

ЧИПОВА ВІЙНА

Книжка вийшла за підтримки
ГО «Реформація»



ДОЛУЧИТИСЯ

CHRIS MILLER

CHIP WAR

THE FIGHT FOR THE WORLD'S
MOST CRITICAL TECHNOLOGY

BLOOMSBURY CONTINUUM · LONDON · 2022

[Почитати опис, рецензію і купити можна на сайті nashformat.ua](https://nashformat.ua)

КРІС МІЛЛЕР

ЧИПОВА ВІЙНА

**БОРОТЬБА ЗА НАЙВАЖЛИВІШУ
ТЕХНОЛОГІЮ У СВІТІ**

Переклав з англійської
Володимир Цибка

«НАШ ФОРМАТ» · КИЇВ · 2024

[Почитати опис, рецензію і купити можна на сайті nashformat.ua](https://nashformat.ua)

УДК 327.8(0.062)

М72

Міллер Кріс

М72 Чипова війна. Боротьба за найважливішу технологію у світі / пер. з англ. Володимир Цибка. — К. : Наш Формат, 2024. — 432 с.

ISBN 978-617-8434-98-4 (паперове видання)

ISBN 978-617-8434-99-1 (електронне видання)

Військова першість Америки залежить від чипів. Потужне зростання Азії за останні пів століття ґрунтується на кремнії. Навіть те, чи розігрієте ви обід у мікрохвильовці, пов'язане із чипами. У цій книжці Кріс Міллер показує, як мікросхеми створили сучасний світ, а доля людей і країн залежить від здатності використовувати обчислювальні потужності.

Автор захоплює описує чипову боротьбу за геополітичне панування. Він також простежує розвиток напівпровідникових технологій від вакуумних ламп до новітньої історії виробників мікросхем і розповідає про становлення технологічних гігантів, як-от Intel, Sony, Huawei.

УДК 327.8(0.062)

Перекладено за виданням: Chris Miller. *Chip War: The Fight for the World's Most Critical Technology* (Scribner, New York, ISBN 978-1-9821-7200-8).

ISBN 978-617-8434-98-4 (паперове видання)
ISBN 978-617-8434-99-1 (електронне видання)

Усі права застережено. All rights reserved
© 2022 by Christopher Miller
© Цибка В., пер. з англ., 2024
© ТОВ «НФ», виключна ліцензія на видання,
оригінал-макет, 2024

ЗМІСТ

<i>Дійові особи</i>	11
<i>Словник термінів</i>	13
<i>Вступ</i>	15

ЧАСТИНА ПЕРША ЧИПИ ХОЛОДНОЇ ВІЙНИ

<i>Розділ 1</i>	Від сталі до кремнію	29
<i>Розділ 2</i>	Перемикач	35
<i>Розділ 3</i>	Нойс, Кілбі та інтегральна схема	39
<i>Розділ 4</i>	Злет	44
<i>Розділ 5</i>	Міномети і масове виробництво	48
<i>Розділ 6</i>	«Я... хочу... стати... багатим»	54

ЧАСТИНА ДРУГА СХЕМА АМЕРИКАНСЬКОГО СВІТУ

<i>Розділ 7</i>	Радянська кремнієва долина	61
<i>Розділ 8</i>	«Скопіюйте це»	66
<i>Розділ 9</i>	Продавець транзисторів	70
<i>Розділ 10</i>	«Транзисторні дівчата»	77
<i>Розділ 11</i>	Високоточний удар	82
<i>Розділ 12</i>	Державне управління ланцюгами постачання	87
<i>Розділ 13</i>	Револьюціонери з Intel	92
<i>Розділ 14</i>	Стратегія компенсації Пентагону	98

ЧАСТИНА ТРЕТЯ ЛІДЕРСТВО ВТРАЧЕНО?

<i>Розділ 15</i>	«Конкуренція жорстка»	107
<i>Розділ 16</i>	«У стані війни з Японією»	111
<i>Розділ 17</i>	«Відправка мотлоху»	117

<i>Розділ 18</i>	Нафта 1980-х років	124
<i>Розділ 19</i>	Спіраль смерті	129
<i>Розділ 20</i>	Японія, яка може сказати «ні»	136

ЧАСТИНА ЧЕТВЕРТА

АМЕРИКА ВІДРОДЖУЄТЬСЯ

<i>Розділ 21</i>	Король картопляних чипсів	145
<i>Розділ 22</i>	Підірвати Intel	152
<i>Розділ 23</i>	«Ворог мого ворога»: піднесення Кореї	157
<i>Розділ 24</i>	«Ось майбутнє»	162
<i>Розділ 25</i>	Управління «Т» КДБ	168
<i>Розділ 26</i>	«Зброя масового ураження»: вплив стратегії компенсації	173
<i>Розділ 27</i>	Герой війни	179
<i>Розділ 28</i>	«Холодна війна скінчилася, і ви перемогли»	183

ЧАСТИНА П'ЯТА

ІНТЕГРОВАНІ СХЕМИ, ІНТЕГРОВАНИЙ СВІТ?

<i>Розділ 29</i>	«Ми хочемо розвивати напівпровідникову промисловість на Тайвані»	191
<i>Розділ 30</i>	«Усі повинні виготовляти напівпровідники»	198
<i>Розділ 31</i>	«Поділитися Божою любов'ю з китайцями»	205
<i>Розділ 32</i>	Літографічні війни	211
<i>Розділ 33</i>	Дилема інноватора	219
<i>Розділ 34</i>	Бігти швидше?	226

ЧАСТИНА ШОСТА

ОФШОРИНГ ІННОВАЦІЙ?

<i>Розділ 35</i>	«Справжні чоловіки мають власні фабрики»	235
<i>Розділ 36</i>	Революція без власних виробничих потужностей	240
<i>Розділ 37</i>	Великий альянс Морріса Чанга	246
<i>Розділ 38</i>	«Кремній» в Apple	253
<i>Розділ 39</i>	EUV	257
<i>Розділ 40</i>	«Плану "Б" немає»	264
<i>Розділ 41</i>	Як Intel забула про інновації	267

ЧАСТИНА СЬОМА
КИТАЙСЬКИЙ ВИКЛИК

<i>Розділ 42</i>	Зроблено в Китаї	277
<i>Розділ 43</i>	«Починайте наступ»	282
<i>Розділ 44</i>	Передавання технологій	290
<i>Розділ 45</i>	«Злиття неминучі»	297
<i>Розділ 46</i>	Становлення Huawei	304
<i>Розділ 47</i>	Майбутнє 5G	312
<i>Розділ 48</i>	Наступна стратегія компенсації	317

ЧАСТИНА ВОСЬМА
НАПІВПРОВІДНИКОВИЙ ЗАШМОРГ

<i>Розділ 49</i>	«Усе, у чому ми конкуруємо»	329
<i>Розділ 50</i>	Jinhua з Фуцзяню	338
<i>Розділ 51</i>	Атака на Huawei	344
<i>Розділ 52</i>	«Момент супутника» для Китаю?	352
<i>Розділ 53</i>	Дефіцит і ланцюги постачання	359
<i>Розділ 54</i>	Тайванська дилема	368
<i>Епілог</i>	378
<i>Подяки</i>	385
<i>Примітки</i>	389

Присвячую Лії

ДІЙОВІ ОСОБИ

ПЕТ ГАГГЕРТІ — голова Texas Instruments; керував компанією, коли вона спеціалізувалася на створенні мікроелектроніки, зокрема й для армії США.

Енді Гроув — колишній президент і генеральний директор Intel у 1980-х і 1990-х роках, відомий своїм агресивним стилем і успіхом у відродженні Intel; автор книжки «Вживають тільки параноїки» (Only the Paranoid Survive).

ДЖЕК КІЛБІ — разом з іншими в 1958 році винайшов інтегральну схему; багаторічний працівник Texas Instruments; лауреат Нобелівської премії.

ДЖЕЙ ЛЕТРОП — один із винахідників фотолітографії, процесу формування структури транзистора за допомогою спеціальних хімікатів і світла; колишній працівник Texas Instruments.

КАРВЕР МІД — професор Каліфорнійського технологічного інституту (Калтех); радник Fairchild Semiconductor та Intel; мислитель-візіонер, що спеціалізується на темі майбутнього технологій.

АКІО МОРІТА — співзасновник Sony; співавтор книжки «Японія, яка може сказати “ні”» (The Japan That Can Say No); представляв японський бізнес на світовій арені протягом 1970–1980-х років.

ГОРДОН МУР — співзасновник Fairchild Semiconductor та Intel; у 1965 році сформулював закон Мура, який передбачив, що обчислювальна потужність чипа подвоюватиметься кожні два роки.

ДІЙОВІ ОСОБИ

РОБЕРТ НОЙС — співзасновник Fairchild Semiconductor та Intel; разом з іншими в 1958 році винайшов інтегральну мікросхему; відомий як «мер Кремнієвої долини»; перший керівник Sematech.

ВІЛЬЯМ ПЕРРІ — чиновник Пентагону з 1977 до 1981 року, а пізніше, з 1994 до 1997 року, — міністр оборони, який виступав за використання чипів для виробництва високоточної зброї.

ДЖЕРРІ САНДЕРС — засновник і генеральний директор AMD; найяскравіший продавець у Кремнієвій долині; агресивний критик того, що в 1980-х роках він вважав несправедливою японською торговою практикою.

ЧАРЛІ СПОРК — керував переведенням процесу збирання мікросхем за кордон, коли очолював виробничі операції у Fairchild Semiconductor; пізніше — генеральний директор National Semiconductor.

МОРРИС ЧАНГ — засновник Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC), найважливішого у світі виробника мікросхем; до того — керівник вищої ланки в Texas Instruments.

РЕН ЧЖЕНФЕЙ — засновник Huawei, китайського гіганта в галузі телекомунікацій і проектування мікросхем; його дочку Мен Ваньчжоу заарештували в Канаді у 2018 році за звинуваченням у порушенні законодавства США та спробі обійти американські санкції.

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

КРЕМНІЄВА ПЛАСТИНА — круглий тонкий шматок надчистого кремнію, зазвичай 200 або 300 міліметрів (8 або 12 дюймів) у діаметрі, з якого вирізають чипи.

ЛОГІЧНА МІКРОСХЕМА — чип, що обробляє дані.

МІКРОСХЕМА ПАМ'ЯТІ — чип, що запам'ятовує дані.

ТРАНЗИСТОР — крихітний електронний «перемикач», який умикається (утворюючи 1) або вимикається (0), створюючи одиниці та нулі, що є основою всіх цифрових обчислень.

ФОТОЛІТОГРАФІЯ (також відома як «літографія») — процес пропускання видимого або ультрафіолетового світла через трафарети з візерунками, після чого світло взаємодіє зі світлочутливими хімічними речовинами і дає змогу вирізати візерунки на кремнієвих пластинах.

ЦП (CPU) — центральний процесор; тип «універсального» чипа, що виконує основні обчислення в ПК, телефонах і центрах обробки даних.

ЧИП (також «**інтегральна схема**» або «**напівпровідник**») — невеличка пластина з напівпровідникового матеріалу, зазвичай кремнію, з розміщеними на ній мільйонами чи мільярдами мікроскопічних транзисторів.

ARM — британська компанія, що надає розробникам чипів ліцензію на використання архітектури набору команд, тобто основних правил, що регулюють роботу чипа. Архітектура Arm домінує в мобільних пристроях і повільно завойовує частку ринку ПК і центрів обробки даних.

DRAM (dynamic random access memory) — динамічна оперативна пам'ять із довільним доступом; один із двох основних типів чипів пам'яті, що використовують для тимчасового зберігання даних.

EDA (ELECTRONIC DESIGN AUTOMATION) — програми проектування електронних пристроїв; спеціалізоване програмне забезпечення, яке використовують для проектування розміщення мільйонів або мільярдів транзисторів на кристалі і для моделювання їхньої роботи.

FINFET (FIN FIELD-EFFECT TRANSISTOR) — польовий транзистор з вертикальним затвором; нова 3D-структура транзистора, вперше реалізована на початку 2010-х років для кращого контролю роботи транзистора, оскільки розмір транзисторів зменшився до нанометрових масштабів.

GPU (GRAPHIC PROCESSING UNIT) — графічний процесор; чип, здатний виконувати паралельну обробку даних, що робить його корисним для графіки та програм штучного інтелекту.

NAND — флешпам'ять, другий основний тип чипів пам'яті, що використовують для довгострокового зберігання даних.

RISC-V — відкрита архітектура, яка набуває популярності, оскільки її можна використовувати безплатно, на відміну від Arm і x86. Розробку RISC-V частково фінансував уряд США, але зараз вона популярна в Китаї, оскільки на неї не поширюється експортний контроль Сполучених Штатів.

x86 — архітектура набору команд, яка домінує в ПК та центрах обробки даних. Intel і AMD є двома основними фірмами, що виробляють такі чипи.

ВСТУП

До північного краю Тайванської протоки 18 серпня 2020 року підійшов есмінець USS Mustin. Його 127-міліметрова гармата була спрямована на південь, і він розпочав свою одиночну місію, метою якої було перетнути протоку та підтвердити, що цих міжнародних вод *не* контролює Китай (принаймні зараз). Поки він плів на південь, його палубу обвівав сильний південно-західний вітер. Високі хмари кидали на воду тіні, що, здавалося, простягалися аж до самих великих портових міст Фучжоу, Сяменя, Гонконгу та інших гаваней, якими всіяне узбережжя Південного Китаю. На сході вдалині височів острів Тайвань — широка густонаселена прибережна рівнина, що переходить у високі гори, вершини яких ховаються в хмарах. На борту корабля моряк у бейсболці та медичній масці підняв бінокль і поглянув на горизонт. Води були заповнені комерційними вантажними суднами, які доставляли товари з азійських фабрик споживачам у всьому світі.

У темній кімнаті на борту USS Mustin моряки сиділи перед низкою яскравих екранів, на яких відображалися дані з літаків, безпілотників, кораблів і супутників, які відстежували рух в Індо-Тихоокеанському районі¹. Інформацію на корабельні комп'ютери передавали й радары, розташовані над містком судна. На палубі наготові стояли дев'яносто шість пускових установок, кожна з яких могла запускати ракети, здатні точно вражати літаки, кораблі чи підводні човни на відстані десятків або навіть сотень кілометрів. Під час криз, що траплялися протягом Холодної війни, американська армія неодноразово

погрожувала застосувати грубу силу ядерної зброї для захисту Тайваню. Сьогодні вона покладається на мікроелектроніку та високоточні удари.

У той час, коли USS Mustin плыв протокою, переповнений комп'ютеризованою зброєю, Народно-визвольна армія Китаю у відповідь оголосила про серію бойових навчань навколо Тайваню, відпрацьовуючи те, що одна контрольована Пекіном газета назвала «операцією силового возз'єднання»². Однак того дня керівників Китаю хвилював не так флот США, як маловідома постанова Міністерства торгівлі США під назвою Entity List, що обмежує передання американських технологій за кордон. Раніше цей список використовували в основному для запобігання продажу військових систем, як-от деталей для ракет або ядерних матеріалів. Однак тепер уряд США різко посилив правила стосовно комп'ютерних чипів, що стали повсюдними як у військових системах, так і в споживчих товарах.

Ціллю був Huawei, китайський технологічний гігант, який продає смартфони, телекомунікаційне обладнання, послуги хмарних обчислень та інші передові технології. США побоювалися, що ціни на продукцію Huawei настільки привабливі, частково завдяки державним субсидіям Китаю, що незабаром вона стане основою телекомунікаційних мереж наступного покоління. Домінування Америки у світовій технологічній інфраструктурі буде підірвано. Геополітичний вплив Китаю зростає. Щоб протистояти цій загрозі, США заборонили Huawei купувати передові комп'ютерні чипи, виготовлені за американськими технологіями.

Незабаром глобальна експансія компанії зупинилася. Стало неможливо виробляти цілі лінійки продуктів. Доходи впали. Корпоративний гігант зіткнувся з технологічною асфіксією. Huawei виявила, що, як і решта китайських компаній, вона повністю залежить від іноземців у плані виробництва мікросхем, які використовують у всій сучасній електроніці.

Сполучені Штати *продовжують* домінувати у сфері кремнієвих чипів, від яких походить назва Кремнієвої долини, хоча їхні позиції небезпечно ослабли. Зараз Китай щороку витрачає більше грошей на імпорт мікросхем, ніж на нафту.

Ці напівпровідники використовують у різноманітних пристроях, від смартфонів до холодильників, які Китай споживає сам або експортує по всьому світу. Диванні стратеги розмірковують про «Малакську дилему» Китаю (згадуючи головний судноплавний канал між Тихим та Індійським океанами) і здатність країни отримувати постачання нафти й інших сировинних товарів під час кризи. Проте Пекін більше турбує блокада, яка вимірюється в байтах, а не в барелях. Китай спрямовує найкращі уми та мільярди доларів на розроблення власних напівпровідникових технологій, намагаючись звільнитися від чипового зашморгу Америки³.

Якщо Пекіну це вдасться, він змінить світову економіку та баланс військових сил. Долю Другої світової війни вирішували сталь і алюміній, а розпочату невдовзі після неї Холодну війну визначала атомна зброя. Суперництво між Сполученими Штатами та Китаєм цілком може визначатися обчислювальною потужністю. Стратеги в Пекіні та Вашингтоні тепер розуміють, що всі передові технології — від машинного навчання до ракетних систем, від автоматизованих транспортних засобів до ударних безпілотників — потребують передових чипів, які формальніше називають напівпровідниками або інтегральними схемами. Їх виробництво контролює дуже мала кількість компаній.

Ми рідко думаємо про чипи, але вони створили сучасний світ. Доля країн залежить від їхньої здатності використовувати обчислювальні потужності. Глобалізації, якою ми її знаємо, не існувало б без торгівлі напівпровідниками та створених завдяки їм електронних товарів. Військова першість Америки здебільшого пов'язана з її здатністю використовувати чипи у військових цілях. Надзвичайне зростання Азії впродовж останнього півстоліття ґрунтувалося на кремнії, оскільки її економіки, що зростають, почали спеціалізуватися на виготовленні чипів і збиранні комп'ютерів та смартфонів, що існують завдяки цим інтегральним схемам.

В основі обчислень лежить потреба в багатьох мільйонах одиниць і нулів. Увесь цифровий всесвіт складається з цих

двох чисел. Кожна кнопка на вашому айфоні, кожен електронний лист, фотографія та відео на ютубі — усе це зрештою закодовано в довжелезних рядках одиниць і нулів. Але цих цифр насправді не існує. Вони становлять електричний струм, який або наявний (1), або відсутній (0). Чип — це мережа мільйонів або мільярдів *транзисторів*, крихітних електронних перемикачів, які вмикаються та вимикаються, щоб обробляти ці цифри, запам'ятовувати їх і перетворювати відчуття реального світу, як-от зображення, звук і радіохвилі, на мільйони й мільйони одиниць і нулів.

Поки USS Mustin плыв на південь, фабрики та складальні підприємства по обидва боки протоки штапували компоненти для iPhone 12, до виходу якого, запланованого на жовтень 2020 року, залишалось всього два місяці. Телефони приносять індустрії чипів приблизно чверть доходу⁴; значна частина ціни нового телефона припадає на встановлені в ньому напівпровідники. Протягом останнього десятиліття кожне покоління iPhone отримувало один із найпередовіших у світі процесорів. Загалом для роботи смартфона потрібно більше ніж десять напівпровідників, оскільки різні чипи керують батареєю, Bluetooth, Wi-Fi, під'єднанням до стільникової мережі, аудіо, камерою тощо.

Apple не виробляє *жодного* із цих чипів. Більшість вона купує в готовому вигляді⁵: чипи пам'яті — у японської Кіохія, радіочастотні чипи — у каліфорнійської Skyworks, аудіочипи — у Cirrus Logic, розташованій в Остіні, штат Техас. Apple самостійно розробляє надскладні процесори, на яких працює операційна система iPhone. Але гігант із Купертіно, штат Каліфорнія, не може виробляти ці мікросхеми, як не може цього робити жодна компанія в США, Європі, Японії чи Китаї. Сьогодні найпередовіші процесори Apple, які, мабуть, є найпередовішими напівпровідниками у світі, здатна виробляти лише одна компанія. Вона розташована в одному приміщенні — найдорожчій фабриці в історії людства⁶, яка вранці 18 серпня 2020 року перебувала на відстані лише кількох десятків кілометрів по правому борту USS Mustin.

Виготовлення та мініатюризація напівпровідників були найбільшим інженерним викликом нашого часу. Сьогодні

жодна фірма не виготовляє точніших мікросхем, ніж Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, більш відома як TSMC. У 2020 році, коли світ жив від локдауну до локдауну, спричинених вірусом, діаметр якого становив приблизно сто нанометрів (мільярдних часток метра), найпередовіша фабрика TSMC, Fab 18, вирізала мікроскопічні лабіринти крихтих транзисторів, гравіюючи форми, менші за половину розміру коронавірусу й у сто разів менші за мітохондрію. TSMC відтворила цей процес у масштабі, якому не було аналогів в історії людства. Apple продала понад 100 мільйонів iPhone 12⁷, кожен із яких працював на процесорі A14 із 11,8 мільярдами крихтих транзисторів, нанесених на кремній. Інакше кажучи, за кілька місяців лише для одного з десятка чипів для iPhone TSMC на Fab 18 виготовила понад 1 квінтільйон — це число з вісімнадцятьма нулями — транзисторів. У 2021 році індустрія чипів виробила більше транзисторів, ніж становила загальна кількість усіх товарів, вироблених усіма іншими компаніями в усіх інших галузях за всю історію людства. Більше ніщо навіть не наближається до таких показників.

Лише шістьдесят років тому кількість транзисторів на передовій мікросхемі становила не 11,8 мільярда, а 4⁸. У 1961 році невелика фірма під назвою Fairchild Semiconductor, розташована на південь від Сан-Франциско, оголосила про випуск нового продукту під назвою Micrologic, кремнієвого чипа з чотирма вбудованими в нього транзисторами. Незабаром компанія винайшла спосіб помістити на чип десять транзисторів, а потім сотню. У 1965 році співзасновник Fairchild Гордон Мур помітив, що кількість компонентів, які можна розмістити на кожному чипі, щорічно подвоюється, оскільки інженери вчаться виготовляти дедалі менші транзистори. Це передбачення — того, що обчислювальна потужність чипів зростатиме в геометричній прогресії, — отримало назву «закон Мура» і допомогло Муру передбачити винахід пристроїв, що в 1965 році здавалися неймовірно футуристичними, як-от «електронного наручного годинника», «домашніх комп'ютерів» і навіть «персонального портативного комунікаційного обладнання». Заглядаючи

в майбутнє з 1965 року, Мур передбачив десятиліття експоненційного зростання, але цей приголомшливий темп прогресу триває вже понад пів століття. У 1970 році друга компанія, заснована Муром, Intel, представила чип пам'яті, який міг запам'ятати 1024 одиниці інформації («біти»). Він коштував десь 20 доларів, приблизно два центи за біт⁹. Сьогодні за 20 доларів можна купити флешнакопичувач, який може пам'ятати більше ніж мільярд бітів.

Коли сьогодні ми думаємо про Кремнієву долину, то уявляємо соціальні мережі та компанії-розробники програмного забезпечення, а не матеріал, на честь якого названо долину. Проте інтернет, хмарні технології, соціальні медіа та весь цифровий світ існують лише тому, що інженери навчилися контролювати найменший рух електронів, які бігають по кремнієвих пластинах. Якби вартість обробки та запам'ятовування одиниць і нулів за останні пів століття не впала в мільярд разів, не було б жодних «великих технологій».

Цей неймовірний підйом частково став можливий завдяки блискучим ученим і фізикам-лауреатам Нобелівської премії. Але не кожен винахід приводить до створення успішного стартапу, і не кожен стартап стимулює створення нової промисловості, що змінює світ. Напівпровідники поширилися в суспільстві, тому що компанії винайшли нові технології для їх виробництва в мільйонних кількостях, тому що жорсткі менеджери невпинно знижували їхню вартість, а творчі підприємці винайшли нові способи їх використання. Реалізація закону Мура — історія не лише про фізиків чи інженерів-електриків, а так само й про експертів із виробництва, спеціалістів із ланцюгів постачання та менеджерів із маркетингу.

Міста на південь від Сан-Франциско, які до 1970-х років не називалися Кремнієвою долиною, були епіцентром цієї революції, оскільки вони поєднали науковий досвід, виробничі ноу-хау та далекоглядне бізнес-мислення. У Каліфорнії було багато інженерів у галузі авіації та радіотехніки, що закінчили Стенфорд чи Берклі, кожен з яких купався в доларах з оборонного бюджету, оскільки армія США прагнула зміцнити свою

технологічну перевагу. Однак культура Каліфорнії мала таке саме значення, як і економічна структура. Люди, які приїхали зі східного узбережжя Америки, Європи та Азії, щоб створити індустрію чипів, часто згадували відчуття безмежних можливостей, говорячи про своє рішення перебратися до Кремнієвої долини. Для найрозумніших у світі інженерів і найкреативніших підприємців привабливішого місця просто не було.

Коли індустрія чипів сформувалася, виявилось, що витіснити її з Кремнієвої долини неможливо. Сучасний ланцюг постачання напівпровідників потребує компонентів із багатьох міст і країн, але майже кожен виготовлений чип досі пов'язаний із Кремнієвою долиною або виробляється за допомогою інструментів, розроблених і виготовлених у Каліфорнії. Величезний запас наукового досвіду в Америці, підживлений державним фінансуванням досліджень і зміцнений можливістю залучати найкращих учених з інших країн, став основним джерелом знань, що рухають технологічний прогрес уперед. Мережа компаній венчурного капіталу в країні та її фондові ринки забезпечили стартовий капітал, необхідний новим компаніям для зростання, і безжально витіснили збиткові компанії. Тим часом найбільший у світі споживчий ринок у США сприяв зростанню, яке фінансувало десятиліття досліджень і розробок нових типів мікросхем.

Інші країни виявили, що не можуть самотужки підтримувати заданий темп, але досягли успіху, коли глибоко інтегрувалися в ланцюги постачання Кремнієвої долини. Європа має окремі острівці експертних знань, зокрема у виробництві обладнання, необхідного для виготовлення чипів, і в розробці архітектури мікросхем. Азійські уряди (Тайваню, Південної Кореї та Японії) проклали шлях в індустрію чипів, субсидуючи фірми, фінансуючи програми навчання, підтримуючи занижені обмінні курси та накладаючи мита на імпортні чипи. Ця стратегія створила певні можливості, яких інші країни не можуть відтворити, але вони досягли цього в партнерстві з Кремнієвою долиною, продовжуючи значною мірою покладатися на американські обладнання, програмне забезпечення та клієнтів. Тим часом найуспішніші американські фірми-виробники мікросхем побудували ланцюги

постачання, які простягаються по всьому світу, знижуючи витрати та створюючи знання, що уможливили закон Мура.

Сьогодні, завдяки цьому правилу, напівпровідники вбудовано в кожен пристрій, який потребує обчислювальної потужності — а в епоху інтернету речей це означає фактично *кожен* пристрій. Навіть товари, що випускаються вже сто років, як-от автомобілі, тепер часто містять чипи, які коштують тисячі доларів. Більшу частину світового ВВП виробляють за допомогою пристроїв, у яких використано напівпровідники. Для продукту, якого сімдесят п'ять років тому не існувало, це надзвичайний злет.

Коли USS Mustin плив на південь у серпні 2020 року, світ тільки починав зважати на свою залежність від напівпровідників — і свою залежність від Тайваню. Там виготовляють чипи, що виробляють третину нової обчислювальної потужності, яку ми використовуємо щороку¹⁰. Тайванська TSMC виготовляє майже всі найсучасніші процесорні мікросхеми у світі¹¹. Коли у 2020 році COVID-19 вразив світ, це також призвело до великих збоїв в індустрії мікросхем. Деякі фабрики тимчасово закрилися. Закупівлі мікросхем для авто різко впали. Попит на ПК і чипи для центрів обробки даних різко зріс, оскільки люди в більшості країн світу готувалися працювати з дому. Потім, у 2021 році, серія нещасних випадків — пожежа на японській фабриці з виробництва напівпровідників; крижані шторми в Техасі, центри виробництва мікросхем у США; і новий виток локдаунів через COVID-19 у Малайзії, де збирають і тестують багато чипів, — посилила ці збої. Раптом багато галузей промисловості, далеких від Кремнієвої долини, зіткнулися з важкою проблемою дефіциту мікросхем. Великим виробникам автомобілів від Toyota до General Motors довелося на тижні зупиняти заводи¹², оскільки вони не могли придбати потрібні їм напівпровідники. Нестача навіть найпростіших мікросхем спричинила закриття фабрик на протилежному кінці світу. Здавалося, то був ідеальний образ глобалізації, що дала збій.