlərdən biridir. Nanoölçülü material və qurğuların tətbiqi elektron cihazların ölçülərinin kiçilməsinə, məhsuldarlığının artmasına, enerji sərfiyyatının azalmasına və funksional imkanlarının genişlənməsinə şərait yaradır. Bu texnologiyalar yarımkeçirici sənayesi, telekommunikasiya, informasiya texnologiyaları, tibb, avtomobil sənayesi və enerji sektorunda geniş tətbiq olunaraq istehsal proseslərinin səmərəliliyini artırır.

Nanoelektronikanın iqtisadi potensialı da olduqca yüksəkdir. Bu sahəyə yatırılan investisiyalar innovativ məhsulların yaradılmasına, yüksək əlavə dəyərə malik istehsalın inkişafına və yeni iş yerlərinin açılmasına səbəb olur. Eyni zamanda, nanoelektronika rəqəmsal iqtisadiyyatın inkişafını sürətləndirir, sənaye müəssisələrinin rəqabət qabiliyyətini artırır və ölkələrin texnoloji müstəqilliyinin möhkəmlənməsinə töhfə verir.

Nəticə etibarilə, nanoelektronika həm sənaye innovasiyalarının əsas hərəkətverici qüvvələrindən biri, həm də global iqtisadi inkişafın mühüm amili kimi çıxış edir. Gələcəkdə bu sahədə aparılan elmi tədqiqatlar və texnoloji yeniliklər nanoelektronikanın tətbiq imkanlarını daha da genişləndirəcək və onun dünya iqtisadiyyatındakı əhəmiyyətini artıracaqdır.

ƏDƏBİYYATLAR

- Bassett, D. R. (2010). Taniguchi, Norio. In D. H. Guston (Ed.), *Encyclopedia of nanoscience and society* (p. 747). SAGE.
- Bhushan, B. (Ed.). (2017). *Springer handbook of nanotechnology*. Springer.
- Chuang, S. L. (2009). *Physics of optoelectronic devices*. Wiley.
- Dahl, J. A., Maddux, B. L. S., & Hutchison, J. E. (2007). Toward greener nanosynthesis. *Chemical Reviews*, 107(6), 2228–2269.
- Dresselhaus, M. S., Dresselhaus, G., & Avouris, P. (2001). *Carbon nanotubes: Synthesis, structure, properties, and applications*. Springer.
- Hapgood, F. (1986, November). "Nanotechnology" / "Tinytech." *Omni*, 56.
- Janata, J. (2008). Introduction: Modern topics in chemical sensing. *Chemical Reviews*, 108(2), 327–328.
- Rao, C. N. R., Sood, A. K., Subrahmanyam, K. S., & Govindaraj, A. (2009). Graphene: The new two-dimensional nanomaterial. *Angewandte Chemie International Edition*, 48(42), 7752–7777.
- Schön, J. H., Kloc, C., & Batlogg, B. (2002). Quantum dots and nanoelectronics. *Reviews of Modern Physics*, 74(2), 575–589.
- Stewart, M. E., Anderton, C. R., Thompson, L. B., Maria, J., Gray, S. K., Rogers, J. A., & Nuzzo, R. G. (2008). Nanostructured plasmonic sensors. *Chemical Reviews*, 108(2), 494–521.
- Teo, B. K., & Sun, X. H. (2007). Silicon-based low-dimensional nanomaterials and nanodevices. *Chemical Reviews*, 107(4), 1454–1532.
- Vo-Dinh, T. (Ed.). (2007). *Nanotechnology in biology and medicine: Methods, devices, and applications*. CRC Press.

SUMMARY

INDUSTRIAL APPLICATIONS AND ECONOMIC POTENTIAL OF NANOELECTRONICS

Aygun Sultanova, Sema Babayeva
Nakhchivan State University, Nakhchivan, Azerbaijan

One of the main technological achievements of the 21st century is the development of nanoelectronics. Controlling electronics at the nanoscale allows for the creation of smaller, faster, and more energy-efficient devices. However, the application of nanoelectronics is not limited to its positive aspects; this field faces significant technological limitations and production challenges. These challenges slow down the transition of nanoelectronics to wide-ranging industrial applications and necessitate global scientific and technological cooperation. Nanoelectronics encompasses the design and production of electronic systems operating at $\sim 1\text{--}100$ nm. At this scale, quantum effects, atomic-scale inhomogeneities, and new properties of materials increase the complexity of production. Although the modern semiconductor industry is moving towards 2–3 nm technological nodes, it faces serious problems from both a technical and economic perspective. Nanoelectronics technologies are of strategic importance for the development of telecommunications, as well as information technologies, medicine, and the energy industry. Nanoelectronics is one of the main directions in the future development of information technologies and industrial electronics. Research in this area not only increases the power of computing systems, but also creates new application opportunities in medicine, environmental monitoring and other important areas. It is expected that in the coming decades, nanoelectronics technologies will gradually replace classical microelectronics and become the driving force of technological progress.

Keywords: *nanoscale, microelectronics, nanometer, sensors, quantum devices.*

РЕЗЮМЕ

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

Айгюн Султанова, Сема Бабаева
Нахчыванский государственный университет, Нахчыван, Азербайджан

Одним из главных технологических достижений XXI века является развитие нанoeлектроники. Управление электроникой на наномасштабе позволяет создавать более компактные, быстрые и энергоэффективные устройства. Однако применение нанoeлектроники не ограничивается её положительными аспектами; эта область сталкивается со значительными технологическими ограничениями и производственными проблемами. Эти проблемы замедляют переход нанoeлектроники к широкому спектру промышленных применений и требуют глобального научно-технического сотрудничества. Нанoeлектроника включает в себя проектирование и производство электронных систем, работающих в масштабе $\sim 1\text{--}100$ нм. На этом масштабе квантовые эффекты, неоднородности на атомном уровне и новые свойства материалов увеличивают сложность производства. Хотя современная полупроводниковая промышленность движется к технологическим узлам 2–3 нм, она сталкивается с серьезными проблемами как с технической, так и с экономической точки зрения. Нанoeлектронные технологии имеют стратегическое значение для развития телекоммуникаций, а также информационных технологий, медицины и энергетической промышленности. Нанoeлектроника — одно из главных направлений будущего развития информационных технологий и промышленной электроники. Исследования в этой области не только повышают мощность вычислительных систем, но и открывают новые возможности применения в медицине, мониторинге окружающей среды и других важных областях.

Ожидается, что в ближайшие десятилетия наноэлектронные технологии постепенно заменят классическую микроэлектронику и станут движущей силой технологического прогресса.

Ключевые слова: наномасштаб, микроэлектроника, нанометр, датчики, квантовые устройства