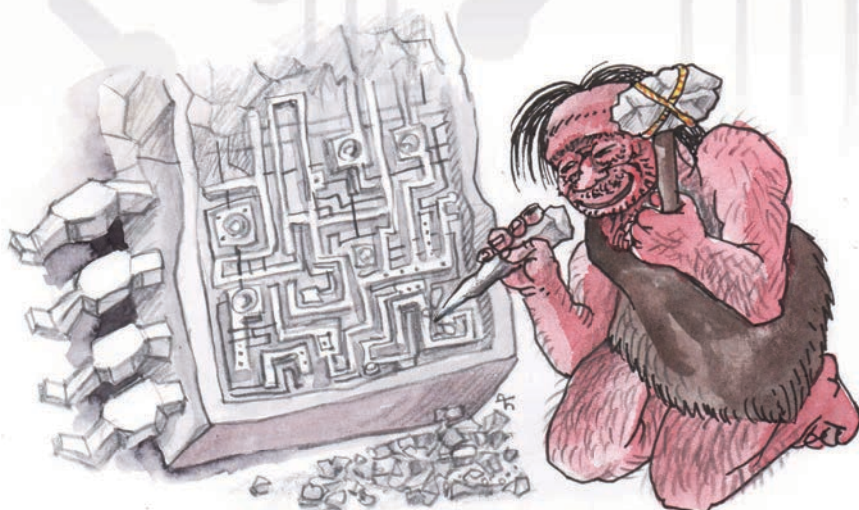


**60 година Муровог закона
и
40 година Света компјутера**





СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ
Галерија науке и технике

Svet
KOMPJUTERA

Аутори изложбе:

Зоран Љ. Петровић и Зоран Мошорински

Аутор фотографија:

Драган Аћимовић

Аутор карикатура:

Растко Ћирић

Организатори изложбе:

Српска академија наука и уметности
Свет компјутера, АД Политика
Математички институт САНУ

Кустоси изложбе:

Бојана Божић и Јасмина Ковачевић

Дизајн:

Дамир Влајнић

Сарадници на реализацији изложбе:

Антун Балаж, Драган Аћимовић, Антоније Ђорђевић, Растко Ћирић, Миодраг Кузмановић, Тихомир Станчевић, Драган Косовац, Марко Миливојчевић, Мирољуб Миливојчевић, Владан Девеџић, Ђорђе Симић, Милан Тадић, Спасоје Ерић, Андреј Здравковић, Иван Петраш, Драган Стевановић, Невена Пуач, Ненад Селаковић, Велимир Радмиловић, Драган Митраковић

Техничка реализација:

Дејан Крстевски

Лектура:

Јована Вицулин

Штампа:

Политика а.д.

Тираж:

20 000

Партнери изложбе

ПОЛИТИКА

НТЕС

Београд 2025. године

УВОД

Десетак година по открићу транзистора направљен је експеримент где је неколико електронских компоненти израђено у истом комаду полупроводничког материјала и тако је отпочео живот електронике кроз интегрисана кола. У изложби „60 година Муровог закона и 40 година Света компјутера“ пратимо историјат микро и нано електронике кроз идентификовање неких од интегрисаних кола, којима су отпочела посебна поглавља не само у историји електронике него и у развоју људске цивилизације у XX и XXI веку, кроз отварање и напредак нових производа које је та технологија отварала и кроз напредак технологија за израду интегрисаних кола који је био у потпуности испреплетан са развојем одговарајућих научних дисциплина. Пре свега, мотивација за развој интегрисаних кола потиче од развоја прво ручних калкулатора а потом, веома брзо и веома битно, и стоних (десктоп) компјутера и портабл уређаја који имају значајну моћ процесирања и одговарајућу меморију. После тога је отворено на десетине разних праваца примене који су диктирали даљи напредак. Наравно, најважнија интегрисана кола (или микрочипови – користимо оба израза) су централне процесорске јединице и меморијски микрочипови.

Од свог настанка дефинисаног пре свега открићем транзистора па потом израдом првог интегрисаног кола (1958) микроелектроника је доживела експлозивни развој, пре свега кроз минијатуризацију, која је омогућила да се стално повећава моћ интегрисаних кола повећањем броја транзистора по микрочипу. Тај развој је описан такозваним Муровим законом. Већ након неколико година напредовања у микроелектронским технологијама (1965) Гордон Мур (Gordon Moore) је формулисао оно што је добило назив „**Муров закон**“, **по коме се број компоненти на интегрисаном колу (микрочипу) дуплира сваке две године**. Иако се не ради о нечему базираном на науци него на емпиријском закону, Муров закон је постао метафора за развој интегрисаних кола те је практично и сам био један од мотивационих елемената. Микроелектроника је нераскидиво повезана са физиком и технологијом чврстог стања. Међутим, на фронту минијатуризације су се, пре свега, дефинисале две технологије које су биле кључне за успех Муровог закона, кроз даљу минијатуризацију компоненти. Прва је фотолитографија, а у друга је коктел технологија у вези са применама неравнотежне плазме.

У овој изложби пратићемо како унапређење микроелектронике захтева даљи напредак технологија које могу да послуже за израду интегрисаних кола. Како би се финансирао даљи развој, неопходно је да постоји мотивациони елемент. Развој, међутим, сам по себи отвара нова врата и нове могућности, које саме по себи хране потребу за даљим развојем. Ми ћемо пробати да укажемо на основне правце примена који су били најбитнији за реализацију Муровог закона и који су пред нама, у нади да ће се даљи развој наставити.

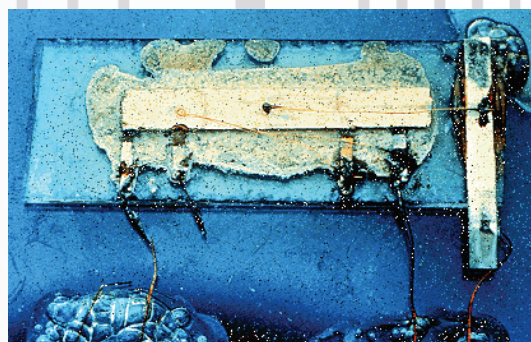
Микроелектроника, као и све што је из ње потекло, изненадила је човечанство, неспремно на оно што је пружала и необучено да је искористи и да покрене њене примене. Зато је едукација била битан део пута и битан додатак Муровом закону у домену технологија. Због тога се ова изложба одржава у заједници са „Светом компјутера“, нашим најстаријим и најдуговечнијим часописом који се бави технологијама, компјутерима и њиховим применама.

Уместо закључка, пробаћемо да завиримо у будућност, кроз дискусију планова дефинисаних популарним мапама пута у будућност, кроз развој нових производа који ће мотивисати даљи развој у технологијама и производњи микрочипова и разматрањем како ће се тај развој одразити на наш живот у будућности.

1. ОТКРИЋЕ И РАНИ РАЗВОЈ ИНТЕГРИСАНИХ КОЛА

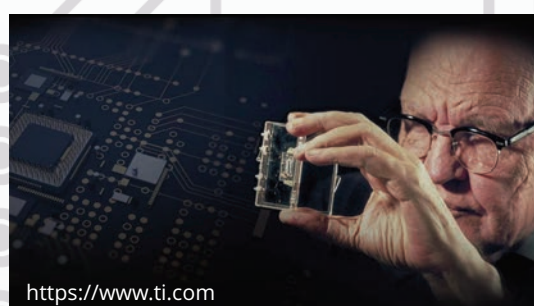
Откриће (реализација) биполарног транзистора било је велики догађај у домену фундаменталне физике, за који је врло брзо тројници научника додељена Нобелова награда 1956. године (Џон Бардин – John Bardeen, Волтер Братејн – Walter H. Brattain, Вилијам Шокли – William Shockley). Ови научници су у Беловим лабораторијама (Bell Labs) крајем 1947. године реализовали германијумски транзистор. Веома брзо развијени су погони за израду транзистора за тржиште и израду електронских кола – уређаја. После израде првог биполарног германијумског транзистора (видети текст академика Зорана В. Поповића у „75 година од открића транзистора“, уредник З.В. Поповић, Српска академија наука и уметности Београд 2024. 11-26) врло је брзо почео рад на реализацији бројних кола на бази компоненти реализованих у чврстом телу (са циљем да се, где год је могуће, замени вакуумска електроника, која је била доста скупа и осетљива, премда је имала неке предности у односу на електронику на бази чврстотелних транзистора и диода).

Непуних десет година по објави открића транзистора, десио се следећи значајан пробој. Џек Килби (Jack Kilby), приправник у фирми *Texas Instruments*, током лета 1958, док су други били на годишњем одмору, а он на то још увек није имао право, добио је задатак да радећи на систему за израду транзистора, научи технологију-поступак фабрикације компоненти у германијуму. Уобичајена процедура је била да се на једном комаду германијума направи транзистор, на другом отпорник и тако даље. Килби је, међутим, на један комад германијума ставио и транзистор и неопходан отпорник (видети слику 1.1). Везу између два елемента и спољашњег напајања остварио је жицама које су полазиле са површине основног материјала. До септембра, када је презентовао свој резултат фирми, Килби је развио и неку врсту теорије – погледа на будућност. Наиме, он је увео појам терора бројева и предвидео је да ће будуће примене имати све веће и веће бројеве транзистора, па ће се, самим тим, морати порадити на паковању великог броја транзистора на једном комаду материјала. Килби је свој резултат и размишљања о будућности интегрисане електронике приказао својим сарадницима 12. септембра 1958. године. Неумитно је било то да ће у даљем развоју уследити значајна минијатуризација компоненти и паковање великог броја компоненти на појединачне комаде полупроводника.



Сл 1.1 Прво интегрисано коло, које се састоји од две одвојене компоненте израђене на једном комаду германијума.

Сл. 1.2 Џек Килби, добитник Нобелове награде 2000. године за откриће интегрисаних кола.



<https://www.ti.com>

Килби у листу својих успеха, поред израде низа кола за потребе војске, убраја и израду првог дигиталног калкулатора, који је од фирме *Texas Instruments* створио светског лидера у домену малих рачунарских машина. За своје резултате у изради првог „интегрисаног кола” Џек Килби је добио Нобелову награду 2000. године (те године награду су добили Жорес Алферов (Zhores Alferov), Херберт Кремер (Herbert Kroemer) и Килби, за три веома различита доприноса физици чврстог стања и одговарајућим применама).

Од дана када је Килби објавио своје откриће, електроника као наука, њене примене и комерцијализација, превасходно су нераскидиво повезани са интегрисаним колима. Према томе је историјат развоја интегрисаних кола доминантан део историјата развоја савремене електронике. Свако ко је имао прилику да види електрична кола заснована на појединачним транзисторима памти да је за свега неколико транзистора било неопходно у коло укључити неколико пута више отпорника и кондензатора, а да је број веза обично био бар десет пута већи од броја компоненти. Имајући то у виду, коло какво је направио Килби није било добра основа за даљи развој кроз повећање броја компоненти и смањење њихове величине, јер није постојало решење за једноставан технолошки процес који би повезао све те компоненте у функционално коло.

И поред Килбијевог доприноса, епицентар развоја електронских компоненти и интегрисаних кола био је превасходно везан за активности потекле од групе у Бел лабораторијама, односно од докторанада којима је ментор био нобеловац Шокли. У историји електронике ова група се назива издајничка (одметничка) осморка, јер су напустили свог ментора. Наводе се две интерпретације: прва – да су их отерали контроверзни политички ставови Шоклија, као и његов карактер, а друга, која делује много вероватније, јесте да им је он сам рекао да пожуре да оснују компаније, имајући у виду све могућности примене, а самим тим и велике зараде које су могле да потекну из овог, самог заметка електронике који су имали у рукама. Двојица одметника: Гордон Мур (Gordon Moore) и Роберт Нојс (Robert Noyce) основали су фирму *Fairchild Semiconductor*, из које је касније настала фирма *Intel*. Већ 1958. године Нојс је, радећи у *Fairchild Semiconductor*, направио систем са неколико елемената на једном комаду полупроводника, који је био патентиран почетком 1959.



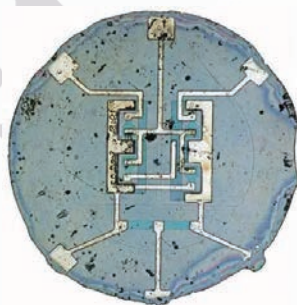
Сл. 1.3 Оснивачи фирми *Fairchild Semiconductor*, и касније *Intel*, Роберт Нојс и Гордон Мур – први је познат по првом интегрисаном колу са напареним водовима, а други по такозваном Муровом закону.

Извор: <https://upload.wikimedia.org>

Битна разлика у односу на Килбијев систем била је да су везе (проводници) биле метални танки слојеви на површини материјала (слика 1.4). Ово је било суштинско унапређење које је омогућило прво масовну производњу, а потом и даљу минијатуризацију, на чему је инсистирала и њихова пријава патента. Треба рећи да је Нојс први почео да користи силицијум као основни полупроводни кристални материјал. Нажалост, сам Нојс није живео довољно дуго да учествује у подели Нобелове награде, коју је свакако заслужио, можда више од свих дотадашњих такмичара у трци ка интегрисаним колима.

У почетним фазама развоја интегрисаних кола морамо споменути још две особе. Прва је Френк Ванлас (Frank Wanlass), који је открио такозване CMOS логичке структуре и направио прво интегрисано коло са овим типом компоненти. CMOS се састоји од комплементарних упарених MOSFET транзистора (*metal-oxide-semiconductor field-effect transistor*). MOSFET транзистори се састоје од два дела високе проводности – извора и понора (*source – drain*) електрона који су спојени слабије проводним каналом. Уз тај канал налази се посебни део који представља контролну электроду – капију (*gate*), чији напон контролише проводност канала (отуда ефекат поља на проводност транзистора). Данашња интегрисана кола су, пре свега, заснована на CMOS технологији. Други познати пионир микроелектронике је Едвард Кеонџијан (Edward Keonjian), који се сматра оцем микроелектронике јер је већ 1959. дизајнирао и реализовао функционална интегрисана кола, аутор је прве монографије о микроелектроници и најранијих публикованих радова из ове области.

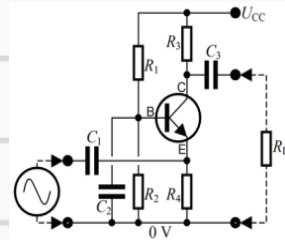
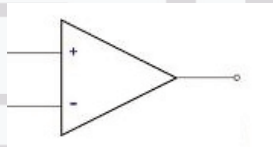
На крају, треба напоменути да је већ након две-три године напредовања у микроелектронским технологијама и изради интегрисаних кола (1965) Гордон Мур формулисао такозвани Муров закон, по коме се број компоненти на интегрисаном колу (микрочипу) дуплира сваке две године. То је била једноставна констатација напретка који је важио у првих пар година рада у овој области. Међутим, овај „закон“ је обележио напредак интегрисаних кола кроз микро и нано електронику током 60 година. Безброј пута је проглашаван крај важења Муровог закона, али су, и поред тога, немогуће границе померане и померају се дан-данас. Неко би рекао да је напредак понекад бржи и од предвиђања закона.



Сл. 1.4 Интегрисано коло у изради Роберта Нојса са видљивим метализираним контактима
Извор:
<https://www.edn.com>

2. ФУНКЦИОНАЛНА ИНТЕГРИСАНА КОЛА

Иако нам се не допада употреба термина *чип*, ми смо га овде често користили, пре свега због варијације у избору речи, а и због неких уврежених навика у терминологији. Наравно, било би исправније рећи интегрисано коло. Први нашироко познати микрочип изbacила је 1968. године, компанија *Fairchild* и звао се операционо појачало (Op-Amp) $\mu A741$. Ово је било веома једноставно коло, што се види са слике 2.1.а. Почетна цена у првој години производње била је 300\$ по чипу, да би после свега неколико година пала на 0,3\$ по чипу. Појединачни корисници набављали су микрочип $A741$ у хиљадама примерака и у свакој електронској радионици и лабораторији универзитета у развијенијим земљама често се могла наћи посебна фиока пуна ових чипова. Ова операциона појачала обележила су прву декаду развоја електронике засновану на интегрисаним колима и донела су нам и посебан симбол за операциона појачала – троугао са две линије на улазу и једном линијом на врху троугла за излаз (слика 2.1). Горњи улаз је неинвертујући, доњи је инвертујући, те је напон на излазу појачана разлика улазних напона.



а)

б)

Сл. 2.1 Fairchild операционо појачало $\mu A741$:
а) симбол и изглед чипа; б) електронска шема
Извор:
<https://upload.wikimedia.org>

Врло брзо је развијена широка гама микрочипова са разним функцијама, попут компаратора, логичких кола, исправљача и осталог. Такође је основна активност у електроници усмерена у правцу интеграције појединих интегрисаних кола у оперативна кола специјалне намене. На слици 2.2. показали смо како се једно операционо појачало врхунских карактеристика (брзина) може прилагодити потреби да појачало сигнала има веома велику улазну импедансу.

Поред интегрисаних кола које је требало повезивати у целине како би се остварила жељена функција, у овој деценији су се појавила и прва специјализована функционална интегрисана кола. Један од првих примера који је својим појављивањем отворио целу једну нову комуникациону опцију за персоналне компјутере био је чип *Western Digital WD1402A UART* (1971), који је омогућио развој и масовну примену модема, а самим тиме и повезивање рачунара у мрежу. Свако од ових специјализованих интегрисаних кола са обједињеном целином за реализацију појединих функција отворало је ново тржиште. Свако ново тржиште је давало готово неограничене маргине профита, које су промовисале инвентивност. У другу руку цене на овом новом тржишту би се врло брзо кроз конкуренцију свеле на реалне па чак и минијатурне цене производа, а то се опет пројектовало у масовну употребу.



Сл. 2.2 Конверзија појачивачког чипа мале улазне импедансе и велике брзине у чип веома високе улазне импедансе за детекцију сигнала са фотомултипликатора, развијеног у Националном институту за стандарде и технологије САД 1990. године

Тако је, на пример, 1986. године развој интегрисаних кола за обраду слике са *CCD* сензорима *Kodak KAF-1300 Image Sensor CCD* омогућио развој снимања, прво дигиталних фотографија, а

потом и видео-снимака коришћењем компјутера. Убрзо потом се развио систем дигиталних камера (уз реализацију адекватних меморијских чипова) да би се све то преселило на мобилне телефоне. Један од чипова за обраду MP3 компримованих звучних датотека био је *Micronas Semiconductor MAS3507 MP3 Decoder* (1997). Овакви чипови су потпуно прекомпоновали тржиште портабл музичких уређаја те су веома брзо нестале аудио-касете и компакт-дискови, а нови носиоци звука, попут микродискова (са дигиталним снимањем на микрокасети), нису ни заживели. Свет дигиталне музике је постао богатији за уређаје класе Д, засноване у почетку на чипу *Tripath Technology TA2020 (AudioAmplifier 1998 – class D)*. Овај режим рада омогућио је квалитетан звук релативно високе снаге, а без велике дисипације снаге у самом појачалу. На крају, нови режими дистрибуције музике (и видео-материјала), као што је стриминг, захтевали су цело тржиште специјализованих чипова за дигитално-аналогну конверзију, који су данас постали кључни за тржиште аудио-уређаја. Ниво интеграције је такав да данас можете купити музичке системе који се састоје од само два бежично повезана звучника. У звучницима се налазе и појачала, и систем за стриминг и дигитално-аналогни конвертор.

На крају, напомнимо интеграцију електронског микрочипа и микромашинских система, попут уређаја са покретним *Texas Instruments* микроогледалима (*Texas Instruments Digital Micromirror Device (1987) image projectors*), који су служили за пројекцију слике.

3. ЦЕПНИ КАЛКУЛАТОРИ, ПРОЦЕСОРИ И КУЋНИ РАЧУНАРИ

Сам добитник Нобелове награде за откриће интегрисаних кола – Килби брзо је прионуо на посао како би развио интегрисано коло које је било основа за џепне калкулаторе. Први уређаји са 4 операције (слика 3.1а) су се брзо проширили по употреби и код разних произвођача. У домену научних калкулатора владала је конкуренција између фирми *Texas Instruments* и *Hewlett Packard* која је увела инверзну пољску нотацију *RPN* за редослед уноса података, операције и добијање резултата. Овај редослед притискања дугмића био је веома важан јер су две фирме увеле и програмабилне џепне калкулаторе, који су обично могли да упамте по стотинак корака, што је вештијим корисницима било довољно да реализују комплексније прорачуне (слика 3.1б). Један од првих таквих калкулатора био је *TI SR-52*, уведен 1975. године, који је имао 225 корака, комплетан сет функција које је обезбеђивао аритметички процесор *TMC0501E* са 5-6000 транзистора. Постојали су и неки већи и јачи стони уређаји, али у домену џепних калкулатора ово су биле карактеристике које су биле на фронту технолошких могућности дана. Причало се да ако је *TI SR-52* џепни калкулатор, онда морате да имате „велике и дубоке џепове“, јер је био већег габарита и подједнако високе цене. Још „дубљи џепови“ били су потребни за моделе који су омогућавали „памћење“ испрограмираних корака на магнетним картицама, које су се очитавале провлачењем кроз калкулатор или пак у додатом чипу.



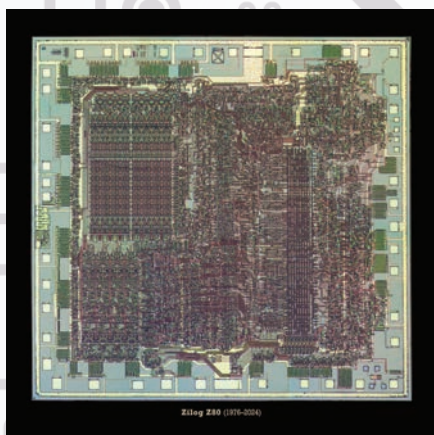
Слика 3.1

- а) Рани калкулатор са 4+2 операције из 1973. године
- б) Џепни калкулатори TI SR-52 и HP35 најсавременији џепни калкулатори са краја седамдесетих година двадесетог века

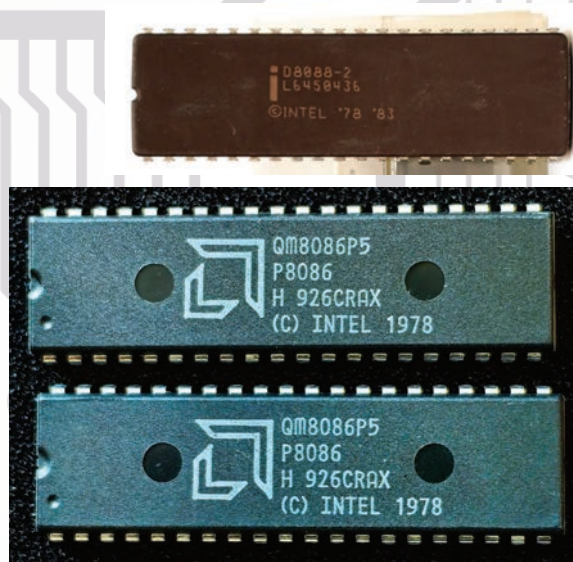
Интегрисана кола за покретање ових калкулатора су такође била основа за развој процесора који су се прво користили у великим рачунарима, а потом и у такозваним стоним (десктоп) рачунарима, па даље и у портабл лаптоп рачунарима.

Како су компјутери напредовали (почев од оних заснованих на цевима, преко транзисторских, до оних који су користили интегрисана кола различитог степена интеграције), тако се постизао и циљ да се основне функције одвоје на целовитим интегрисаним колима – процесорима и меморијским чиповима. Висок степен интеграције довео је до развоја персоналних компјутера, јер су интегрисана кола могла да понесу комплетне функције компјутерског система у уређају који би стајао на радном столу.

Комплетни процесорски чипови (централна процесорска јединица) појавили су се прво као јединице са 4 бита (*Intel 4040*-1971), па потом и 8 бита (*Intel 8008* из 1972. и *Intel 8080*, који се појавио 1974. са сетом од 78 инструкција и 6000 транзистора). Прво су грађени већи компјутери као и уређаји који својим габаритом не би могли да се сместе у радне собе научника. Године 1975–1976. настао је и микрочип *Zilog Z80 Microprocessor* (компатибилан са 8080), који је био моћнији за 120 инструкција. Ови процесори су отпочели своју каријеру са 8500 транзистора и то на 2,5 MHz, 4 MHz, 6 MHz и 8 MHz. Као и код рачунара заснованих на раним Интеловим чиповима, оперативни систем је био *CP/M*. *Zilog Z80* (слика 3.2а) је 48 година био заступљен на тржишту са великим бројем посебних примена и малих кућних система попут компјутера *Sinclair ZX Spectrum*, слика 3.2б.



Сл. 3.2а) *Zilog Z80 Microprocessor*



Сл. 3.3 Породица Интелових процесора



Сл. 3.2б) *Sinclair ZX Spectrum*



Сл. 3.4 *Motorola 68000* процесор

Кључни процесори за развој персоналних компјутера појавили су се 1979. године. Прво се појавио Интелов 16-битни процесор – *Intel 8088* (Сл. 3.3а). У другој половини 1979. године *Motorola* је избацила на тржиште свој MC68000 процесор са 68.000 транзистора (дупло више од Интелових чипова, Сл. 3.4).

Истовремено кад и 8088 развијан је и *Intel 8086*. Разлика између два Интелова чипа је била у спољним комуникационим магистралама, које су биле са 8 или 16 бита. Иако је чип 8086 био дупло бржи, јер је имао ширу комуникациону магистралу, чип 8088 је био примарно коришћен за развој персоналних компјутера због компатибилности са старијим 8-битним магистралама. Интелове процесоре су производили многи произвођачи, не само *Intel*. Посебно је познат процесор *NEC V20*, који је био бржи од Интеловог оригинала. У то време се појавио и други велики произвођач микро чипова у САД, фирма *AMD*. Они су такође кренули од израде лиценцираних Интелових микрочипова, на пример 80286.

Те кључне 1979. године највећи произвођач великих компјутера *IBM* донео је одлуку да развије свој стони рачунар (познат по скраћеници за персонални компјутер *PC*). Била је то, у то време, највећа компјутерска компанија са великим угледом, која је покривала тржиште рачунарских система. Иако су неки произвођачи и раније производили стоне системе на бази разних чипова, почетком персоналних компјутера сматра се тренутак када је настао *IBM PC*. Ова фирма је, у жељи да заштити свој монопол, потражила од једне мале софтверске фирме да јој развије посебан оперативни систем *PC DOS*, где *DOS* стоји за *DISC OPERATING SYSTEM*. Та фирма, *Microsoft*, на тржиште је избацила и други практично идентичан оперативни систем под називом *MS DOS*, чиме су отворили Пандорину кутију јефтиних клонова *IBM PC*-а и започели трку у којој је највећи произвођач рачунара на свету изгубио, а победник је била мала софтверска фирма формирана од стране пар студената у родитељској гаражи. И наравно, безброј корисника кућних рачунара широм света. Иако је цео свет чекао да *IBM* развије свој персонални рачунар и тако дефинише стандарде, на тржишту су превладали клонови, а после неког времена је и сам *IBM* напустио производњу персоналних компјутера, прво је пребацивши у ауторизовану фирму *Lenovo*, а потом је и само име *IBM* нестало са етикета персоналних рачунара. И поред постојања 16-битне архитектуре, лошији (два пута спорији) чип 8088 постао је доминантан и он је дефинисао настанак персоналних компјутера. Може се слободно тврдити да је 8088 технолошко достигнуће које је, упркос својим недостацима, променило људску цивилизацију више од било ког другог достигнућа, барем током претходног столећа.

Прве процене тржишта су биле да ће се продати свега пар хиљада кућних рачунара. Иако је било јасно да је 68000 знатно (два пута) моћнији процесор, Интелови чипови су се лакше уклапали у раније архитектуре компјутера, такође засноване на Интеловим ранијим чиповима, а и производња је постала довољно масовна да подржи велике серије стоних рачунара нове генерације. Стога је Моторолино „чедо“ остало да покреће захтевније (посебно кроз графички интерфејс) уређаје, као што су *Apple*, *Macintosh (Apple)*, *AMIGA*, *ATARI*, али са тада знатно мањим тржиштем. Често се каже да би свет персоналних компјутера данас потпуно другачије изгледао да је Моторола свој 68000 чип избацила шест месеци раније. Исте 1979. године десила се још једна жртва рата цена у почетној фази борбе за тржиште персоналних компјутера. Ради се о првом комплетно 16-битном персоналном рачунару *TI 99/4A* базираном на *TI* микрочипу *TMS9900 @ 3 MHz*. На слици 3.5 приказали смо пар рачунара који су владали те далеке 1979. године и наредних неколико година када је настао, и свет освојио, персонални рачунар *PC*.

Године 1987. *Sun Microsystems* је развио свој *SPARC (RISC)* процесор и успешно га интегрисао у мале (радне станице) и велике компјутере велике брзине и перформанси, који су почели да

конкуришу великим суперкомпјутерима. *RISC* системи имају мањи сет инструкција, које се обављају обично у једном такту (за разлику од система са комплексним сетом инструкција *CISC*) те раде брже, али захтевају много сложеније кодове. Процесори са редукованим сетом инструкција су били основа за захтевније рачунарске системе и појединачне радне станице. На слици 3.6 је приказана једна од најпопуларнијих радних станица базираних на *RISC* процесорима.



Слика 3.5

а)

б)

а) Шнајдер ХТ (са чипом 8088 са два флопи диска) и један од раних
б) Мекинтош рачунара, који су се појавили 1984. године, базиран на Моторолином чипу 68000 и са графичким корисничким интерфејсом.

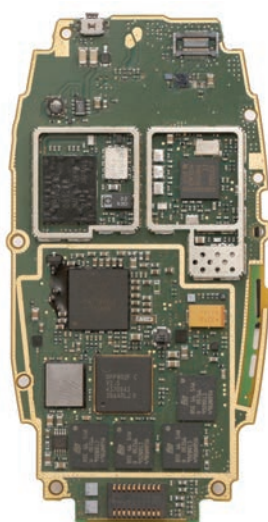


Слика 3.6 Digital RISC радна станица

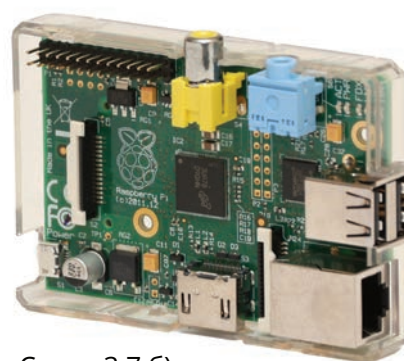
Ова радна станица је базирана на 64 битном чипу Алфа 21064, који се појавио 1993. године користећи 0.75 μm технологију, са 1.7 милиона транзистора и уз такт од 150 до 300 MHz.

Британска фирма *Acorn Computers* је, наиме, незадовољна стањем на тадашњем тржишту, 1985. развила 32-битни микропроцесор са редукованим сетом инструкција (*RISC*) *ARM1* (*Acorn Risc Machine*), а две године касније отпочела је производња персоналних компјутера на бази тог *RISC* процесора. Нажалост, ови компјутери су нестали брзо, иако су имали супериорни оперативни систем и перформансе. На тржишту је постојала бесконачна и јефтина понуда *IBM* клонова, а рачунари на основу *RISC* микрочипова већ су постојали на тржишту за захтевније кориснике.

Новоразвијени процесори од стране *Acorn Computers* су, међутим, преживели веома дуго, и данас су ту и праве велике планове. Захваљујући малој потрошњи електричне енергије, они су били основа за прву генерацију ручних, портабл система са батеријским напајањем и микропроцесором. Тако је у сарадњи са компанијом *Apple Computer* прво реализован уређај *Newton* за препознавање писаног текста. Тај систем био је претеча таблета (*Apple iPad* – 2004) и мобилних телефона (*iPhone* – 2007) са новијом генерацијом истог процесора. Тврди се да је овај микрочип (*RISC*) (*ARM1*, слика 3.7) у основи преко 95% данашњих мобилних телефона (до данас је продато приближно 300 милијарди ових чипова). Данас је свет мобилних телефона главни покретач даљег развоја микро/нано електронике и по обиму производње и по укупној вредности.



Слика 3.7а) – Матична плоча мобилног телефона са ARM1 процесором

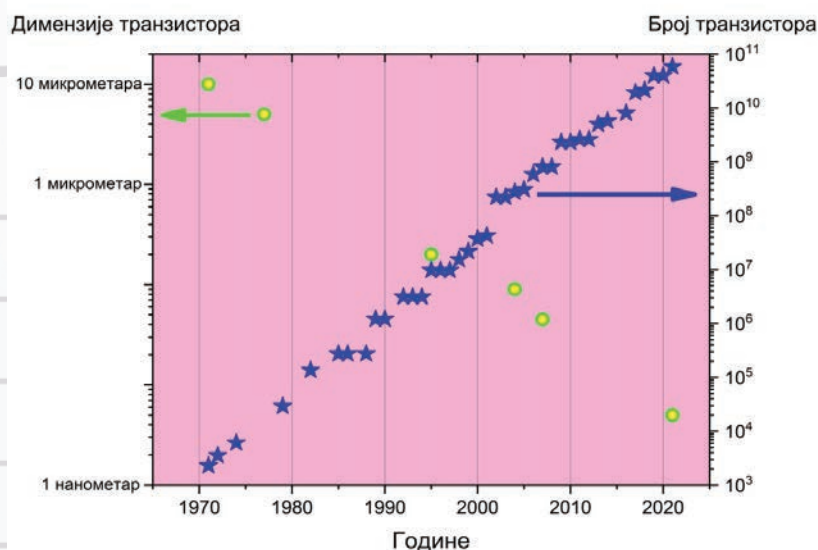


Слика 3.7 б)

3.7 ARM1 процесори су се често могли наћи а) инкорпорирани у матичну плочу мобилног телефона, али и као б) део микро рачунара на једној плочи, као што је то био систем *Raspberry*, најпродаванији британски рачунар свих времена

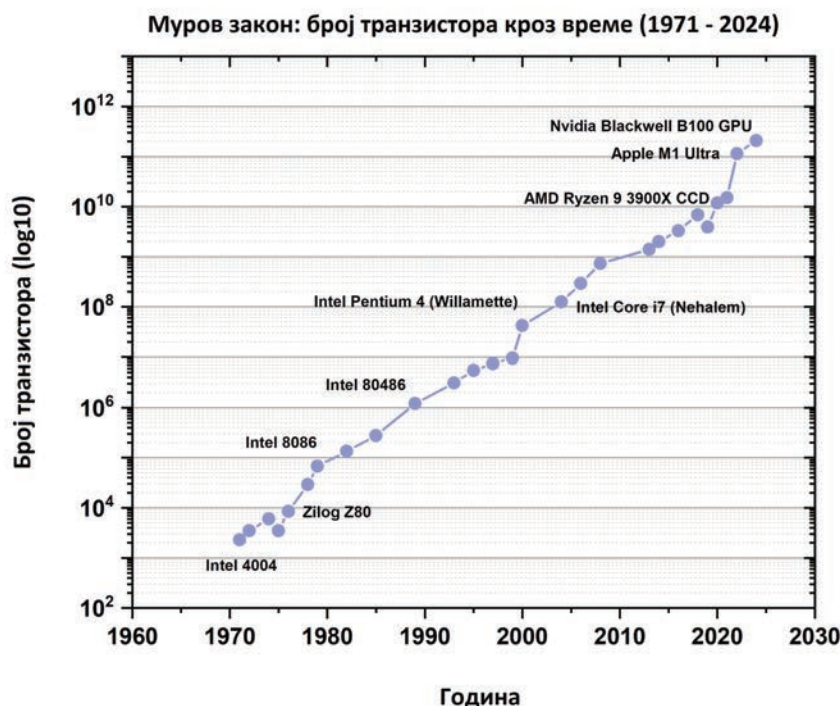
4. МУРОВ ЗАКОН

Ако бисмо у потрази за Муровим законом графички приказали пораст броја транзистора (у логаритамској размери) у односу на године, добили бисмо праву растућу линију која почиње од броја 10 (на пример), а достиже данас и преко милијарду транзистора по квадратном центиметру (видети слику 4.1). Предвиђања су да ће 2030. године густина транзистора бити око трилион по квадратном центиметру. Истовремено, повећање броја јединица по задатој површини захтева драстично смањење компоненти, које је приказано другом (оппадајућом) кривом (правом у логаритамској размери) на истој слици. Не памти се да је било која технологија остварила тако брз експоненцијални раст (односно минијатуризацију) без заустављања а у тако кратком периоду, те да је истовремено креирала огроман број нових производа и тржишта и повремено била основа водеће економске активности на планети (електроника је у конкуренцији за водећу позицију са енергетиком, чија позиција зависи од цена енергената, а не у највећој мери од технолошког развоја).



Слика 4.1 Муров закон приказан у броју транзистора на јединици површине чипа – плава линија. Муров закон приказан кроз карактеристичну димензију компоненти – зелена линија.

На слици 4.2 смо приказали где се на Муровој линији налазе неки од познатијих процесора у развоју персоналних компјутера. Треба посебно рећи да се трка минијатуризације, односно повећања броја транзистора на граници технолошког фронта, пре свега води у производњи процесора и меморијских интегрисаних кола. У последње време, међутим, тестирање Муровог закона се врши на графичким чиповима, који су данас најзахтевнији и имају највећи рачунарска капацитет па се све чешће користе и за нумеричке прорачуне. Тако се дискусија из 2022. године око тога да ли је Муров закон још увек жив дешавала између NVIDIA и INTEL графичких процесора. Није чудо да је фирма у којој је и настао Муров закон тврдила да је и даље релевантан и да ће се трудити да га максимално подржи.



Слика 4.2 Муров закон приказан у броју транзистора на процесору са прецизираним временским координатама неких од најпознатијих процесорских чипова.

Пораст моћи интегрисаних кола је од првог дана био експоненцијалан, а то су пратиле разне шале попут оне: „Како би изгледали аутомобили да њихов напредак прати Муров закон?“ Одговор је да би трошили милилитре горива уз снагу сличну ракетама које лансирају летилице у космос, а да би им величина била пар милиметара. Свако од нас би имао стотине хиљада таквих аутомобила на свом паркинг месту. Срећом, код електронских компоненти то има смисла, а за аутомобиле важе неки другачији закони. Замислите како би људска раса изгледала да је еволуција људи кренули путем Муровог закона (што јесте тема једног од романа познатог писца Курта Вонегута).



Слика 4.3 Аутомобил по Муровом закону

Ако се Муров закон интерпретира као број транзистора на микрочипу (или по квадратном центиметру микрочипа) онда Муров закон и даље успешно напредује. Исто важи и за број операција које процесор може да изведе у неком времену. Међутим, по низу основа интегрисана кола су доживела свој максимум праћен сатурацијом, те напредак на ширем фронту мора да компензује заостајања у неким доменима технологије, на пример увођењем више слојева транзистора ако се разреши проблем хлађења.

5. НАПРЕДАК КОМПЈУТЕРА И ПРАТЕЋИХ УРЕЂАЈА

Ипак, основна примена интегрисаних кола била је код персоналних компјутера, а касније и код мобилних телефона, који сами за себе представљају рачунарске системе. Две категорије интегрисаних кола представљају основу за компјутере: процесори и меморијски чипови. Треба се сетити да су „стручњаци“ за тржиште проценили у почетку да ће тржиште персоналних (стоних) компјутера бити мало, свега неколико хиљада уређаја.

У категорију копроцесора спадају графички процесори у којима су контрола графичких функција и прорачуни за формирање детаљне слике (са данашњим резолуцијама, то су гигантски захтеви по питању снаге процесора и меморије), издвојени у посебна интегрисана кола. Постоји огроман број графичких микрочипова на тржишту и ми нећемо имати ни снаге, ни времена да улазимо у анализу ових чипова. Важно је напоменути да су неретко компјутерска снага и меморија у већој мери присутне у графичким процесорима него у самим централним процесорским јединицама. Данас је развијен и посебан систем пресељења основних научних прорачуна, који имају интензивну употребу математичких функција, на графичке процесоре који омогућују и паралелно процесирање.

Први рачунари имали су, на основу интегрисаних кола, уз основни процесор и меморијске чипове на матичној плочи, и стотине, ако не и више компоненти, претежно специјализованих интегрисаних кола. Важан корак ка функционалности и подржању ниске цене персоналних компјутера настао је када су све те функције интегрисане у мањи број интегрисаних кола. Чип-сет AT (*Chips & Technologies AT Chip Set 1985*) је све помоћне функције на матичној плочи објединио у пет интегрисаних кола.

Сви делови персоналних рачунара су унапређивани с временом. Посебно је битно да је постало могуће да се сними слике и видео-снимци, да се обрађује и репродукује звук, да се повезује са мрежама и другим системима. Некада су подаци и програми били прекуцавани или копирани са магнетне траке да би се пренели у други рачунар, док данас постоје везе преко интернета, а и директне везе преко мреже. Транспортабилни рачунари постали су портабл рачунари и тако су постали истински персонални, готово као проширење ваше анатомије, увек уз вас. Тако је произвођач познат по принтерима освојио производњу првих портабл рачунара (*EPSON*) (видети слику 5.1а) који су се заиста могли држати на крилу (иако нису били лаки). На слици 5.1б) је приказан лаптоп модел IBМа један од последњих персоналних рачунара који је носио име ове компаније. На слици 5.1в) је рачунар *Fujitsu Siemens* као пример уређаја са ротирајућим екраном по коме се може писати.



Слика 5.1 а)

б)

в)

а) Један од првих преносивих - *EPSON* лаптоп рачунара

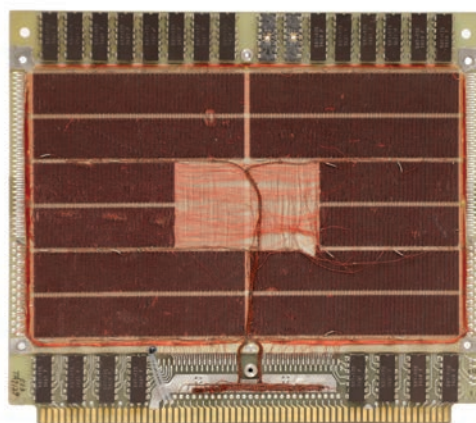
б) један од последњих рачунара произведен под фирмом *IBM*

в) Рачунар *Fujitsu Siemens* који има низ нових особина попут ротације екрана од 360 степени, по коме се може писати специјалном оловком, чиме је спајао функцију таблета и лаптоп рачунара.

6. МЕМОРИЈСКИ ЧИПОВИ И ЊИХОВЕ ПРИМЕНЕ

Друга категорија основних чипова, поред процесора, свакако су меморијски чипови (односно меморијске јединице). Као прелазни корак од процесора ка меморијским колима могу се споменути чипови на којима се може записивати и преписивати садржај у појединим моментима, а који потом реализују ту функцију, док постоји потреба за њом. У том смислу су се први појавили *EPROM* чипови.

Но, свакако се вреди вратити даље у прошлост, у време пре постојања стоних рачунара. Поред магнетних трака, радна меморија у самим рачунарима (на пример *PDP3*, *IBM 1130* итд.) била је заснована на магнетним језгрима кроз која су провлачене жице за уписивање и брисање података – битова. Магнетне траке и чврсти дискови били су спора меморија, недовољно брза да буде основа самог рачунања у компјутеру. Принцип меморије са магнетним (феритним) језгрима приказан је на слици 6.1, где је показана једна меморијска картица која је одговарала меморији од неколико стотина бита.



Сл. 6.1 Меморијска плочица капацитета 8 kb која одговара капацитету дела једне странице текста. Пример меморијске плоче из рачунара *PDP8* направљене 1971. године. Овакве меморијске плоче су коштале више хиљада долара, а капацитет им је ретко прелазио десетак kb. У такву у меморију могло је да стане око пола странице текста.



Слика 6.2 данас актуелна флеш меморија за екстерне SSD – дискове за чување података од 2 TB. Капацитет ове меморије је грубо процењено на око 300.000 књига, форматираних као енциклопедија са око 1000 страница.

Постоје две категорије меморијских чипова – такозвани неволатилни (који се не бришу гашењем напајања) и волатилни (они којима упис нестаје са нестанком напајања или освежавања). У прву категорију спадају такозвани ROM (*read-only memory*) чипови, док у другу спадају чипови са случајним (боље би било превести слободним) приступом, или *RAM* (*random-access memory*). Прва група је настала из такозваних EPROM обрисивих програмабилних чипова, који се могу брисати применом ултраљубичасте светлости да би се унео нови запис. Ови чипови су на себи имали прозор од кварца, како би се УВ зрацима изложио активни део меморије и како би се омогућило брисање. Нешто функционалнији, али спорији и скупљи, били су чипови са електричним брисањем EEPROM. Ово свакако није компатибилно са потребама брзог рада на компјутеру, али је примењиво за основне операције система, као што су, на пример, BIOS и друге системске активности.

ROM чипови обично су директно везани за процесор. Категорија чипова са приступом брисању и писању података RAM има нешто спорији приступ, али и даље максимално брз (колико је то могуће постићи). RAM чипови развијали су се полазећи од већег броја транзистора по биту, да би данас то био један транзистор и један метал-оксидни полупроводни MOS кондензатор. То је принцип рада динамичке RAM меморије (DRAM). Битно је и то да се наелектрисање на кондензатору празни, те се подаци у меморији морају временом обнављати. Обнављање није неопходно код такозваних SRAM меморија (Static RAM), али су такве меморије скупље и обично се користе за мање капацитете и брже примене. Даљи напредак иде кроз повећавање количине информација која се може преузети по једном такту сата. Тако, на пример, DD4 SDRAM омогућава пренос 16 речи по циклусу основног такта. Овде S у SDRAM потиче од термина „синхроно“, а не „статичко“ као у SRAM.

Фуџио Масуока (Fujio Masuoka) комбиновао је у такозваној флеш (*flash*) меморији брзину и велики капацитет RAM чипова и неволатилност ROM чипова у компанији Toshiba, још 1980. године. У флеш меморији је на крају постигнута оптимална структура: 1 транзистор = 1 бит (а развијене су и NAND и NOR логика). Како није постојало тржиште за овај тип меморије, ствари су се покренуле тек крајем осамдесетих, када се појавила велика потреба за брзом, компактном неволатилном меморијом за дигиталне камере и портабл мини и микро музичке системе (MP3). Други фактор у поновном покретању развоја била је и конкуренција других произвођача микрочипова, посебно у Јапану. Флеш меморија је касније постала основа за замену чврстих дискова на бази магнетних материјала применом полупроводничких интегрисаних кола – *solid state disk* (SSD), данас доминантног модуса трајног складиштења података и у оквиру компјутера, а и као преносне меморијске јединице.

Као и код свега другог, развој у домену меморијских чипова био је условљен потребама, од дигиталних фото-апарата и извора музике, до чувања свих података на великим дисковима па чак и у меморијском облаку (*Cloud*).

7. РЕЦЕПТИ (РАЗВОЈ ТЕХНОЛОГИЈА) ЗА ПРОИЗВОДЊУ ИНТЕГРИСАНИХ КОЛА

Напредак и историјат интегрисаних кола је, пре свега, историјат познатих и масовно коришћених микрочипова и технологија за њихову производњу. Основа микроелектронике је свакако физика чврстог стања. Основне технологије, које су посебно на фронту минијатуризације, су фотолитографија и процес нагризања површина применом неравнотежних плазми. Одређене доприносе развоју актуелних технологија пружили су и наши научници. Наравно, као код свих великих савремених технологија, због огромне цене развоја коју не могу да издрже поједини произвођачи, напредак је оствариван у колаборацијама великог броја научника из конкурентских фирми и држава (*SEMATECH, ASET, STARC* итд). Лако се може закључити да Муровог закона не би било, и да данашњег утицаја интегрисаних кола у свету не би било, да нема сталног напретка у новим технологијама.

Процес креирања функционалног интегрисаног кола у комаду полупроводника одвија се у више корака. Први је припрема танке плоче чија је површина измењена наношењем више слојева разних материјала који ће бити предмет обраде. Ове плоче (супстрати, вејфери (*wafers*) итд.) кружног облика кренуле су од пречника од неколико центиметара, доста су се задржале на пречнику од 15-ак центиметара, да би доскора имале промер од 30-ак центиметара. Промер вејфера зависи од наше способности да се применом методе Чохралског (*Czochralski*) израде инготи врхунске чистоће и без дефеката, а са што већим пречником. Инготи се секу у танке плоче (мање од 2 mm).

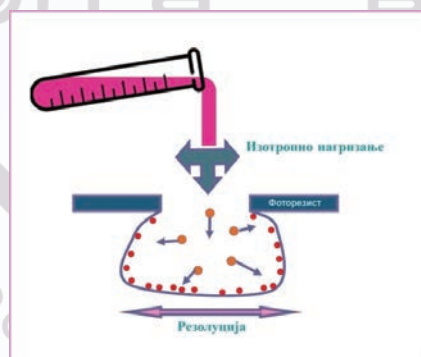
На вејфер се наносе слојеви нитрида силицијума и оксида силицијума. Оваквих двоструких слојева, који се називају интерконекти, има у данашње доба и до двадесет. Потом се на вејфер наноси слој фото-емулзије, на коју се пројектује и на крају се попут фотографије развије слика структуре која се жели усећи у интерконекте.

При преношењу слике на површину фото-емулзије треба знати да је најмања димензија која се може постићи на површини приближно једнака половини таласне дужине ласера који се користи те би требало да је немогуће да се постигну структуре мање од 100 nm (Рејлијев критеријум). А ипак, данас се говори о технологијама које су описане величинама структура мањим од 10 nm чак и 2 nm . То би значило да за сваки микро чип који купите за две стотине евра добијете више десетина милијарди прекршаја природног закона, и то не за мало него за фактор већи од 10. Како је то уопште могуће? Као прво, научници су успели да направе процедуре којима се делимично крше закони оптике. Поред тога, ознаке величине резолуције све мање могу да се повежу са неком реалном димензијом, то више није промер контактних отвора који се простиру кроз све интерконекте, до транзистора који су на дну. Међутим, данас се уводи екстремна ултраљубичаста светлост у производњу, те се више, бар не неко време, неће кршити Рејлијев критеријум.

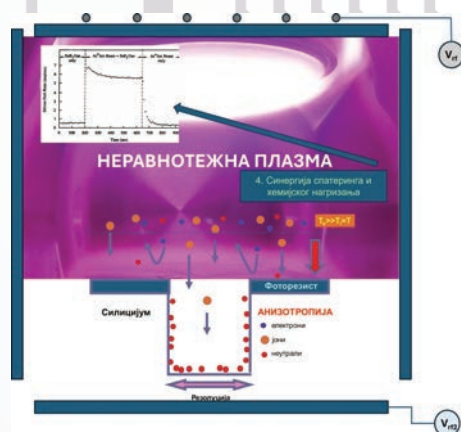
На површину на којој су дефинисане области где треба извршити нагризање доводи се неки реактивни флуид који хемијски реагује (нагриза) силицијум или силицијум-оксид, а не интерагује са фотографском емулзијом (*photo resist*). Сами транзистори се реализују у неколико корака у силицијумској основи, а највећи проценат корака се посвећује изградњи међусобних контаката транзистора кроз слојеве силицијум-диоксида у интерконектима. Потребан је огроман број веза који вишеструко превазилази сам број транзистора (слика 7.1).



Сл. 7.1 Интерконекти од 9 слојева који се састоје од изолатора силицијум-диоксида и материјала за заустављање плазма нагризања – (данас се користи и до 20 слојева). У доњој равни су FET транзистори, а резолуцију одређују вертикалне конекције.



Сл. 7.2 Изотропно нагризање супстрата које се може постићи применом равнотежне плазме или реактивног флуида попут киселине.

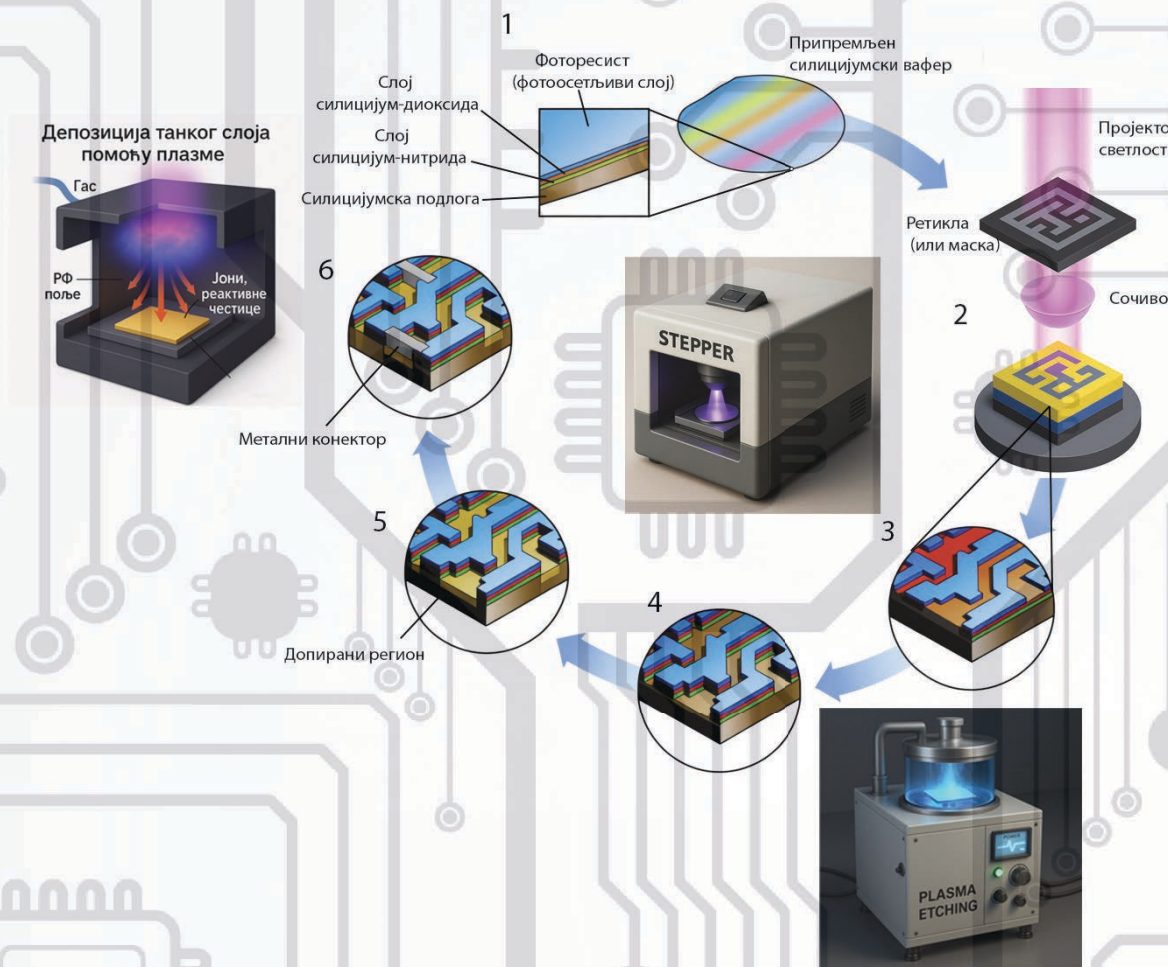


Сл. 7.3 Анизотропно нагризање супстрата применом неравнотежне плазме и синергије катодног распршивања (спатеринга) и хемијске реакције реактивних честица из плазме са површином.

Када се нагризање врши киселином, онда је оно скоро изотропно (подједнако у два бочна и у попречном правцу – видети слику 7.2). Примена таквог вида нагризања била је могућа у првих пет до десет година развоја минијатуризације електронских компоненти у интегрисаним колима. Године 1973. примећено је да се, ако се неравнотежна плазма примени за плазма нагризање, добија веома добро дефинисано анизотропно нагризање (видети слику 7.3). У том процесу кључну улогу играју јони које плазма убрзава под правим углом на површину

материјала дајући им велике енергије. Енергија потиче од великог електричног поља које се у плазми развија у близини површина због разлика у маси јона и електрона. Плазме се производе радиофреквентним пољима са учестаностима од 1 MHz, до 100 MHz.

На слици 7.4 приказан је укупан циклус производње интегрисаних кола где се један силицијумски вејфер прекрива слојевима (6 -1), који се обрађују фото-литографски (2-3) и применом плазме (4) уз допирање материјала (5) наношење метала за контакте (6) у хоризонталној равни и вертикално (6) и тако у круг док се не постигне жељена структура.



Слика 7.4 Циклус израде интегрисаних кола:

1. Фоторезист (фотоосетљиви слој) – Припремљен силицијумски вејфер
2. Пројектовање структуре на вејфер.
3. Уклањање осветљеног фотоосетљивог слоја.
4. Области које нису заштићене фотоосетљивим слојем нагризају се плазмом.
5. У посебном кораку јони такође бомбардују нагрижене области, допирајући их.
6. Наносе се метални контакти линије VIE

6-1. Нови фотоосетљиви слој се наноси на вејфер, а кораци 2-4 се понављају.

Сличан циклус је поновљен да би се поставиле све потребне металне везе између транзистора.

У свим корацима користи се такозвани степер који омогућава прецизно позиционирање силицијумске плочице или маске са грешкама мањим од 1 nm.

Пошто се силицијумски вејфер упуту на потребан број ротација дуж технолошке линије, вејфер се вади, секу се интегрисана кола, тестирају и пакују. Технолошки процес се остварује у условима максималне чистоће јер би свако зрнце прашине покварило цео микрочип на који је слетело.

8. МУРОВ ЗАКОН, САДАШЊОСТ И БУДУЋНОСТ ИНТЕГРИСАНЕ ЕЛЕКТРОНИКЕ И СА ЊОМ ПОВЕЗАНИХ ПРОИЗВОДА

Успех развоја интегрисаних кола се може описати Муровим законом, који се онда може сматрати као законитост да низ случајних одлука у правом окружењу може да води ка све бољем резултату, посебно ако за то „мајка природа“ не поставља превелика ограничења.

Муров закон још од 1965. предвиђа да ће се број транзистора удвостручавати на једном интегрисаном колу сваке две године. После 1975. било је неопходно развити право анизотропно нагризање и отпочео је значајан развој пре свега у домену плазме. Муров закон у ствари и није закон, јер није заснован на природним феноменима, него је једноставно образац који је примећен и за који се сви трудимо да што дуже важи. Како је сам Мур говорио, „његов закон“ је пројекција оптимизма и, као такав, супротност је Марфијевом закону, јер у микроелектронским технологијама има толико тога што може да крене наопако.

За нас је много занимљивији приказ Муровог закона кроз технолошку призму, као величина карактеристичних димензија (резолуција, пречник контактнoг отвора, дужина капије – гејта, димензије извора и понора итд.). Данас су у стандардној продаји чипови са декларисаним карактеристичним димензијама од 3 нанометра, а ускоро се очекује прелазак на 2 нанометра, док се званично ради развој за димензије испод једног нанометра. Ове димензије већ неко време нису оне критичне контактне димензије, али јесу величине неких структура које се на неки начин могу означити на површини кола.

Много пута је најављивана „смрт“ Муровог закона, увек из различитих разлога који су у себи садржавали и рецепт за његов спас. Набројмо неке од њих:

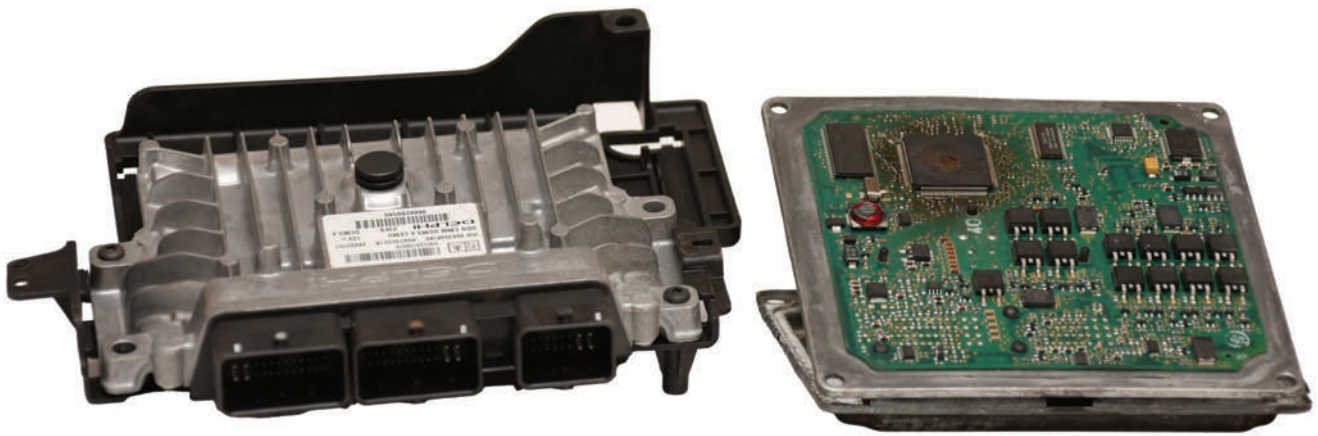
- квантно тунеловање 30 nm;
- грешке у урезивању наноструктура;
- Рејлијев (Rayleigh) лимит ултраљубичасте светлости 95 nm;
- ограничења техника за проширење употребљивости егзимерских ласера за УВ светлост за фотолитографију;
- прелазак на екстремно УВ-ЕУВ зрачење;
- како направити довољно добру оптику за ЕУВ;
- термални баланс у јако малим структурама;
- прецизност имплантације;
- диелектрици и проводници за велике брзине;
- вишедимензионо слагање транзистора;
- фронт нових материјала итд.

Све су ово били и остали критични научни и технолошки проблеми. Колико дуго ће Муров закон моћи да се користи као илустрационо средство и као мотивација, то је посебно питање, али бројне „смрти“ овог закона су учиниле да изгледа живље него икад пре и да истраје знатно изнад предвиђања од пре 30 година.

Но, истовремено, ARM избацује нову архитектуру која ће бити основа за наредних 315 милијарди чипова (читајте: корисника) после првих 290 милијарди произведених и продатих процесорских јединица до сада. А све је то почело када је британски произвођач персоналних стоних компјутера, који је у једном тренутку био незадовољан опцијама на тржишту, уложио у развој архитектуре за RISC процесоре. Порука коју можемо да понесемо из ове историје

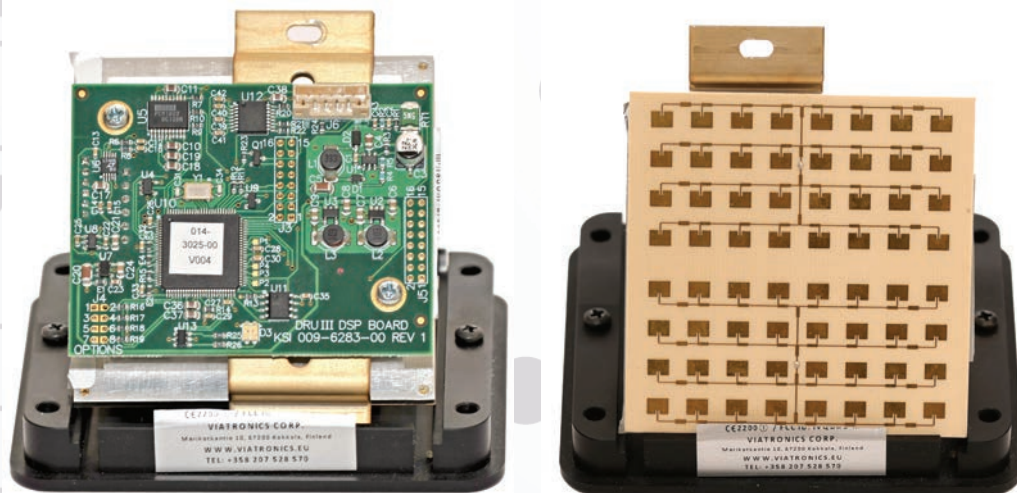
интегрисаних кола (савремене електронике и њених примена): постојеће тржиште финансира развој према потребама које се тренутно морају решити; они који имају храбрости да направе закорак ка бржим, бољим и захтевнијим решењима имају шансу да покрену ново тржиште или да их то ново тржиште усвоји, а тада су маргине профита велике, што омогућава даљи развој. Стога сви играчи у овој игри држе на ноћном сточићу најновије верзије мапа за будућност (*roadmaps*), које обично греше у детаљима у својим обећањима, али представљају какво-такво светло у мраку будућности.

Данас се мотивација за даљи развој интегрисаних кола можда у највећој мери налази у игрицама, потом у примени компјутера у медицини, у великим базама података, на примени рачунара у саобраћају, било за регулацију или за управљање возилима, па чак и до границе да нема возача у аутомобилу. На слици 8.1 приказали смо компјутер за праћење функционисања возила марке *CITROEN*, као и за конверзију мануелног у аутоматски мењач код исте фирме.



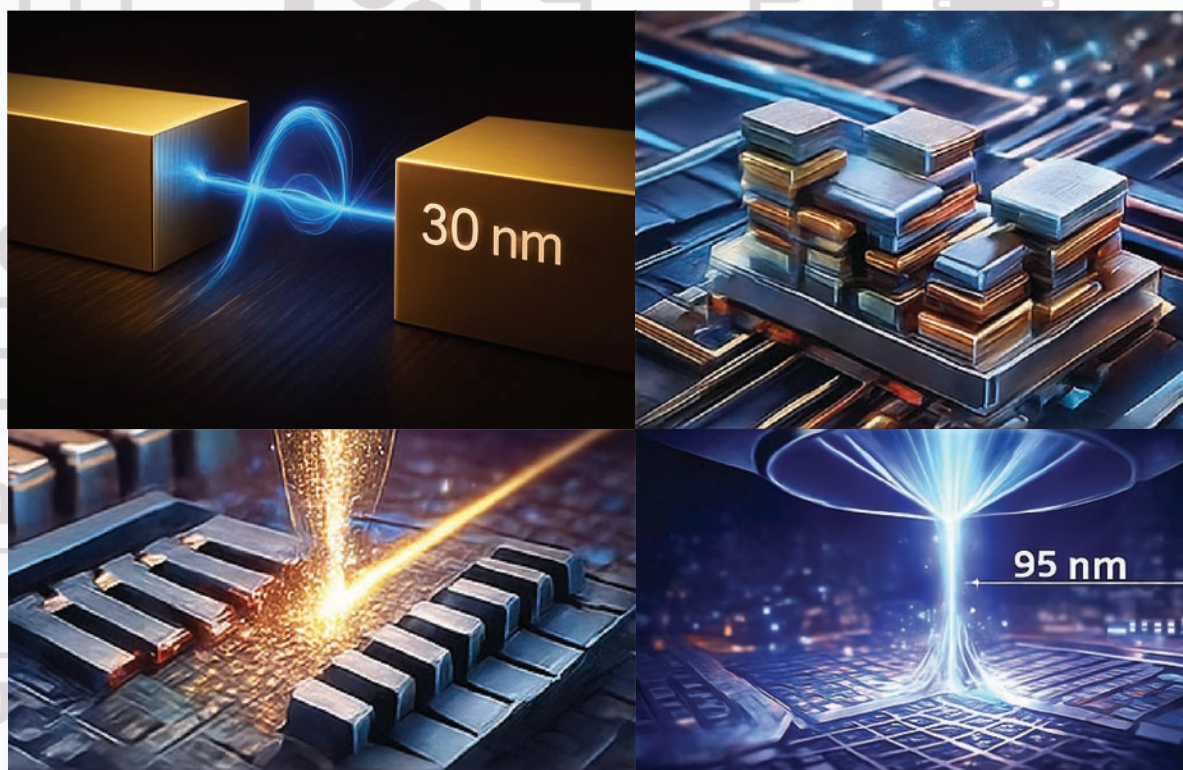
Слика 8.1 Рачунарски системи примењени у возилима типа *CITROEN*

- а) за праћење рада свих система возила и
- б) за адаптацију мануелног мењача у аутоматски.



Слика 8.2 Доплер радар – коло за детекцију брзине

Које год примене биле мотивација за даљи развој интегрисаних кола, корист од напретка ће се као кроз спојене судове „прелити“ у све друге линије примене, а понекад ће се отворити и нове. Тренутно су на видику ствари попут дигиталне уметности и вештачке интелигенције (AI). Док су програми за обраду звука, слика и видео снимака већ постојали, овде мислимо на онај аспект уметности где ће уметничко дело, попут игрице, инкорпорирати корисника у сопствену радњу и дати му могућност да буде учесник, а да истовремено учесници буду и најпознатији глумци (својим ликом, гласом и појавом). Већ је могуће наручити од вештачке интелигенције да вам компоује и сними песму на одређену тему са одређеним карактеристикама вокала и инструмената и задатим темпом. Такође, већ је могуће да вештачка интелигенција преузме ваш живот и да га поведе онако како мисли да бисте ви радили. Хоће ли нам технологије за производњу интегрисаних кола омогућити живот без ограничења било које врсте? Ове године су се и појавили специјализовани чипови са ознаком AI (вештачка интелигенција) који су посебно прилагођени овом типу примена. Уз све то иде и опасност да ћемо заборавити неке вештине које смо пребацили на интегрисана кола.

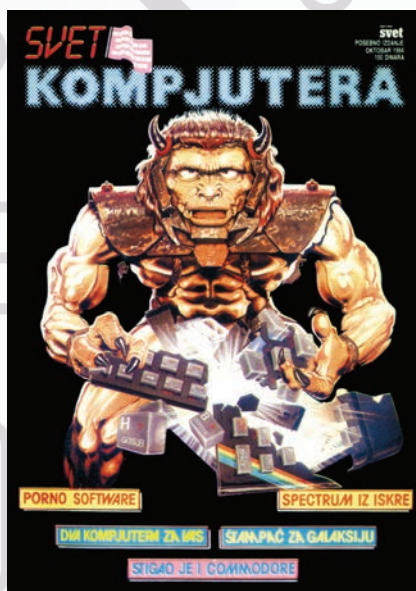


ЧЕТИРИ ДЕЦЕНИЈЕ „СВЕТА КОМПЈУТЕРА“

Почетком осамдесетих година, идеја личног, кућног рачунара била је прилично радикалан концепт за режим Социјалистичке Федеративне Републике Југославије, која је њихов увоз прво законски забрањивала, а касније пенализовала драконским царинама. Ентузијазам за њима се, наравно, провлачио кроз пукотине система и то слатко, забрањено електронско воће на овај или онај начин (више на онај него на овај) налазило је пут до љубитеља технологије.

Из те примордијалне супе техно-страсти и шверца, октобра 1984. године поникао је „Свет компјутера“, магазин који ће у наредним деценијама учинити много за популаризацију информатичких технологија у Југославији, и касније у Србији и остатку ex-YU простора. Првобитно замишљен као специјално издање Политикиног магазина „Свет“, „Свет компјутера“ се врло брзо осамосталио, пре свега захваљујући распродатим тиражима, који су често доштампавани. „Свет компјутера“ је врло брзо избио на врх листе читаности у СФРЈ, првенствено због приступа који није циљао професионалну публику, већ најшири спектар ентузијаста, укључујући и потпуне почетнике.

Четрдесет две године касније, „Свет компјутера“ наставља своју мисију. Информатор за једне, забава за друге, алманах за сваког ко се радује технологији.





СТОНО ИЗДАВАШТВО

Рачунари су за рачунање, је ли, али једна од првих делатности у којој су нам помогли је обрада текста. Са порастом графичких могућности рачунара, уз мониторе и штампаче високе резолуције, створили су се услови да текстуални документ буде оплеменен различитим типовима слова (фонтови), као и да се додају графички елементи и фотографије. Тако је настало такозвано стоно издаваштво, односно могућност да на свом личном рачунару припремите комплетан изглед књиге, часописа, брошуре, летка итд. Касније медиј постају и интернет сајтови, као и електронске књиге које се читају са екрана. Свакако, данашње издаваштво, као и много тога другог, незамисливо је без рачунара.

„Свет компјутера“, као првенствено штампани медиј, прошао је цео процес од куцања текстова на писаћој машини до комплетне дигитализације припреме за штампу, али и нове медије. Прве странице комплетно припремљене на рачунару настале су почетком 1993. године. Када су стигли и уређаји за осветљавање штампарских филмова директно из датотеке (данас је то најчешће PDF), омогућен је такозвани потпуно електронски прелом. Наравно, за све то време, па и сада, у часопису се представљају сви релевантни уређаји за ову делатност (штампачи, скенери и др.), као и програми за илустровање, обраду фотографија и дизајнирање докумената.

РОБОТИ, КОМПЈУТЕРИ И СВЕМИР

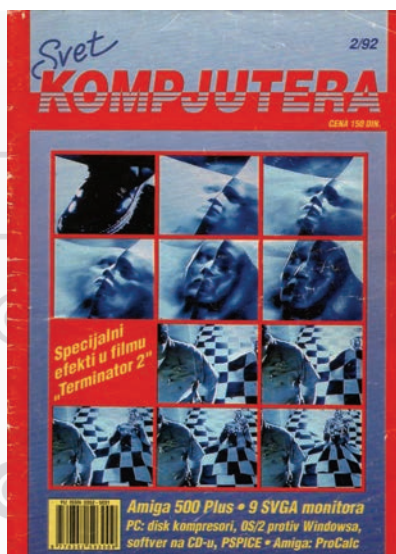
Компјутери и роботи одавно олакшавају мисије којима различите свемирске агенције истражују дубине космоса. У новембру 1970. године Совјетски свемирски програм спустио је на површину Месеца „Луноход 1“, први роботизовани ровер (*Rover* је енглеска реч за „луталицу“), који се успешно кретао и радио на другом астрономском телу сем Земље.

Најпознатији ровери су они који помажу у истраживању Марса. Године 1997, у оквиру мисије „Марс Патфајндер“ (*Mars Pathfinder*), на Црвену планету спустио се ровер „Соџорнер“ (*Sojourner*) који је уместо планираних седам радних дана функционисао 85. „Свет компјутера“ се осврће на специфичности рачунарских система овог ровера у тексту „Роботи на Црвеној планети“.

Почетком марта 2004. године на Марс слећу ровери „Спирит“ (*Spirit* - енглески за дух) и „Опортјунити“ (*Opportunity* - енглески за прилика), будући рекордери по истрајности. „Свет компјутера“ прати ову мисију, али и неколицину пројеката других свемирских агенција који се одвијају у исто време текстом „Гужва на Црвеној планети“.

У новембру 2011. године, паралелно са лансирањем ровера „Кјуриосити“ (*Curiosity* - енглески за радозналост), „Свет компјутера“ пише о овом значајном конструкторском скоку унапред, јер је овај ровер много већи, опремљенији и издржљивији од претходника. Десет година касније, придружује му се још напреднији ровер „Персерванс“ (*Perseverance* - енглески за истрајност). Ова два ровера и даље активно истражују Марс.





КОМПЈУТЕРИ И ФИЛМ

Први случај коришћења компјутера при стварању филмова десио се давне 1958. године, када је аниматор Џон Витни искористио механички војни рачунар „*Kerrison Predictor*“ за слагање елемената у уводној секвенци Хичкоковог филма „Вртоглавица“.

У марту 1986. године „Свет компјутера“ пише о филму „Последњи звездани борац“ који помера границе у количини компјутерски генерисаног садржаја на великом платну. Чак 300 сцена у филму, укупног трајања 27 минута, створено је помоћу супер-компјутера „*Cray X-MP*“. Сваки кадар настао у рачунару имао је просечно 250 хиљада полигона и резолуцију од 5000 × 3000 36-битних пиксела.

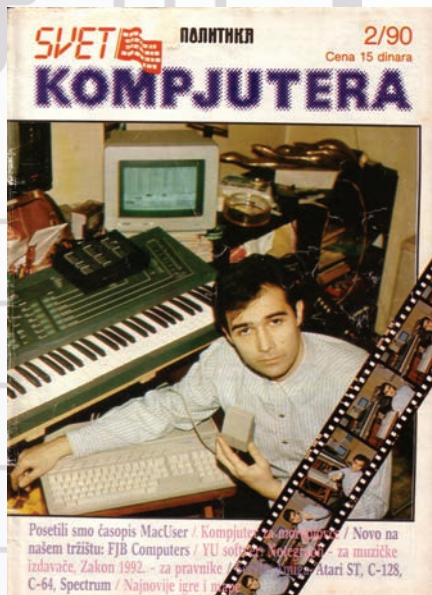
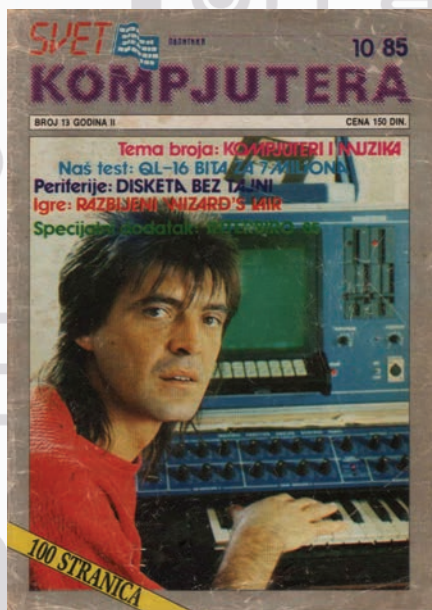
Почетком деведесетих ефекат „морфинга“ постаје веома популаран и распрострањен, а „Терминатор 2“ Џејмса Камерона постаје појам за квалитет рачунарски створених секвенци у филмовима. Пет минута анимације Терминатора T-1000 обавио је тим од 35 људи из компаније *ILM* током четрдесет дана. Том приликом коришћена је снага 26 рачунара из компаније *Silicon Graphics*. Ове радне станице користиле су фамилију процесора „*Motorola Iris 3000*“.

Почетак новог миленијума обележава трилогија „Господар прстенова“ Питера Џексона, чија компанија *Weta Digital* подиже на нови ниво могућности рачунарски генерисаних секвенци и ликова у филмовима. Данас се компјутери у филмовима користе у толикој мери да натприродни дигитални призори постају одбојни великом сегменту публике.

КОМПЈУТЕРИ И МУЗИКА

Прича о музици на личним рачунарима почиње од такозваних генератора тонова помоћу којих су могле да се „програмирају“ једноставне мелодије. Када су компјутери могли да се повежу са инструментима и другим музичким уређајима, почела је ера „компјутерске музике“. Данас су рачунари неизоставни део ове сфере, од компоновања, преко снимања у студију, до постпродукције и дистрибуције. Музика је постала дигитална, преузимамо је у неопипљивом облику, а вештачка интелигенција донела нам је могућност да рачунар створи песму само на основу наших текстуалних упутстава.

„Свет компјутера” је, наравно, испратио читав развој компјутерске музике. Представљени су небројени уређаји (звучне картице и други додаци за личне рачунаре), као и десетине програма за генерисање звукова и мелодија, емулацију инструмената и обраду звука, све до данашњих софтверских пакета који се збирно називају *DAW (Digital Audio Workstation)*. На домаћој сцени представљени су музичари који су међу првима схватили предности нових технологија, како бисмо сазнали шта новитети доносе у пракси.





КОМПЈУТЕРСКЕ ИГРЕ

Развој компјутерске технологије нераскидиво је повезан са еволуцијом видео-игара. Заправо, могло би да се каже да нема појаве која је тешње пропратила скокове у хардверским карактеристикама од игара, које су се током протеклих пет и кусур деценија трансформисале од једноставних, осомбитних аркадица у ниској резолуцији до спектакуларних наслова са продукцијом која је понекад скупља од холивудских филмских блокбастера.

„Свет компјутера“ је од почетка писао о играма и са том праксом никад није престао. „Рвали“ смо се са критичарима који су нас због игара сврставали у „неозбиљна“ гласила, али глас народа, оличен у подршци читалаца, говорио нам је да смо на правом путу. Кроз наше странице прошле су буквално све игре које су нешто значиле, међу којима има много наслова који су данас препознати као културни феномени. Нема бољег примера за то од серијала *Civilization*.

Наша обимна архива представља епохалну, безмало полувековну грађу на тему најлепше необавезне ствари коју можете да радите на компјутеру или конзоли. Надамо се да ће будућим историчарима бити од користи, а у међувремену, нека од користи буде и вама, у презенту.

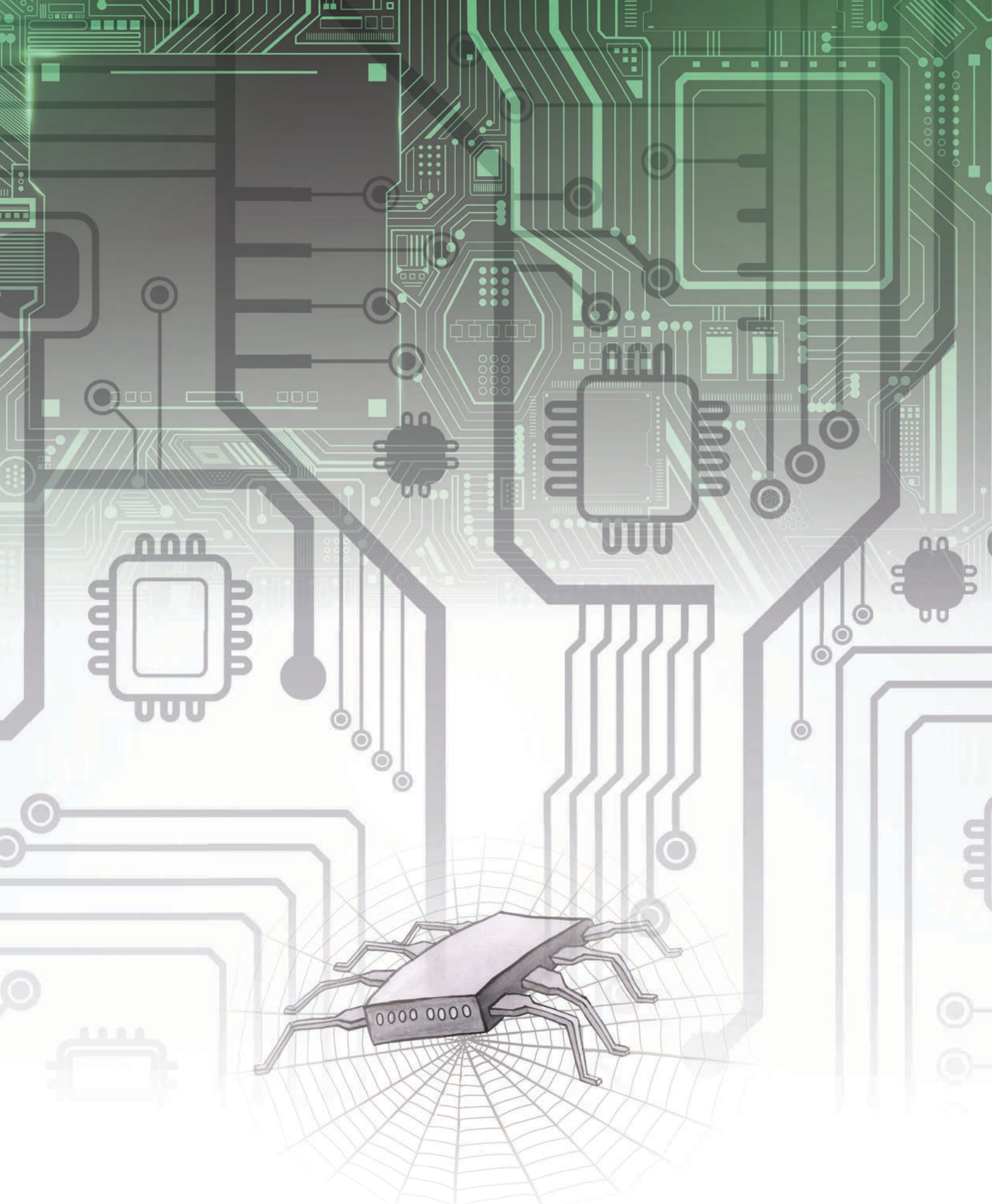
ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА

Вештачка интелигенција је свети грал информационих технологија. Потенцијална трансформација хладне машине у мислећи организам је еквивалент алхемијској трансмутацији олова у злато. Ова идеја је теоријски и практично разматрана последњих пар деценија да би се тек у последњих неколико оваплотила у форми која, макар теоријски, подсећа на ту радикалну замисао.

„Свет компјутера“ се у ту причу укључио још пре четрдесет једну годину, прогласивши вештачку интелигенцију темом августовског броја 1985. године. Током наредних деценија повремено смо се враћали овој проблематици, приказујући махом теоријска достигнућа на плану „трансмутације“ компјутера у електронски мозак.

Појава сервиса попут *Midjourney* и *ChatGPT* доказала је да је човечанство направило крупан корак ка нечему што ће се једног дана звати „општа вештачка интелигенција“ (AGI). Иако су они технолошки још јако далеко од тог елузивног циља, довољно су „дисруптивни“ да постају фактор који има далеко највећи утицај на глобалну привреду и трендове човековог инпута у разним делатностима.





Галерија науке и технике САНУ
Ђуре Јакшића 2, Београд

24.12. 2025 - 24.01. 2026.