

Nanoelektronika

Iosu Salaberri Intxaurren, Mikel Gorritxo Segura, Julen Padilla Otamendi
Konputagailuen Teknologiaren Oinarriak
Konputagailuen Arkitektura eta Teknologia Saila
Informatika Fakultatea
Euskal Herriko Unibertsitatea

Laburpena.

Nanoelektronika osagarri elektronikoak sortzeko nanoteknologian oinarritzean datza; orokorrean transistoreak izaten dira, baina nanotransistoreak eta transistoreak oso ezberdinak dira. Nanoelektronikak atomoen arteko interakzioak eta propietate mekaniko-kuantikoak sakonki aztertu behar dituzten osagarri elektronikoak biltzen ditu.

Zientzialariak, jada, eskala nanometrikora iritsi dira TSMCren edo Pentium 4ren CMOS90 prozesadoreekin, 90nm edo 65nm baino txikiagoak izatea lortu baitute. Hala ere, gailu hauek ez daude nanoelektronikaren sailkapen-eremuaren barnean (100nm baino gutxiagoak izan arren) atomoen arteko interakzioetan eta propietate mekaniko-kuantikoetan oinarritzen ez direlako.

1. Nanoelektronikaren oinarrizko kontzeptuak.

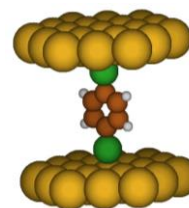
Nanosagaietako batzuek spintronikan, nanokable/nanohodietan, elektronika molekularrean, eta abarretan oinarritzen dira, eta ezaugarri/egitura hauek dira, hain zuzen, azalduko ditugunak hurrengo atalean.

1.1. Elektronika molekularra.

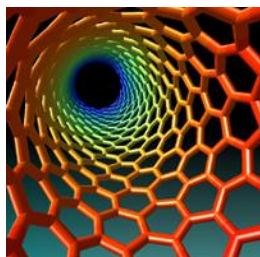
Propietate molekularretan oinarrituz, informazioaren prozesatua lortzea helburu duen elektronikaren arloa da, horretarako material molekular elektroaktiboak erabiliz. Material horiek organikoak dira, molekula txikietatik (10 atomo) polimeroetara (makromolekulak), eta estimulu elektrikoerantz erantzuteko gai dira (eroale eta erdieroale inorganikoak bezala).

Elektronika molekularrak metalen eta erdieroaleen propietate elektriko eta optikoak eskaini ez ezik, propietate mekaniko bereziak eta informazioaren prozesatze abantailak ematen ditu. Propietate hauei, egitura-kimikoei aldaketak eraginez, materialen propietateen aldaketa lortzeko sintesi-kimiko potentzial handia ere gehitu behar zaie.

Material molekular elektroaktiboak industrian garatuak izaten ari dira batera organikoetan, muskulu artifizialean, zelula fotovoltaikoetan, eta abarretan erabiltzeko.



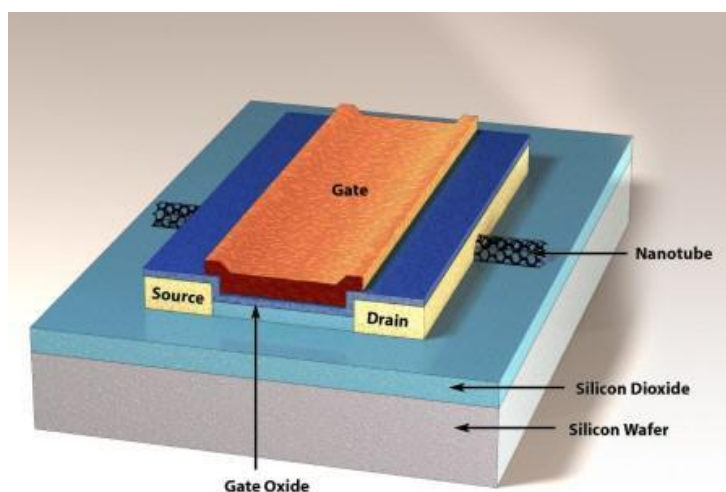
(Costa-Krämer, 1963)



1.2. Karbonozko nanohodiak.

Karbonozko nanohodiak karbonozko molekula tubularrak dira eta hauen propietateen eraginez oso erabilgarriak dira sistema mekaniko eta elektriko txikientzat. Oso gogorrak dira, propietate elektroniko bereziak dituzte eta beroaren eroale eraginkorrak dira. Propietate elektriko, mekaniko eta kimiko horien

ondorioz, karbonozko nanohodiak aukera ona dira nanotransistoreak edota beste eskala nanometrikoko elementuak garatzeko (ikus 1. irudia). Hauetatik elektroiak (edo elektro bakarra) eroateko gaitasuna daukate karbonozko nanohodiek.



1. irudia: nanohodi batez konektatutako nanotransistorea.

(Costa-Krämer, 1963)

1.3. Nanoegitura erdieroaleak.

Eskala nanometrikoetan eta abiadura ultralasterrean lan egiteko gai diren diodoak eta transistoreak existitzen dira, zirkuitu dentsitate handikoak. Mota honetako zenbait gailu oso erabilgarriak dira hauen “output” ezaugarriengatik. Hauei esker, osagai gutxiagorekin eragiketa kopuru berdinak egin ditzakete.

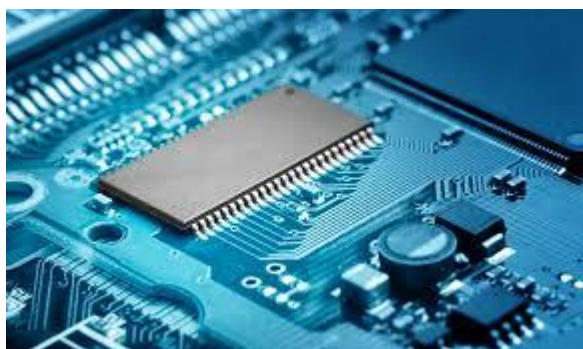
Hona hemen mota honetako diodoen zenbait adibide: Resonant Tunneling Hot, Electron Transistor RHET, Resonant Tunneling Bipolar Transistor RTBT, Quantum Effect Devices QED, ElectronWaveguide Devices, etab.

Dimentsio nanoskopikoko egitura hauek elektroiak (edo elektro bakarra) eroateko gaitasuna dute energia maila baxuetan. Nanokristal erdieroaleek propietate optikoak eta elektronikoak dituzte hauen tamainaren ondorioz. Ezaugarri hauek bereziki interesgarriak dira transistoreetan, laserretan eta mota honetako gailuetan.

(Costa-Krämer, 1963)

1.4. MEMS eta NEMS.

Mikroelektronikaren beste azpiatal bat MEMS-en garapenean datza (Micro-Electro-Mechanical-Systems). Hauek silizioz eta beste materialez osatutako txipak dira, non ohiko funtzio elektronikoez gain (mikroprozesadoreak), beste elementu berriak gehitu diren, hala nola mikrosentsoreak, mikromotorrak eta mikroosagai optikoak besteak beste. Txip hauek sortzeko mikroelektronikan ezagunak diren prozesuak erabili dira: Litografia eta kimiko anistrofoak erabiliz.



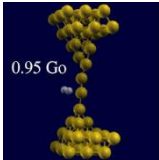
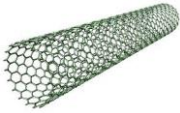

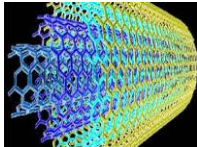

Teknologiaren garapenearen ondorioz

(top-down), txip hauen eskala txikitu eta nanoelektronikan erabiltzen diren teknikak eta prozesuak aplikatu egingo dira NEMS-ak (nano-Electro-Mechanical-Systems) garatuz. Txip hauen erabilera izugarria izango da eta batez ere medikuntza arloan aurrerakada handia eragingo du.

(Costa-Krämer, 1963)

1.5. Interkonektoreak.

Nanoelektronikaren arazo nagusienetakoa materialen arteko konexioa da gailu elektronikoak sortzeko.

MATERIALA	NANOCONTACT 	NANOTUBE 	MOLECULES 	QUANTUM WIRES 	DNA 
GEOMETRIA	Ez definitua	Tubularra	Kimikoki definitua	2D, plano	Helikoidal bikoitza
ESKALA	Atomikoa	1-40 nm	1 nm	nm batzuk	1 nm
LUZEERA	Nanometroak	1-2 mikrometro	Nanometroak	Nanometroak	1-2 mikrometro
KONEKXIOAK	Errazak	Zailtasun handikoak	Zailtasun handikoak	Errazak	Zailtasun handikoak
EROATZE MEKANISMOA	Garraio kuasibalistikoa	¿?	¿?	Garraio balistikoa	¿?

Teknologia erdieroalearen gaur egungo mugetako bat energiaren xahuketa da. Xahutze prozesu hau azeleratu egiten da konmutazio abiadura handietan. Burdinez osatutako nanoegituretan garraioa balistikoa da. Horregatik elektroiek ez dute energia nanoegituran xahutzen. Garrantzitsua da koherentzia elektronikoa mantentzea, batez ere konputagailu kuantikoetan, karga garraiatzaileak memoria gal ez dezan fasean zehar. Diseinu nanoelektronikoek propietate hauek erabiliko dituzte modu bizkor eta eraginkor batean eragiketak egiteko.

(Costa-Krämer, 1963)

1.6 Spintronika

Egungo gailu aktibo guztiak, neurri batean edo bestean, elektroien kargan oinarrituta daude, XIX. mendearen amaieran aditzera eman zena. Berriki ikasi dugu spinaren bi kanalen erabilera selektiboa egiten. Teknologia honi spintronika (spin + elektronika) deritzo eta elektroien karga zein haren spina erabiltzen ditu. Spina bakarrik bi balio har ditzakeen energia-magnetiko egoera ahula da.

2. Nanotransistoreak.

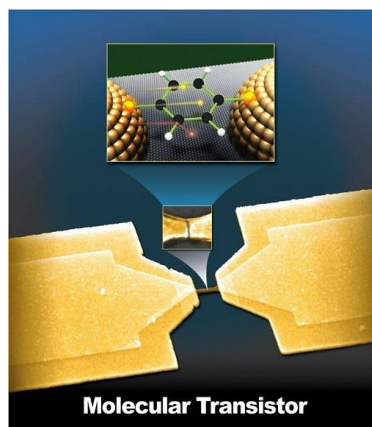
Hasieran aipatu dugun bezala, nanoelektronikaren inbestigazio-alor garrantzitsuena nanotransistoreen eraikuntzara bideratzen da eta horregatik sakonago aztertuko ditugu aplikazio hau, baina zer dira transistorak?

Transistoreak solido-egoerako dispositibo elektronikoak dira, hau da, solidoa den material erdieroalez (Silizioz, batik bat) eginda daude. Hauek molekulen eroankortasunarekin jolasten korrontea kontrolatzen dute. Gehienek hiru terminal daukate: mutur gisako bi eta kontrol-terminal bat. Gaur egungo elektronikaren oinarritzko osagaia da eta bera erabiliz konmutadore elektroniko, ate logiko, memoria eta beste dispositibo asko lor daitezke. Baina, nola sortzen dira nanotransistoreak?

Nanohodietan oinarritutako nanotransistorak transistor ohiko baten antzekoa da. Nanotransistore hauek SET bezala ezagutzen dira (Single Electron Transistor). Nanotransistore hauek FET transistoren antzekoak dira (Field-Effect Transistor). Nanotransistore hauek sotzeko Indar Atomikoko Mikroskopia erabiltzen dira (AFM-Atomic Force Microscope). Hauekin karbono atomoak agituratzen dira nanoegiturak sortuz sustrato baten gainean.

Nanotransistoreak egungo elektronikaren munduan esangura hori dutenez, haien garapenak ere garrantzi handia badu, eta izango du, hurrengo urteetan. Garapen horren ildo nagusia transistoren tamaina txikitze alderakoa da eta horretan ari dira zientzialariak, Mooren legeak esaten zuen modura.

2001eko azaroan jada, Bell laborategiek aurrerapen garrantzitsua egin zuten arlo honetako ahaleginetan, nanotransistore helbideragarriko fabrikazioarekin molekula bateko eskalan, automuntaduraren bitartez elektrodo oso txikietara (molekulak konbina daitezela eta zuzeneko esku-hartzerik gabe automihizta dezaten egiten duen nahaste batean elkartzea) elkartuta.



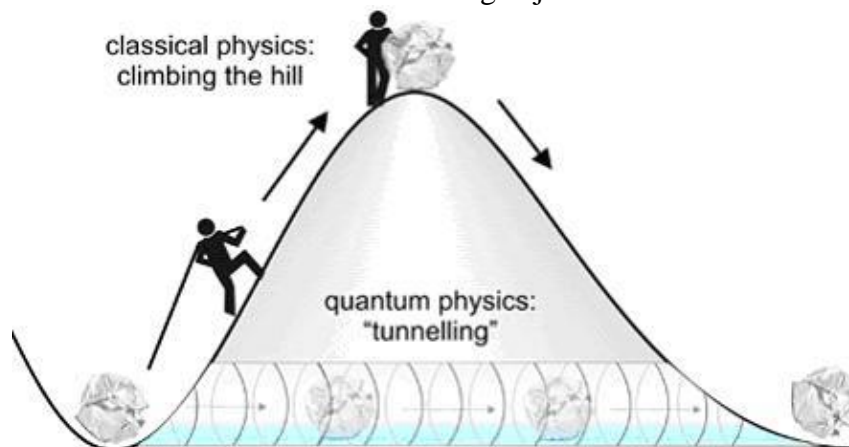
2. irudia: molekula bakar batez osatutako nanotransistorea.

2007an Manchesterreko unibertsitatean Andre Geim irakasleak eta Kostya Novoselov doktoreak orain arteko transistor txikienaren fabrikazioa lortu zuten, grafenoan oinarrituta. Transistore honen zabalera atomo batekoa zen soilik eta luzera berrogeita hamar atomokoa eta, gaur egun, hautagai indartsua da silizioa ordezkatzeko.

Azken aurrerapena molekula bakarrekotako transistoreen ikerkuntza izan da. Robert Wolkow doktoreak (ikertzaile nagusia), Paul Piva doktoreak, Alberta-ko Unibertsitateak eta Nanoteknologiako Instituto Nazionaleko ikertzaile taldeak molekula bakarrekotako transistorearen ideia garatu dute. Horretarako, atomo bakar baten karga aldatuz gero, silizio gainazal batean, hurbileko molekulen eroankortasuna kontrola daitekeela lehen aldiz frogatu dute.

Ikerlarien ikuspegiak gailu molekularrak lortzeko zegoen oztopo gaindiezina ebaztea lortu du: konexioak molekula bakarrean egitea lortzea. Wolkow doktoreak frogatu du silizio gainazal batean atomo bakarren karga kontrolatu daitekeela, alboko atomoak neutro dauden bitartean. Atomo horrek ondokoarekin korrante-jarioa baimentzen du (elektrodo batetik besterakoa bezala) eta bakarrik atomoaren polarizazioa aldatuz gero korrante fluxu hori baimendu edo guztiz gelarazi daiteke.

Ikerketa horren ildotik, Yale Unibertsitateak lehenengo transistore molekularra eraikitzea lortu du, molekula bat urrezko bi kontaktuetara lotuz (ikus 2. irudia). *"It's like rolling a ball up and over a hill, where the ball represents electrical current and the height of the hill represents the molecule's different energy states. We were able to adjust the height of the hill, allowing current to get through when it was low, and stopping the current when it was high."* Metafora honekin azaldu zuen Mark Reed-ek, Harold Hodgkinson-eko Ingeniaritza eta Zientzia Aplikatuen irakasleak, transistore molekularren funtzionamendua (ikus 3. irudia). Nanotransistore honen eraikuntza bermatzeko teoria kuantikoaren estatu desberdinen gainjartzean oinarritzen dira.

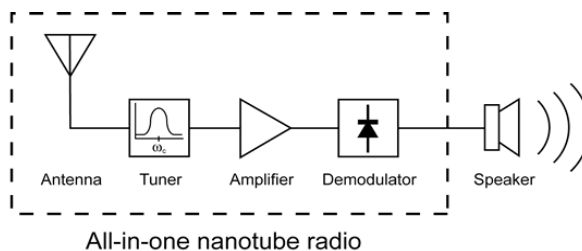


3. irudia: teoria kuantikoaren erabilera nanotransistoreetan.

3. Nanoelektronikaren gaur egungo egoera eta beste aplikazioak.

3.1. Irratiak.

Nanoirradiak garatu dituzte karbonozko nanohodiak erabiliz (ikus 4. irudia).



4. irudia: nanohodi batean eraikitako irratia.

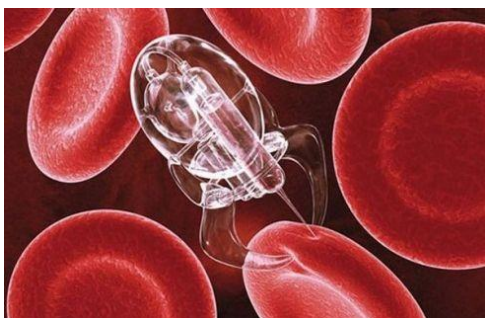
3.2. Ordenagailuak.

Nanoelektronikaren xedeetako bat elektronika konbentzionalarekin egiten diren mikroprozesagailuak baino potentzia handiagoak egitea da. Horretarako CMOS teknologiatik osagarrien ordez, nanolitografia modu berriak, nanohodiak bezalako nanomaterialak edota molekula txikiak aztertzen ari dira. Eremu-efektuko transistoreak egin dituzte karbonozko nanohodiak eta heterostrukturadun nanohodi erdieroaleak erabiliz.

3.3. Energia elektrikoaren sorrera.

Ikertzaileak nanohodiak eta beste nanostrukturadun materialak ikertzen ari dira eguzki-zelula merkeagoak eta eraginkorragoak sortzeko, siliziozko eguzki-zelulen ordez. Halaber, energia sortzeko bio-nano sorgailuak nola egin litezkeen ikertzen dihardute.

3.4. Mediku-diagnostikoak.



Gizakientzako aplikaziorik onuragarrienak garatze bidean daude. Biomolekulen kontzentrazioak detektatzen dituzten gailu nanoelektronikoak sortzeko interesa dago etorkizunean mediku-diagnostikoetan erabili ahal izateko. Aplikazio hori nanomedikuntza kategorian barne egongo litzateke.

Ildo bera jarraitzen duen ikerketa batek zelulabakar batekin elkar-eragiteko gai den gailu nanoelektronikoak garatzea du xede, biologiako ikerlanetan erabili ahal izateko. Gailu horiek nanosentsore dute izena eta osasuna bistaratzeko, biziraupenerako eta defentsarako erabili ahalko lirakete. *Advanced Materials* aldizkarian argitaratutako lan baten arabera, nanosentsoreen tamaina txikitzea lortu dute eta hauek (biomolekula disoluzio batean nahasiak) zelulen barnean sar daitezke zelula-mailako ikerketa sakonagoa egin ahal izateko.

4. Ondorioak

Ikerketa lanaren emaitza bezala, ondoriozta dezakegu nanoelektronikak eta batez ere nanotrantsistoreek, tennologiaren arloan aurrera pauso izugarri bat izan dela. Komunikazioaren eta informazioaren munduan aukera berriak sortu dituzte informazio asko eta kalkulu oso konplexuak eta zehatzak kudeatu dezaketen konputagailu kuantikoekin. Nanotrantsistorei esker potentzia handiko gailuak sortu daitezke hauen eraginkortasun eta tamainari esker.

Aurrerapen teknologikoez gain, nanoelektronikaren garapenak gizakiek ingurunea kontrolatzeko eta moldatzeko dugun gaitasuna nabarmentzen du. Honen adibide garbi bat da interkonexioak egiteko edo sortzeko molekulen eraldaketa

burutzea. Teknologia honen erabilera duela 30 urte ia ezinezkoa zen, aldiz gaur egun gero eta aurkikuntza garrantzitsuagoak egiten ari dira nanoteknologiaren arloan.

Azkenik azpimarratu beharra dago nanoelektronika duela gutxi sortutako zientziaren atal bat dela eta zientzialariek itxaropen handiak dituztela arlo honek ekar ditzazkeen aurkikuntzetan.

5. Bibliografia

Liburu eta interneteko helbide hauetan oinarritu gara lan hau egiteko:

Luque, M. (2015). Desarrollan chips del tamaño de una célula capaces de diagnosticarla individualmente. <http://www.solociencia.com/2015/12/30/desarrollan-chips-del-tamano-de-una-celula-capaces-de-diagnosticarla-individualmente/> . Granada: solociencia.com.

Costa-Krämer, J. L. (1963). Nanoelectronica, electronica molecular. http://www.phantomsnet.net/Resources/files/Nanoelectronica_alta.pdf. Sevilla: phantomsnet.net

Wikipedia (2015). Nanoelektronika. <https://eu.wikipedia.org/wiki/Nanoelektronika>