

O RADIOGRAFIE A NIVELULUI EXCELENȚEI TEHNOLOGICE ACTUALE A CHINEI ÎN INDUSTRIA SEMICONDUCTORILOR

SCANNING CHINA'S PRESENT TECHNOLOGICAL LEVEL IN SEMICONDUCTORS

Sarmiza Pencea *

Institutul de Economie Mondială – Academia Română, București, România

Rezumat

Semiconductorii sau (micro)chip-urile constituie cea mai complexă, sofisticată, încărcată de cunoaștere și uimitoare ca performanțe, reușită tehnologică obținută vreodată de omenire. Civilizația tehnologică prezentă și viitoare nu sunt posibile fără aceste componente esențiale ale oricărui dispozitiv modern, iar pe glob ierarhiile de orice fel care se stabilesc între marile puteri sunt și vor deveni tot mai dependente de capacitatea acestora de a crea și produce microchipuri. Lucrarea de față furnizează în primele sale capitole informațiile strict necesare pentru a înțelege limbajul domeniului, ce sunt și cum se produc aceste componente, iar apoi analizează industria globală a semiconductorilor și ecosistemul tipic al companiilor din această industrie, cu modul său de organizare aparte. Lucrarea trece în continuare la analiza industriei chineze a microchip-urilor, a decalajului său față de liderii pieței, a războiului tehnologic cu SUA, a locului strategic ocupat de Taiwan în industria de profil a lumii, precum și a provocărilor, ambițiilor și riscurilor întâmpinate de China în strădania ei de a prelua poziția de lider pe piața globală a semiconductorilor.

Cuvinte-cheie: semiconductori, chip-uri, microchip-uri, circuite integrate, plăcuțe de siliciu, Legea lui Moore, înalte tehnologii, nm, China, Taiwan

Clasificare JEL: L630, O140, O530, F520.

Abstract

Semiconductors or (micro)chips are the most complex, sophisticated, knowledge-loaded and amazing in terms of their performances, technological accomplishment ever attained by mankind. Both the current and the future technological civilization are rendered infeasible without these components essential for any modern device, while globally, any hierarchies established between the great powers already are and will increasingly become dependent on their capacity of designing and producing microchips. This paper offers in its first chapters the information strictly needed to understand the language of the field, what these components are and how they are produced, and then it analyzes the global semiconductors industry with the typical ecosystem of the companies involved and its peculiar organizational way. The research proceeds further to the analysis of the Chinese microchip industry, its development gap versus market leaders, its technological war with the USA, Taiwan's strategic place in the world's chip industry, as well as of China's challenges, ambitions and risks encountered in its endeavor to take over the global semiconductor's market leadership.

Key-words: semiconductors, chips, microchips, integrated circuits, IC, silicon wafers, Moore's Law, high technologies, nm, China, Taiwan

JEL Classification: L630, O140, O530, F520

* Autor de corespondență: Dr. Sarmiza Pencea, e-mail: pen_sar@yahoo.com.

1. Ce sunt semiconductorii și care le este importanța

Semiconductorii sunt dispozitive electronice miniaturale, alcătuite dintr-o plăcuță semiconductoare (wafer), de regulă din siliciu (Si), pe care se află sute de milioane, până la miliarde de componente (tranzistori, rezistori, diode...) combinate divers în circuite prin care se produc milioane de miliarde (!) de comutări on/off pe secundă, dirijând curentul electric astfel încât să fie realizate funcțiile specifice pentru care a fost creat dispozitivul respectiv. Fiecare tranzistor minuscul se comportă precum o poartă electrică ce se deschide și se închide de miliarde de ori pentru a permite executarea de calcule, iar pentru a face acest lucru el consumă electricitate. Cu cât tranzistorul este mai mic, consumul lui este mai mic și viteza de procesare a chip-ului crește (Heddings, 2019).

Denumirile de *semiconductor*, *circuit integrat (IC)*¹, *chip/microchip* au devenit, practic, sinonime și reciproc substituibile în limbajul curent, deși într-o abordare riguroasă ele s-au referit inițial mai degrabă la părți ale dispozitivului în cauză: astfel, denumirea de *semiconductor* provine de la specificul materialului din care este făcută plăcuța pe care se află *circuitul integrat*, cel mai adesea aceasta fiind din siliciu, un material care nu este nici foarte bun conducător de electricitate (cum este, de pildă, cuprul/Cu), nici bun izolator (ca de exemplu, sticla), dar poate deveni atât foarte conductibil, cât și izolator, în anumite condiții, fapt pentru care și este denumit semiconductor. Denumirile de chip/microchip sunt mai degrabă descrieri în limba engleză ale dimensiunii foarte reduse (chip = fărâma) și a provenienței dispozitivului (chip = fragment, felie subțire, ciob, spărtură din ceva mai mare).

Oricum i-am numi, semiconductorii sunt cele mai complexe, sofisticate, încărcate de cunoaștere și absolut uimitoare prin performanțe, reușite tehnologice obținute vreodată de om. Omenirea nu are nicio altă realizare tehnologică superioară acestora (Capri, 2020). Ei constituie creierul, inima și ADN-ul tuturor celorlalte realizări de înaltă tehnologie ale omenirii de până acum, dar și din viitorul imaginabil, fie pentru că acestea includ ele însele semiconductori, fie pentru că pot fi obținute doar datorită unor echipamente și softuri care nu ar fi posibile în lipsa acestora.

Fără neapărat să conștientizăm acest fapt, semiconductorii sunt parte a vieții noastre zilnice atunci când folosim un telefon mobil, un laptop, o tabletă, echipamentele electrocasnice, televizorul, autoturismul, navigația GPS etc., fără de care nici nu ne mai putem imagina astăzi existența. Sunt, totodată prezenți în echipamentele cu ajutorul cărora producem mai eficient, mai ieftin și mai ușor bunuri și servicii de calitate ridicată, care ne susțin, îmbunătățesc sau chiar salvează viața (echipamente medicale, de telecomunicații, sateliți, computere, roboți, sisteme flexibile de fabricație etc.). Ei se află în toată aparatura, dispozitivele și echipamentele pe care le folosim ca să ne deplasăm sau ca să transportăm mărfuri din ce în ce mai rapid (trenuri de mare viteză, aparatură de zbor, nave, echipamente pentru navigație etc.), în cele utilizate ca să învățăm, să cercetăm, să creăm și să împingem mai departe frontiera cunoașterii (microscopie și telescopie performante, computere, rachete, stații spațiale etc.). În același timp, semiconductorii se află nu numai în echipamentele care ne ajută, ne fac viața mai bună, ne apără și ne dau siguranță, ci și în armele care ne pot distruge, utilizarea duală – civilă și militară – a acestora constituind cauza declarată și unul dintre argumentele

¹ IC= Integrated Circuit = circuit integrat.

principale ale războiului tehnologic dintre marile puteri, ale teho-naționalismului, protecționismului în creștere și eforturilor spre decuplarea economiilor până de curând strâns integrate, inclusiv în domeniul fabricației de semiconductori.

În fine, foarte important, semiconductorii sunt și partea vitală, *sine qua non*, a tehnologiilor viitorului apropiat, precum inteligența artificială (AI)², internetul lucrurilor (IoT)³, recunoașterea facială și vocală (face/voice recognition), fabricația aditivă (3D printing), computerele cuantice, autovehiculele electrice (EV)⁴ și autonome, noile generații de roboți, de dispozitive medicale high tech., de echipamente pentru valorificarea energiei regenerabile (RE), echipamente aerospațiale, de telecomunicații 5G și 6G etc. Practic, toate marile câmpuri ale avansului tehnologic din viitorul mai apropiat, sau mai îndepărtat, au putut sau vor putea fi deschise cu aportul de neînlocuit al acestor dispozitive minuscule, devenite din ce în ce mai mici, mai puternice, mai sofisticate și mai performante, spre a schimba radical fața lumii și felul în care trăim.

Caseta 1.: Principalele jaloane istorice ale nașterii și evoluției semiconductoarelor

- 1947** – SUA, 1 decembrie: Are loc demonstrația primului tranzistor la *Bell Labs*, New Jersey, de către William Shockley, John Bardeen și Walter Brattain.
- 1959** – SUA: Solicitarea patentului pentru primul circuit integrat, de către *Texas Instruments* (Jack Kilby) și *Fairchild* (Robert Noyce).
- 1965** – SUA: Gordon Moore, care va deveni ulterior unul dintre co-fondatorii *Intel*, publică o previziune care se va consacra sub numele de *Legea lui Moore*.
- 1971** – SUA: Compania *Intel* introduce primul microprocesor (4004) pe care integrează toate funcțiile Unității centrale de procesare (CPU)⁵, creierul oricărui computer.
- 1984** – Japonia: Compania *NEC* introduce primul chip de memorie DRAM⁶ de 1 megabit, realizat pentru prima dată prin procese de producție la dimensiuni de 1 micron⁷, ceea ce a constituit la vremea respectivă un mare salt și un succes major al miniaturizării.
- 1998** – Industria reușește producția de masă a semiconductoarelor la dimensiunea de 0,25 microni, reconfirmând *Legea lui Moore*.
- 2001** – Industria începe tranziția de la plăcuțele de Si de 200 mm, la cele de 300 mm care permit realizarea simultană a unui număr dublu de chipuri față de standardul de 200 mm precedent.
- 2004** – China: Compania chineză *Semiconductor Manufacturing International Company* (SMIC), fondată în Shanghai în anul 2000, primește primele echipamente pentru producția de chip-uri pe plăcuțe de 300 mm într-o nouă unitate de producție din Beijing.
- 2018** – Taiwan: Compania *Taiwan Semiconductor Manufacturing Company* (TSMC) începe producția de masă a chip-urilor realizate la 7 nm⁸, cu 7 miliarde de tranzistori pe minusculul fragmentul-suport (die)⁹ de siliciu.
- 2020** – SUA: Compania *Intel* amână lansarea producției la 7nm cedând aparent întâietatea tehnologică companiilor *TSMC* (Taiwan) și *Samsung* (Coreea de Sud). În realitate, clasificarea proceselor de producție și a semiconductoarelor rezultați după numărul de nm este depășită și extrem de inexactă în ceea ce privește evaluarea dimensiunii și densității tranzistorilor, cea care dă cu adevărat măsura nivelului de performanță al

² AI = Artificial Intelligence (engl.).

³ IoT = Internet of Things (engl.).

⁴ EV = Electric Vehicles (engl.).

⁵ CPU = Central Processing Unit (engl.) execută o mare varietate de comenzi și îndeplinește cerințele de procesare pentru computere și sisteme de operare prezentând avantaje de versatilitate, multitasking și ușurință a programării.

⁶ DRAM = Dynamic Random Access Memory, folosite pentru stocare date.

⁷ 1 micron = 1 milionime dintr-un metru;

⁸ 1 nanometru (nm) = 1 miliardime dintr-un metru. Este unitatea de măsură după care se clasifică semiconductoarele, ea măsurând dimensiunea tranzistorilor și distanțele dintre aceștia pe suportul de Si. Cu cât numărul de nanometri e mai mic, cu atât densitatea tranzistorilor pe suportul de Si e mai mare, viteza de procesare e și ea mai mare, dimensiunea tranzistorilor și spațiile dintre ei sunt mai mici, consumul de electricitate mai mic, costurile mai mici, deci chip-ul este mai performant.

⁹ Die = ștanță, poanson (engl.), denumirea dată fragmentului din plăcuța de Si pe care se află un singur semiconductor.

producătorului și produsului. Potrivit analiștilor domeniului, clasificarea după numărul de nm a devenit o tehnică de marketing ce ascunde nivelul real de performanță: ceea ce *TSMC* numește proces/chip de 7nm este echivalentul a ceea ce *Intel* numește proces/chip de 10 nm, în timp ce densitatea și implicit performanța atinsă de *Intel* cu producția sa la 10nm (106,10 MTx/mm²) sunt mai mari decât cele ale *TSMC* la 7nm (96,49 MTx/mm²) (Mills, 2020).

Sursa: Pan, Che & Zhang, Jane (2020); Mills, M. (2020); Heddings (2019).

2. Industria globală a semiconductorilor – specific și organizare

❖ *Industria semiconductorilor este extrem de intensivă în cunoaștere și muncă de cercetare-dezvoltare-inovare (CDI)*. Ea valorifică cele mai noi rezultate ale cercetării fundamentale și soluții ale cercetării aplicative, fiecare etapă a procesului complex de fabricație propriu acesteia fiind puternic dependentă de procesele de CDI și de proiectare, cel mai adesea activități dedicate în mod specific fiecărui tip de microchip ce urmează a fi produs, precum și echipamentelor și materialelor care urmează să contribuie la realizarea sa efectivă și la testarea finală și ambalarea sa în condiții de maximă protecție. Componentele de CDI și proiectare (chip design, EDA¹⁰) din cadrul procesului productiv sunt etapele care aduc cel mai mare aport de valoare adăugată produsului final, de regulă cel puțin 50% din total. Ele se bazează pe munca unor specialiști înalt calificați, cu experiență și abilități deosebite, foarte bine plătiți și greu de găsit, condiții care, pentru unele țări nou-venite în industria și pe piața mondială de profil, precum China, se transformă în adevărate bariere la intrarea pe piață.

❖ Fiind atât de intensivă în cercetare, *industria semiconductorilor este cea mai dinamică dintre toate industriile de înaltă tehnologie*, fiind probabil concurată pe acest plan numai de progresele alerte din sfera biotehnologiilor. Dinamica excepțională a industriei este susținută de cererea mare și în rapidă diversificare pentru microcipuri tot mai performante și se manifestă în mod concret prin eforturile producătorilor și succesele lor repetate în materie de *miniaturizare, densificare și creștere a vitezei de procesare a semiconductorilor*, în paralel cu scăderea consumului de electricitate și a costului unitar. Cu alte cuvinte, evoluția dinamică a acestei industrii se conformează și totodată continuă să confirme valabilitatea Legii lui Moore.

Legea lui Moore: Densitatea tranzistorilor pe plăcuța de silicon și puterea lor de procesare se dublează la fiecare doi ani, iar costurile se înjumătățesc.

În prezent, cele mai avansate chip-uri produse în volume comerciale sunt cele de 7 nm, care au un număr dublu de tranzistori față de precedentele chip-uri de 14 nm. Saltul este important, căci are implicații foarte mari pentru produsele electronice care includ asemenea chip-uri, cum ar fi, de pildă, telefoanele inteligente sau laptop-urile: echipate cu chip-uri de 7 nm în locul celor de 14 nm, acestea vor avea o performanță cu 25% mai mare la același consum de energie, sau același nivel de performanță la un consum de energie înjumătățit. În acest fel, durata de viață a bateriei acestor dispozitive va fi mai mare, reîncărcările vor fi mai rare, iar calitatea funcționării circuitelor va fi mai bună (Mills, 2019).

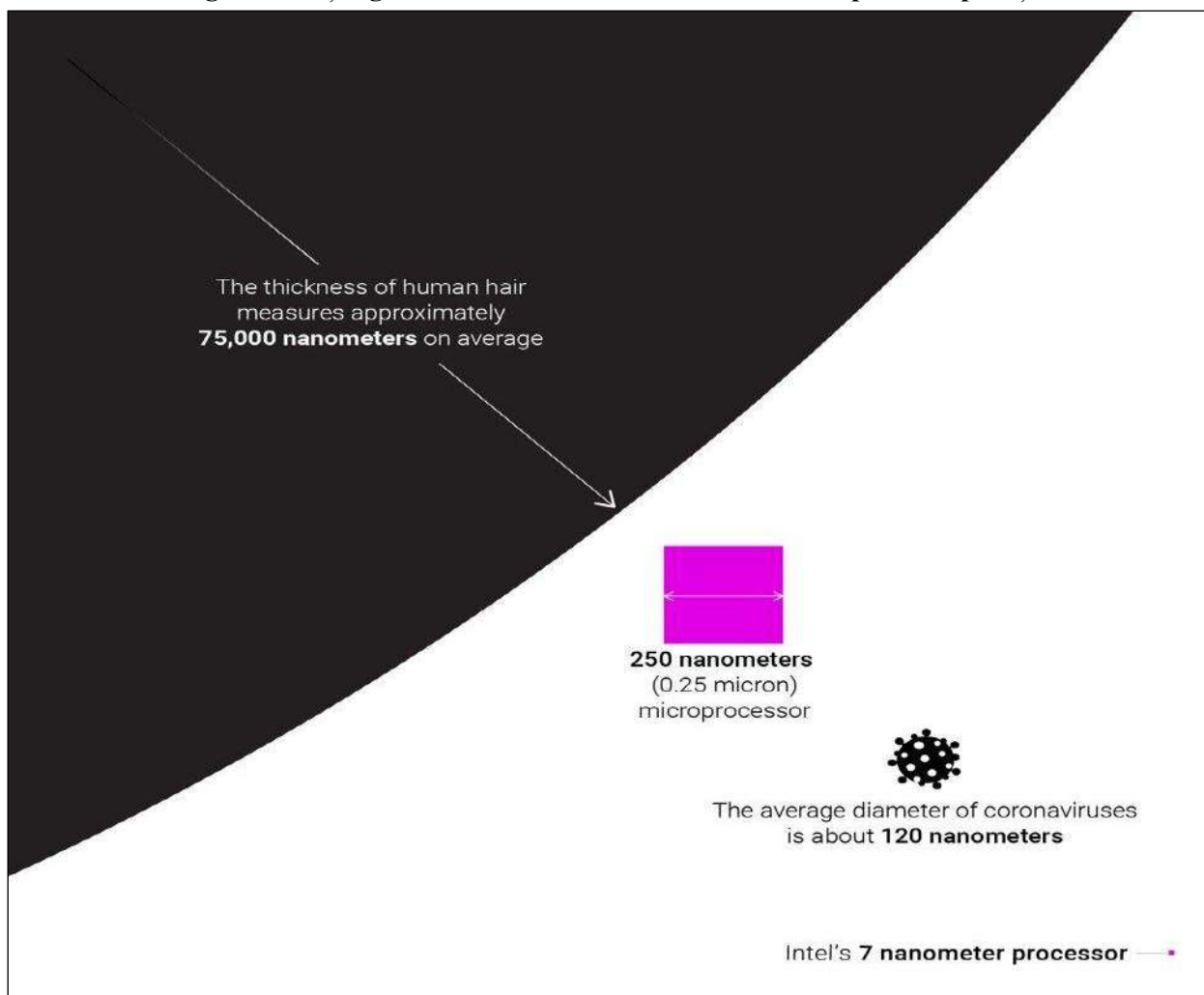
Pentru a înțelege pe deplin dimensiunea la care se desfășoară aceste procese de producție și nivelul pe care l-a atins miniaturizarea, este interesant și foarte revelator de arătat, de pildă, că un

¹⁰ EDA = Electronic Design Automation (soft-uri specializate).

atom de siliciu are diametrul de $\frac{1}{2}$ nm (Capri, 2020). Cu alte cuvinte, un microchip de 7 nm ocupă spațiul a 14 atomi pe suportul de siliciu, iar un viitor chip de 1nm va acoperi suprafața de siliciu reprezentată de doi atomi!

O imagine extrem de sugestivă în același sens, al înțelegerii corecte a dimensiunii la care se întâmplă lucrurile în industria semiconductorilor și a nivelului impresionant al miniaturizării ne este oferită și de Figura 1, de mai jos, în care sunt comparate diametrul unui fir de păr uman (75 000 nm), cu cel al unui vechi procesor de 0,25 microni (250 nm), cu cel mediu al unui coronavirus (120 nm) și, în fine, cu cel al unui procesor de 7nm!

Figura 1: Înțelegând miniaturizarea semiconductorilor prin comparații



Sursa: Pan, Che & Zhang, Jane (2020).

Conform companiei TSMC (Taiwan), în mod obișnuit un proces de fabricație (process node) realizat la un număr de nm mai mic – de ex. 7nm node în loc de 14nm node –, crește viteza de operare a chip-urilor cu circa 20% și reduce consumul de energie cu 40%. Până la finalul anului 2021, TSMC (cea mai performantă în miniaturizare și alături de Samsung singurele care produc microcipuri la 7nm) urma să lanseze și fabricația de masă a chip-ului de 5 nm (5nm node), iar apoi – potrivit anunțului firmei – un chip de 3 nm în 2022 (Pan & Zhang, 2020) și chiar de unul de 1nm, în

perspectivă. Evident, evoluția în ritm atât de alert a noilor realizări din industria semiconductorilor în etapa actuală, a preciziei de nivel atomic a producției, este atât de impresionantă încât este de așteptat ca limitele fizice ale acestui parcurs de excepție să fie cât de curând atinse. Dacă în anii 1990 și în prima parte a anilor 2000 procesul de înjumătățire a dimensiunii tranzistorilor și dublare a numărului lor pe plăcuța de siliciu a continuat să avanseze accelerat, mai recent, el manifestă o relativă lentoare și este de așteptat ca în curând ritmul acestei evoluții să încetinească simțitor, iar Legea lui Moore să-și piardă, după zeci de ani, relevanța.

❖ **În industria semiconductorilor costurile sunt foarte mari**, deoarece:

- Cercetarea inovarea și proiectarea în domeniul semiconductorilor necesită investiții continue și foarte mari, de ordinul zecilor și, mai recent, al sutelor de miliarde de dolari SUA (USD). De pildă în cazul companiei americane *Intel*, dacă tranziția de la fabricația chip-urilor de 65 nm (65 nm node)¹¹, la cea de 45 nm și apoi în continuare la 28 nm și 22 nm presupuneau costuri în creștere dar încă situate în zona zecilor de milioane de USD, saltul spre chipul de 16 nm a necesitat 100 milioane USD, apoi trecerea la cel de 10 nm a implicat aproape 200 milioane USD, cel de 7nm, 300 milioane USD, iar cel de 5 nm, aproape 550 milioane USD (Stratfor, 2019; Capri, 2020).
- Nivelul de pregătire, abilitățile și experiența reclamate de la personalul angajat precum și exigențele față de performanța acestuia sunt extrem de ridicate în toate etapele procesului de proiectare și producție. În consecință, și salariile și, în general, investițiile companiilor în forța de muncă sunt ridicate;
- Pentru a nu re-inventa ceea ce deja există undeva în lume, în industrie se achiziționează în mod curent licențe, care pot fi și ele foarte costisitoare;
- De asemenea, sunt cumpărate softuri (EDA) concepute special, pe bază de comandă, pentru proiectarea și producția tipului specific de semiconductori din oferta fiecărei fabrici. Acestea sunt adaptate specificului echipamentelor, procesului de producție și materialelor care se folosesc pe tot parcursul fabricației, până la distribuția către beneficiarii finali de chip-uri, care sunt de regulă companii dintr-o largă pleiadă de industrii.
- Echipamentele pe care se produc semiconductorii lucrează la precizie de atom, sunt extrem de sofisticate și de scumpe, iar numărul lor în fiecare unitate de producție (numite *fabs* sau *foundries*) este foarte mare, întrucât realizarea unui semiconductor poate presupune și 1.000 de faze de prelucrare. O unitate care se ocupă de fabricația propriu-zisă (fab/foundry) utilizează 50-60 de utilaje, astfel încât costul unei asemenea uzine se măsoară în final în zeci de miliarde de USD. Spre exemplu, conform unei estimări realizate de *International Business Strategies*, o fabrică recent construită de TSMC pentru producția semiconductorilor de 5nm a implicat, investiții de 15 miliarde USD, dublu comparativ cu precedentele unități care produc chipuri de 14 nm (Pan & Zhang, 2020).
- Condițiile pe care trebuie să le ofere și să le respecte unitatea de producție ca spații de prelucrare sunt, la rândul lor, extrem de exigente în materie de temperatură, umiditate, izolare față de exterior, vid etc., și mai ales în ceea ce privește cerința de curățenie absolută: spațiile

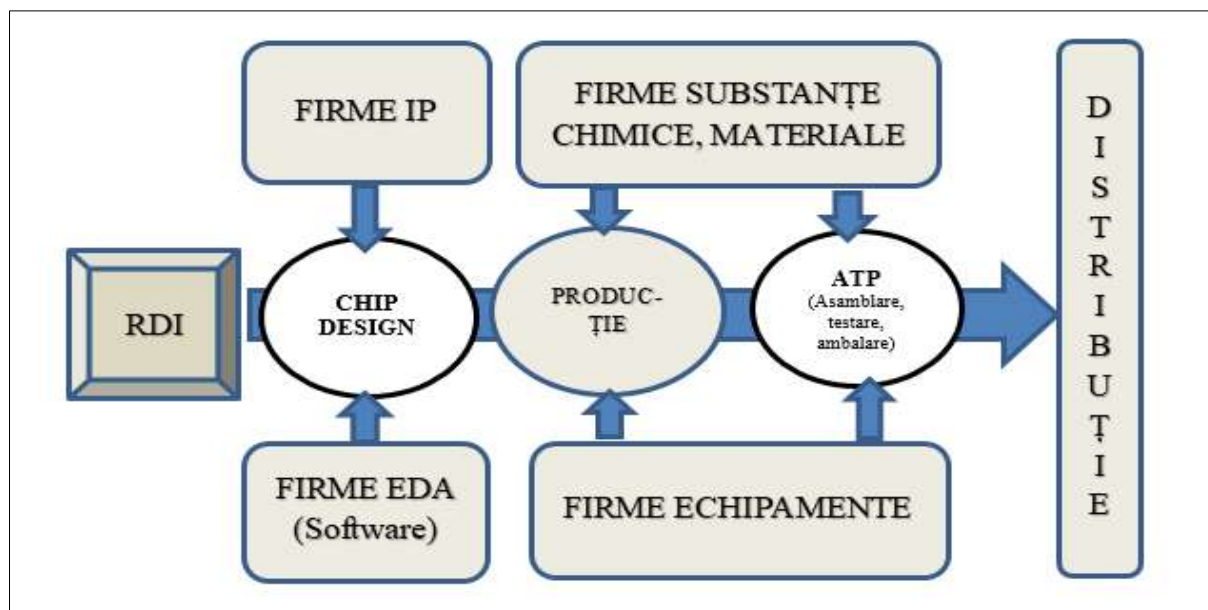
¹¹ Procesul de fabricație al unui *chip de X nm* se numește *X nm node* (ex: 65 nm node, 16 nm node, 7 nm node etc.).

de lucru trebuie să fie literalmente de 100.000 de ori mai curate decât sălile de operații din spitale! (Capri, 2020) Toate acestea presupun costuri suplimentare ridicate.

- În fine, asemenea fabrici operează pe parcursul unui proces de producție cu peste 400 de substanțe chimice și materiale diferite, unele cu formule secrete protejate, sau chiar create special pentru producătorul de semiconductori respectiv. Spre exemplu, doar barele de Si (ingots) – care ulterior se feliază în dischetele pe care se vor construi semiconductorii –, parcurg un proces de fabricație foarte complex, în opt etape mari, în urma căruia ajung la o puritate de 99,99999999 % și zero defecte. Desigur, și toate aceste materiale sunt costisitoare.

❖ În ceea ce privește organizarea aprovizionării și producției, *industria semiconductoarelor presupune procese de CDI, proiectare, execuție, testare și ambalare foarte complexe, cu până la o mie de etape ale fabricației și implicarea a sute și chiar mii de companii furnizoare de bunuri și servicii*. Figura 2 prezintă o imagine schematizată, mult simplificată, redusă la esență dar totuși relevantă, a procesului de fabricație a semiconductoarelor și a ecosistemului companiilor care îl desfășoară și care compun împreună lanțul valorii în această industrie.

Figura 2: Ecosistemul companiilor din industria semiconductoarelor



Sursa: Autorul pe baza documentației studiate.

În industria semiconductoarelor firmele se încadrează în unul din trei variante funcționale, care constituie 3 modele funcționale principale:

- Companii specializate în proiectare/chip design (Fabless)**, inclusiv cele care contribuie cu softuri (EDA). Astfel de firme sunt: Nvidia, AMD, Broadcom, Qualcomm, Media Tek, Spreadtrum etc.
- Companii specializate în producție (Fabs / Wafer foundries / foundries)**, ca de pildă: Global Foundries, TSMC, SMIC, HH Grace, Tower Jazz, UMC etc.

Fiind foarte distinct specializate, firmele din categoriile A și B colaborează urmând modelul *Fabless-Foundry Model* pentru a putea realiza un proces de fabricație complet, la capătul căruia sunt livrați beneficiarilor semiconductorii de care au nevoie. Există însă și un număr mai mic de companii organizate conform modelului funcțional *IDM Model*¹², respectiv:

C. Companii care integrează toate secvențele proiectării și producției (IDM), precum sunt Samsung, Intel, Infineon, Micron, Texas Instruments, Renesas etc. Remarcabil, firma sud-coreeană Samsung, care este organizată funcțional pe modelul IDM, este integrată complet pe verticală, fiind și mare un producător de produse electronice finite (Capri, 2020).

Firmele care realizează proiectarea chip-urilor (chip design), numite *fabless*, lucrează în strânsă colaborare cu producătorii acestora (*fabs / wafer foundries / foundries*), dar și cu cei care furnizează echipamentele, substanțele chimice și materialele necesare și, desigur, cu furnizorii plăcuțelor de siliciu dacă producția acestora nu este integrată. În majoritatea cazurilor plăcuțele de siliciu sunt produse de firme specializate distincte, deoarece procesul lor de producție este în sine unul foarte sofisticat, lung și extrem de exigent, atât sub aspectul condițiilor execuției - mediu perfect steril, precizie impecabilă a echipamentelor, puritate maximă a cristalului de Si tras¹³, finisaj și curățare perfecte ale plăcuțelor -, cât și în privința livrării acestora, dublu ambalate în vid, pentru a li se păstra calitatea. Firmele *fabless* beneficiază de softuri concepute dedicat de la firme specializate (EDA), precum și de licențe achiziționate de la firmele care dețin drepturi de proprietate intelectuală (IP) pe inputuri de interes¹⁴.

Împreună, firmele *fabless* și *fabs/wafer foundries* constituie ceea ce se numește în domeniu partea de *front end* a producției, în timp ce activitățile ATP (asamblare, testare, ambalare) sunt cele care constituie partea de *back end*, care folosește și ea echipamente și softuri complexe, materiale speciale și personal calificat, dar gradul de complexitate și intensitatea în CDI sunt mai scăzute. De aceea, circa 90% din valoarea unui circuit integrat este creată în partea de *front end* a lanțului valorii, în timp ce activitățile ATP, din *back end*, adaugă numai diferența de 10% (Capri, 2020).

Companiile specializate în activități din categoria *front end*, respectiv *fabless* și *fabs/wafer foundries*, sunt încadrate în industrie în funcție de nivelul capabilităților lor în sfera CDI și al palmaresului în descoperiri și realizări tehnologice novatoare, în două categorii:

- *cutting-edge wafer fabrication*¹⁵, care sunt deschizătoarele de drum, cele care prin inovarea proprie produc salturi tehnologice, sparg tipare, împing înainte întreaga industrie și chiar produc deschideri către domenii complet noi, și
- *trailing-edge wafer fabrication*¹⁶, companiile care se bazează și depind de inovațiile celor dintâi, urmează calea deschisă și bătătorită de firmele care fac pionierat, fără a fi ele însele creatoare de nou. Acest fapt este important din perspectiva analizei industriei de semiconductori a Chinei, întrucât o bună parte a acestora s-a dezvoltat masiv tocmai în această

¹² IDM = Integrated Device Manufacturers.

¹³ Pulling = tragere (procedeu prin care siliciul topit este transformat într-un monocristal pur, de formă cilindrică, numit ingot).

¹⁴ IP = Intellectual Property (Rights).

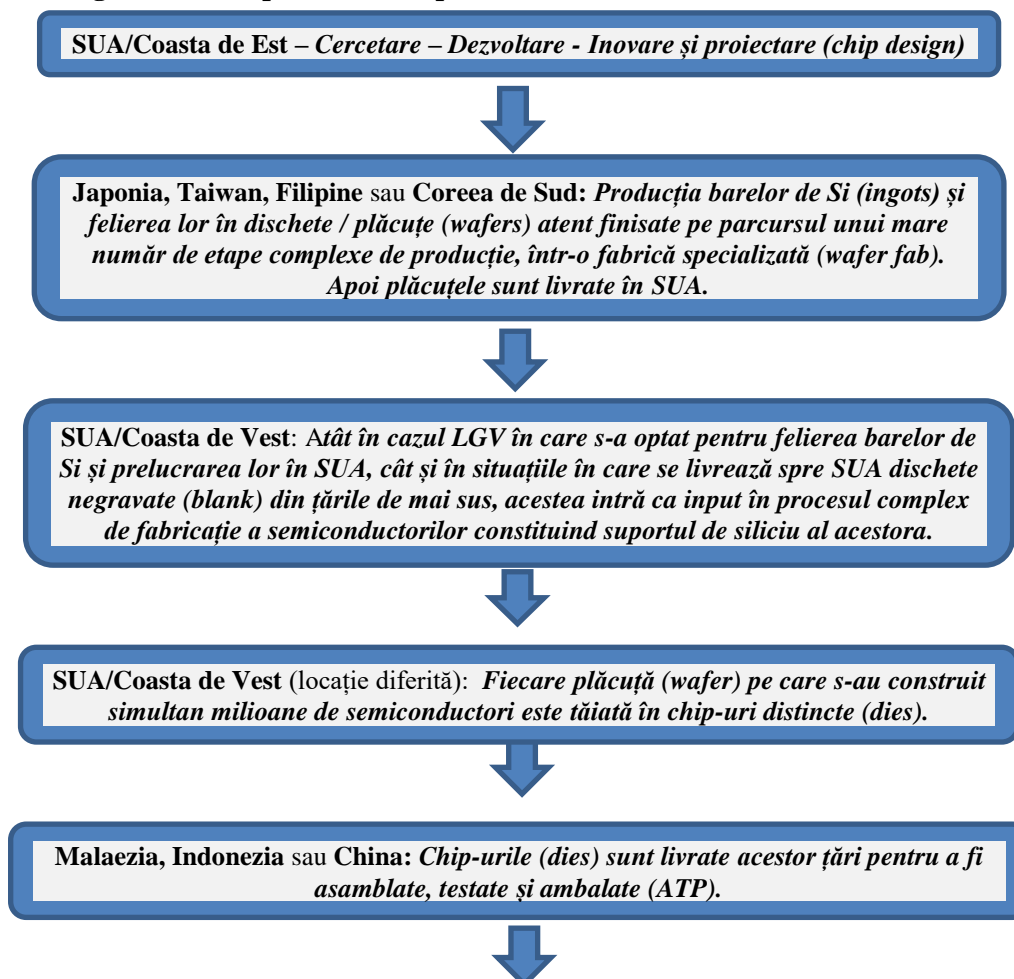
¹⁵ Cutting-edge wafer fabrication (engl.) = fabricație inovativă, de ultimă oră.

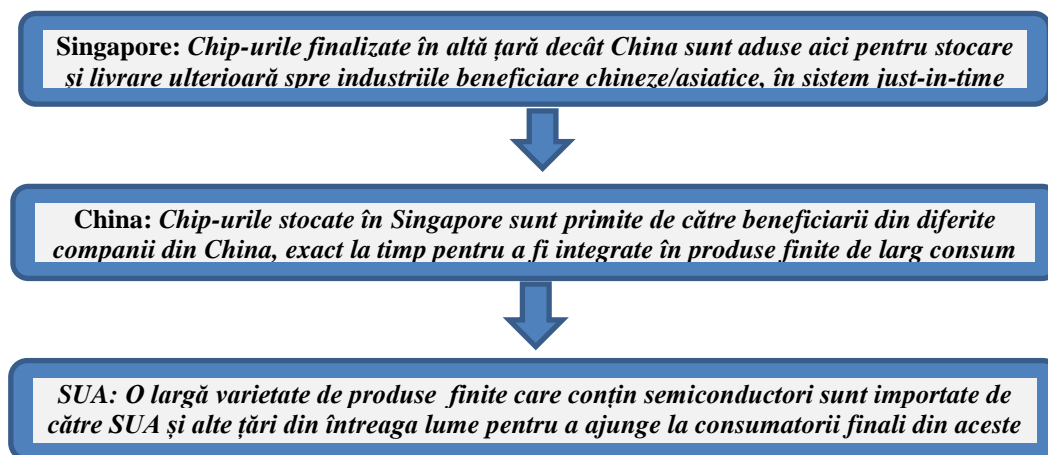
¹⁶ trailing-edge wafer fabrication (engl.) = fabricație "la remorcă", ce urmează/repetă un model/tehnologie prestabilit(ă) de alții.

zonă *trailing-edge*, mai ușor accesibilă, dar aflată în extremitatea de joasă tehnologie (low-end) a lanțului valorii, adăugând, în consecință, doar maximum 10% la valoarea unui microchip.

❖ **Industria semiconductorilor este cea mai globalizată dintre toate industriile lumii.** Date fiind costurile ridicate pe care le presupune fabricația semiconductorilor, intensivitatea ridicată în cunoaștere, în CDI, creativitate, calificări și abilități superioare specifice domeniului, precum și exigențele mari în privința calității inputurilor necesare, preciziei derulării proceselor productive propriu-zise și nivelului performanței produselor rezultate, în ultimii circa 20 de ani, prin mecanismele de piață liberă ale pieței globale s-au generat lanțuri globale ale valorii (LGV) cu un mare număr de participanți răspândiți pe trei continente. Fabricația microcipurilor este atât de globalizată, încât încercarea de a merge pe urmele unui microcip, oricare ar fi el, pe tot lanțul de producție ar releva inevitabil zeci de operațiuni repetate de import și export între țări și numeroase traversări, uneori dus-întors, de frontiere. Un exemplu simplificat ar cuprinde cel puțin următoarele “zale” ale unui lanț al valorii minimal (Figura 3). După cum se poate constata, în această figură sunt prezentate doar fazele principale ale procesului de producție a semiconductorilor, nu și pleiada celorlalte companii care asigură inputurile necesare fiecăreia dintre aceste etape. Ca atare, complexitatea procesului și nivelul ridicat al globalizării industriei au în realitate proporții mult mai mari decât ar putea crea impresia acest exemplu mult simplificat.

Figura 3: Exemplu de LGV tipic în industria semiconductorilor





Sursa: Realizat de autor pe baza informațiilor din: Pan & Zhang (2020), Capri (2020).

Totodată, deși grăitoare, figura nu surprinde elemente însemnate, ca de pildă importanța fiecărei etape a producției (ponderea ei) în realizarea valorii adăugate a microcipurilor. În Tabelul 1, de mai jos, se pot analiza aceste informații adiționale, prezentate atât pe tipuri de companii, cât și pe faze ale producției și țări participante:

Tabel 1: Amplasamentul geografic și specializarea companiilor din industria semiconductoarelor, pe tipuri de activități și țări

Total firme la nivel global	SUA	Coreea de Sud	Japonia	Taiwan	Singapore	China	Europa	Celelalte țări
Modelul funcțional Integrated Device Manufacturing (IDM)								
MNCs model IDM	51%	28%	11 %	2%	-	-	7%	1%
Modelul funcțional Fabless-Foundry (FF)								
ChipDesign/ Fabless 45% din VC	62%	-	1%	18%	-	10 %	2 %	7 %
Producție/ Foundry 45% din VC	10%	6%	2%	73 %	-	7%	-	2%
ATP 10% din VC	17%	-	5%	54%	12 %	12 %	-	-

Sursa: Autorul pe baza informațiilor din Stratfor (2019); SIA (2020).

După cum se poate observa, marile companii care funcționează ca *IDM* integrând cercetarea-proiectarea, fabricația propriu-zisă și operațiunile de asamblare-testare-ambalare, dețin facilități și au parteneriate locale în special în SUA (51%), Coreea de Sud (28%) și, într-o mai mică măsură, în Japonia (11%) și Europa (7%). Nu același este însă și comportamentul firmelor care funcționează pe model *fabless-foundry*: cele specializate în cercetare și proiectare, (*fabless*) aleg să își desfășoare activitatea mai ales în SUA (62 %) și Taiwan (18%), cele care fac producția propriu-zisă (*fabs/foundries*) funcționează preponderant în Taiwan (73%), în timp ce companiile cu activități din

sfera ITP se află mai degrabă în Taiwan (54%) și SUA (18%), dar în tot mai mare măsură și în Singapore (12%) și China (12%).

Modelul funcțional *fabless-foundry* al companiilor din industria de semiconductori s-a dovedit mai favorabil Chinei decât *modelul IDM*, în sensul în care China a fost implicată și și-a putut dezvolta capacitățile în zone mai accesibile ale lanțurilor globale ale valorii, atât în proiectare (10%), cât și, mai ales, în operațiunile ATP (12%) și, deși mai puțin, chiar și în fabricația propriu-zisă (7%), în procesele de producție mai puțin sofisticate. Notăm însă câteva observații importante:

(i) Comportamentul marilor companii din industria semiconductoarelor este în mare măsură similar în ceea ce privește preocuparea pentru păstrarea și protejarea proprietății intelectuale celei mai prețioase și a activităților cu cea mai mare valoare adăugată, fie menținându-le în cadrul național, fie amplasându-le în alte zone considerate sigure, în timp ce, în paralel, majoritatea aleg să-și deruleze activitățile cu valoare adăugată mai scăzută în piețe cu avantaje de cost, mai ales asiatice (vezi ATP, mai intensive în forță de muncă, un input considerabil mai ieftin în Asia).

(ii) Apariția Chinei cu o participare considerabilă în LGV pe segmentele de chip design (10%) și ATP (12%) este atât rezultatul eforturilor Chinei (finanțări și subvenții, reglementări favorabile etc) – în sensul de a deschide initial o breșă pe piață și a se transforma apoi, treptat, într-o prezență tot mai importantă în domeniu –, cât și expresia faptului că în aceste activități barierele la intrarea pe piață sunt mai mici.

(iii) Deși a debutat în SUA, în ultimele două decenii fabricația de semiconductori a lumii a migrat treptat spre continentul asiatic. În prezent, ea este puternic dezechilibrată, fiind masiv concentrată în Asia (Tabelul 2), mai ales în Taiwan, ceea ce face ca, practic, lanțurile globale de aprovizionare să devină dependente de o singură sursă, ajungând, în consecință, fragile și vulnerabile. Acest fapt este de altfel confirmat și de actuala *criză a semiconductoarelor* (Capri, 2021). Războiul comercial și apoi și cel tehnologic declanșate în 2018 între SUA și China, pandemia de Covid-19 dezlănțuită în ianuarie 2020 și exigențele pe care omenirea trebuie să și le impună pentru a stopa schimbările climatice drastice din ultimii ani au constituit, toate, factorii de presiune care au forțat dur aceste lanțuri fragile, iar ele au cedat în fața saltului cererii pentru semiconductori, generând actuala penurie globală și împingând în criză numeroasele industrii beneficiare.

Tabel 2: Top 5 producători (foundaries) de semiconductori la nivel mondial, 2020

Poziția în ierarhia lumii	Nume	Cotă de piață	Investiții în CDI/2020 (mld. USD)	Patente înregistrate 2020	Observații
1.	TSMC (Taiwan)	55%	3,8	2833/2020 (+22% vs. 2019)	Locul 6 mondial la patente /2020
2.	Samsung (Coreea de Sud)	17%	18,75	6415/2020	Locul 2 mondial la patente. Cel mai mare investitor CDI neamerican

3.	UMC/United Microelectronics Corporation (Taiwan)	7%	0,4	Este prima companie din lume care a renunțat la investiții în CDI/ <i>cutting edge</i> , și dezvoltă doar activități <i>trailing edge</i> .	
4.	Global Foundaries (USA=> UAE)	7%	0,9	>10 000 patente/cereri patente total	-
5.	SMIC (China)	4%	0,7	631/2019	-

Sursa: Bajpai (2021); EqualOcean (2021); Censtry (2020).

Cele de mai sus ilustrează și explică și o ultimă trăsătură specifică importantă a industriei globale a semiconducătorilor, pe care dorim să o relevăm aici fără a avea prin aceasta pretenția finalizării unei caracterizări exhaustive:

❖ **Industria globală a semiconducătorilor este dominată de un număr restrâns de mari companii**, în primul rând americane, pentru că acestea au investit devreme în cercetare, au inovat și au putut valorifica *avantajul primului venit* cucerind piețele, stabilind standarde, obținând profituri mari din care și-au alimentat în continuare avansul tehnologic față de ceilalți și construind simultan bariere la intrarea pe piață a concurenților potențiali. Piața a fost totuși penetrată de un număr relativ restrâns de companii asiatice, al căror succes a fost într-o anumită măsură posibil ca efect al politicilor industriale ambițioase promovate de statele respective (Japonia, Coreea de Sud, Taiwan) dar și, mai ales, ca urmare a acceptului firmelor americane de a coopera, venind cu investiții, transferuri de tehnologie și know-how în aceste țări.

Companiile asiatice care au reușit primele să intre pe această piață – Toshiba (Japonia), Samsung (Coreea de Sud) și TSMC (Taiwan) sunt și astăzi lideri de piață, alături de companiile americane, unele chiar în zona de vârf a ierarhiilor lumii. Într-un clasament după veniturile obținute în 2020 din fabricația de semiconducători, șase din cele mai mari zece companii de profil sunt americane, trei asiatice și doar una europeană, clasată pe ultimul loc în Top10. Companiile asiatice, două sud-coreene și una din Taiwan, sunt foarte bine plasate în ierarhie, ocupând locurile 2-4, imediat în urma liderii americane *Intel*, iar restul de cinci firme americane ocupă a doua jumătate a clasamentului (Tabel 3).

Este demnă de remarcat lipsa firmelor chineze din acest top, acestea lipsind nu numai ca exportatori semnificativi pe piața globală, dar, în mare măsură, și ca furnizori pentru propria lor piață internă, rămasă în continuare într-o stare de puternică dependență față de import, pentru a satisface atât cererea internă a industriilor chineze, cât și cererea externă de produse electronice, electrocasnice, și a celorlalte nenumărate mărfuri care înglobează microchip-uri și sunt exportate din China.

Tabel 3: Top 10 companii din industria de semiconductori ai lumii, 2020
(Venituri, miliarde USD)

Poziția în ierarhia lumii	Nume și model funcțional	Sediul social	Volumul veniturilor	Pondere în veniturile Top10
1.	Intel (IDM)	Santa Clara, California, USA	72,8	24,9%
2.	Samsung (IDM)	Seul, Coreea de Sud	57,7	19,7%
3.	TSMC (Foundry)	Hsinchu Science Park, Taiwan	48,0	16,4%
4.	SK Hynix (IDM)	Icheon, Coreea de Sud	25,9	8,5%
5.	Micron Technology (IDM)	Boise, Idaho, USA	22,0	7,5%
6.	Qualcomm (Fabless)	San Diego, California, USA	17,6	6,0%
7.	Broadcom (Fabless)	Santa Clara, California, USA	15,8	5,4%
8.	Texas Instruments (IDM)	Dallas, Texas, USA	14,5	5,0%
9.	Nvidia (Fabless)	Santa Clara, California, USA	10,9	3,7%
10.	NXP Semiconductors (IDM)	High Tech Campus, Eindhoven EU/Olanda	8,6	2,9%

Sursa: Statista (2021); Macrotrends (2021); Lam et al (2020); Bajpai, P. (2021)

Pe de altă parte, o ierarhizare a țărilor după vânzări, exprimate în cotele cumulate de țările exportatoare pe piața globală ca urmare a exporturilor efectuate de către firmele care au sediul central înregistrat în țările respective, relevă o dată în plus poziția puternic dominantă a firmelor americane din industria semiconductoarelor (2019): SUA cumulează o cotă de 47% din vânzările globale de semiconductori ocupând locul 1. Urmează la o distanță substanțială, pe locul doi, Coreea de Sud (19%), pe trei UE și Japonia, având câte 10% din vânzări fiecare și apoi Taiwan (6%) și China (sub 5%) (SIA, 2020).

În plus, aceeași dominație americană fermă se poate constata și dacă privim secvențial la situația vânzărilor de semiconductori pe marile piețe ale lumii, pe care Statele Unite le controlează prin cote de piață substanțiale (Stratfor, 2019):

- 47,5% din vânzările anuale de pe piața de 154,4 miliarde USD a Chinei;
- 48,7% din vânzările anuale de pe piața de 124,5 miliarde USD din Asia-Pacific;
- 34,9% din vânzările anuale de pe piața de 103,0 miliarde USD a continentelor americane;
- 48,9% din vânzările anuale de pe piața de 43,0 miliarde USD a Europei;
- 40,4% din vânzările anuale de pe piața de 40,4 miliarde USD a Japoniei.

Menținerea companiilor americane în poziția de lideri de piață este strâns corelată cu *efortul constant făcut de companii în sfera cercetării-dezvoltării și inovării*, o bună parte din veniturile acestora – semnificativ mai mult decât concurența (dublu față de China, de pildă) –, fiind dirijate spre aceste activități (SIA, 2020):

- SUA – 16,4% din veniturile firmelor merg spre CDI;
- Europa – 15,3%;
- Taiwan – 10,3%;
- Japonia – 8,4%;
- China – 8,3%;
- Coreea de Sud – 7,7%;
- Toți ceilalți – 5,6%.

În ceea ce privește China, trebuie făcută observația că firmele chineze primesc în plus subvenții și finanțări mari de la stat pe diferite căi (programe de finanțare și fonduri guvernamentale și/sau la nivel de regiuni create în acest scop, finanțarea masivă a institutelor de cercetări și a educației de profil, accesul firmelor la credite preferențiale, scutiri de taxe, suport financiar pentru achiziții de licențe, preluări de companii străine și pentru cooperări cu firme occidentale etc.). De altfel, potrivit unui studiu ITIF¹⁷, întrucât există o corelație puternică (0,89) între investițiile firmelor din industria semiconductorilor în CDI din anul curent și veniturile lor din anul precedent, faptul că firmele chineze capturează cote de piață prin concurență neloială (prin intervenția distorsionantă a statului cu măsuri de tipul celor de mai sus) conducând la scăderea cotelor de piață și a încasărilor firmelor străine mai inovative decât cele chineze, prejudiciază investițiile acestora în CDI din anul următor și determină astfel o încetinire globală a inovării în domeniu. Studiul afirmă că, în lipsa acestor politici mercantiliste ale statului chinez, industria globală a semiconductorilor ar beneficia anual de un plus de 5.000 de patente numai din partea firmelor americane (Atkinson, 2021).

3. Industria semiconductorilor în China

3.1 Decalajul Chinei față de liderii pieței globale și cauzele sale

China este cea mai mare piață a lumii și cel mai mare importator mondial de semiconductori pentru că, fiind „atelierul lumii” are o cerere internă foarte mare, în continuă creștere și diversificare pentru asemenea inputuri, dar totodată ea depinde major de importuri și deoarece, în pofida strategiilor guvernamentale lansate cu decenii în urmă și a eforturilor financiare uriașe angajate în scopul dezvoltării acestei industrii, succesele obținute au rămas relativ modeste, iar decalajul față de Occident persistă și este încă de proporții însemnate. Importurile chineze anuale de semiconductori se ridică în ultimii ani la circa 300 de miliarde USD anual, depășindu-le pe cele de petrol. Circa jumătate din acest volum (până la 160 de miliarde USD pe an) este re-exportat odată cu exportul produselor finite care înglobează microchip-uri, respectiv produse electronice, electrocasnice, mijloace de transport, aparatură, echipamente industriale și de telecomunicații, medicale, din energetică, robotică etc. (Pan & Zhang, 2020).

Consumul Chinei de semiconductori (Tabelul 4) a manifestat o dinamică deosebită, tot mai accelerată în ultimii ani și superioară celei din alte zone geografice. În consecință, în 2019, *China consuma deja pentru producția de export și pentru cea destinată uriașei sale pieței interne peste 60% din semiconductorii fabricați în lume*, adică mai mult decât dublul cotei reprezentate de

¹⁷ ITIF = Information Technology & Innovation Foundation.

consumul său din 2005. Trendul acesta ascendent a fost expresia globalizării industriei, a relocalizărilor intense dinspre Occident și a investițiilor străine în unități productive pe teritoriul Chinei, dar a fost, în același timp, și un fenomen susținut și stimulat, pe de o parte, de evoluția pieței libere, a cărei cerere globală pentru semiconductori a fost în continuă creștere, iar pe de altă parte, prin politicile industriale promovate sistematic de guvernul chinez. Acești factori s-au manifestat inclusiv după declanșarea pandemiei de Covid-19, care a adăugat stimuli noi, determinând o adevărată explozie a cererii și vânzărilor unor categorii de mărfuri dependente de dotarea cu semiconductori, în primul rând laptop-uri, tablete, computere, telefoane mobile pentru munca și școala de acasă, dar și aparatură și echipamente medicale și de laborator, mijloace de transport, produse electrocasnice etc., multe dintre acestea fabricate în China.

Este interesant de remarcat în Tabelul 4 cum, practic, anii 2005-2019 au fost chiar perioada în care globalizarea producției de semiconductori a luat avânt și totodată cea în care distribuția geografică pe glob a industriei de prelucrare s-a dezechilibrat rapid, evoluând de la situația din 2005 (în care cererea de consum de semiconductori era relativ egal distribuită între marile regiunile consumatoare, în cote situate în jurul a 20% din consumul total, reflectând existența unei industrii de prelucrare încă semnificative pe toate continentele), la situația din 2019, când peste 60% din consumul global de semiconductori are loc în China, țara în care între timp s-au concentrat preponderent capacitățile și capabilitățile de prelucrare industrială ale lumii.

Tabelul 4: Evoluția cotelor în consumul global de semiconductori, pe mari regiuni, 2005-2015 și 2019

Regiunea	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2019
America de N și S	17,9	18,1	16,6	16,9	15,3	15,5	14,0	12,4	11,8	11,6	12,0	11,4
Europa	17,3	16,1	16,0	13,2	11,4	11,4	13,0	11,1	9,7	9,4	6,0	9,0
Japonia	19,4	18,4	19,1	12,0	10,7	11,1	8,4	7,3	6,7	5,9	5,5	5,4
China	24,8	29,9	34,8	39,5	42,8	41,7	46,8	52,5	55,6	56,6	58,5	60,5
Restul lumii	20,6	18,4	13,5	18,4	19,8	20,3	17,8	16,7	16,2	16,5	18,0	13,7

Sursa: Craig (2020).

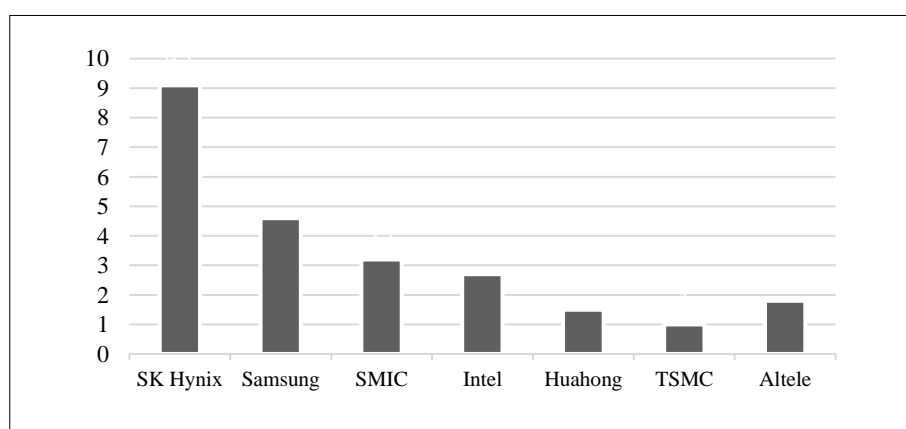
China produce, de pildă, 90% din telefoanele inteligente, 70-80% din dronele comerciale, câte 65% din calculatoarele personale și din televizoarele inteligente ale lumii etc., mărfuri pentru care are nevoie de microchip-uri. Dar în urmă cu numai câțiva ani, în 2015, ea nu putea satisface din producția internă decât circa 9% din consumul propriu de semiconductori, restul de 91% din necesar fiind nevoită să îl importe, iar 56% din acest import provenea din Statele Unite. În 2020, cu toate eforturile investiționale și în pofida tuturor stimulentele, China abia a ajuns să poată acoperi din producția proprie sub 16% din cererea pieței proprii, nevoia de import, mai ales de semiconductori sofisticati, a rămas foarte mare, iar sursa principală a acestui import a devenit volatilă, căci, între timp (din 2018), SUA au pornit un război comercial și tehnologic bilateral în centrul căruia se află chiar accesul la semiconductori, la tehnologiile, echipamentele și softurile necesare producerii acestora (Capri 2020; Schroth, 2020; Craig (2020).

Producția internă de semiconductori a Chinei se bazează în cea mai mare măsură pe activitatea companiilor străine care au deschis unități de producție acolo, atrase de dimensiunile, oportunitățile și dinamica deosebite ale pieței ei interne, de nivelul comparativ mai redus al anumitor componente de costuri și de stimulentele oferite de statul chinez. Dacă însă firmele din Taiwan au fost printre primele venite și au avut o contribuție importantă la așezarea bazelor unei industrii chineze autohtone, ponderea cea mai mare în producția națională de semiconductori nu o au acestea, ci companiile sud-coreene (Craig, 2020; Stratfor, 2019).

Ierarhizate după venituri, companiile cele mai puternice, care domină producția de microchip-uri din China, sunt *S.K. Hynix* și *Samsung* (ambele sud-coreene), urmate de *TSMC* (din Taiwan) și câteva firme locale: *SMIC*, *Huahong Group* și *Huawei* (care realizează chip design prin filiala sa fabless *HiSilicon* și încredințează fabricația firmei *TSMC*). Printre acești producători interni, în 2018 cele două companii sud-coreene au realizat mai bine de jumătate (57,6%) din vânzările anuale totale de 23,8 miliarde USD efectuate din producție internă, în timp ce principalele două companii chineze, *SMIC*¹⁸ și *Huahong* au efectuat doar 19,7%, iar *TSMC* doar 4,2% din vânzări (Graficul 1).

SMIC, cea mai avansată companie chineză din sfera semiconducturilor, întemeiată în anul 2000 la Shanghai pe modelul *TSMC* de către un fost specialist chinez de la *Texas Instruments*, este funcțional o “turnătorie” (*fab/wafer foundry*) puternic dependentă de accesul la tehnologia străină. 70% din veniturile sale anuale sunt investite în echipamente și materiale importate din SUA, Europa și Japonia (Pan & Zhang, 2020). Dar în pofida eforturilor companiei și a sprijinului consistent și continuu al statului chinez, pe fondul complexității ridicate a domeniului, al barierelor ridicate la accesul pe piață și al mai recentelor măsuri restrictive privind accesul la tehnologia și know-how-ul american, *SMIC* nu reușește să fie suficient de performantă. Cele mai avansate chip-uri pe care le produce sunt cele de 14 nm, recent introduse în fabricație, în condițiile în care *TSMC* și concurența occidentală de top au trecut la fabricația microchip-urilor de sub 10 nm – respectiv semiconductori la 7 nm și 5nm – și pregătesc viitoarele procese de producție (*3nm și 1nm nodes*) la 3nm (*TSMC*, pentru lansare în în 2023) și chiar la 1nm, adică la dimensiunea a 2 atomi de Si!

Graficul 1: Vânzările celor mai mari producători de semiconductori din China, în 2018 (mld. USD)



Sursa: Autorul, pe baza Craig (2020); Stratfor (2019).

¹⁸ SMIC = Semiconductor Manufacturing International Corporation.

În ultimii 20 de ani, companiile chineze din branșă au primit subvenții de 50 miliarde USD, de 100 de ori mai mult decât cele din Taiwan, precum și scutiri de taxe, terenuri gratuite, credite preferențiale și tratament de favoare la achizițiile guvernamentale, dar ele au reușit doar să mărească producția și exportul microchip-urilor din gama de joasă și cel mult medie performanță. **Problema reală a Chinei este incapacitatea companiilor ei de a produce semiconductori de înaltă performanță, iar explicația acestei incapacități de a replica succesul Taiwan-ului, Coreei de Sud sau Japoniei se leagă cel puțin de cauze precum:**

- (i) **Rolul jucat de geopolitică.** Ca aliați ai SUA în timpul Războiului Rece, Japonia, Coreea de Sud și Taiwan-ul au beneficiat de capital și transferuri consistente de tehnologie americană, pe când țările socialiste, inclusiv China, se aflau sub embargo, având accesul la produsele high tech restricționat prin activitatea COCOM¹⁹ înființat tocmai în acest scop. În plus, TSMC a avut și avantajul unui director-fondator care atunci când a fost recrutat de guvernul taiwanez pentru acest post avea 25 de ani de experiență într-o companie americană de top în domeniul semiconducturilor (To, 2021). Încheiată în 1994, activitatea COCOM a fost continuată apoi, la altă scară și fără a mai ținti un grup anume de țări, prin *Aranjamentul Wassenaar*, încheiat în 1996 între 42 de state în scopul de a asigura controlul transferurilor de arme convenționale, bunuri și tehnologii cu utilizare dublă, civilă și militară, între țări. Semiconductorii au intrat și sub acest regim.
- (ii) **Rolul situației politice interne: China a pierdut startul dezvoltării industriei semiconducturilor în anii 1970 și din cauze politice interne – mai ales manifestările Revoluției Culturale –, iar nivelul foarte ridicat al abilităților și experienței profesionale necesare stăpânirii și dezvoltării tehnologiilor de această complexitate nu se poate atinge peste noapte.** Atât TSMC, cât și Samsung au început să investească în CDI, în recrutarea și pregătirea talentelor pentru industria semiconducturilor încă de la finele anilor 1970, când China abia ieșea din deceniul întunecat al Revoluției Culturale, în care efortul de cercetare științifică era nu numai desconsiderat, ci pus la zid. Această moștenire a grevat multă vreme, până spre anii 1980 – 1990, capacitatea de dezvoltare și inovare în domeniu, ca urmare a lipsei unui număr suficient de mare de ingineri adecvat calificați. Încă și în prezent industria chineză a semiconducturilor prezintă un deficit de forță de muncă de circa 200 de mii de specialiști capabili să contribuie la ștergerea decalajului dintre China și țările lider ale domeniului. Persistă o penurie de talente, de cercetători suficient de pregătiți în dezvoltarea de chip-uri avansate tehnologic, precum și de manageri cu experiență în acest domeniu complex. Universitățile chineze asigură un număr mai mult decât suficient de absolvenți STEM²⁰, dar calitatea educației rămâne încă mult sub cea din universitățile occidentale (Schneider, 2021). China și-a amplificat eforturile de a recruta ingineri și directori executivi experimentați de peste mări, din companiile de vârf ale industriei, sau chiar de a atrage pensionari ai firmelor taiwaneze de profil, dar succesul a fost limitat. Insuficiența talentelor pentru această industrie

¹⁹ COCOM = Coordinating Committee for Multilateral Export Controls.

²⁰ STEM = Science, Technology, Engineering and Math / Științe, Tehnologie, Inginerie și Matematică.

se manifestă ca o barieră importantă la accesul Chinei pe piața globală a semiconducătorilor din gama tehnologică de vârf.

- (iii) ***Dependența față de cercetarea, echipamentele, componentele, materialele, softurile, experiența, specialiștii și know-how-ul altor țări constituie bariere la acces și o mare vulnerabilitate pentru China.*** În același timp, ruperea lanțurilor producției globale a semiconducătorilor, create, rodite și perfecționate pe parcursul unor decenii, decuplarea economiilor până de curând partenere și localizarea în China a unor lanțurilor complete de aprovizionare și producție a semiconducătorilor sunt mișcări foarte disruptive, costisitoare și riscante, deși ar părea că prezintă avantajul stingerii dependențelor și vulnerabilităților față de străinătate. În practică, succesul celor mai multe companii asiatice de la vârful ierarhiilor domeniului s-a bazat mai degrabă pe specializarea lor relativ îngustă în secvențe ale lanțului valorii și pe cooperarea internațională pentru restul de verigi, nu pe încercarea de a derula în cadrul național toate activitățile reclamate de aprovizionarea și producția semiconducătorilor. Această variantă riscă să fie neviabilă comercial, pe de o parte în contextul în care avansul spre producția semiconducătorilor din gama de vârf presupune creșterea aproape exponențială a costurilor iar, pe de altă parte, având în vedere faptul că firmele utilizatoare din diversele industrii globale care ar putea deveni clienți, tind să rămână fidele partenerilor care le-au aprovizionat dintotdeauna cu chip-uri de calitate, adaptate cerințelor lor particulare.
- (iv) ***Modelul chinez al susținerii industriilor strategice prin investiții masive ale statului s-a dovedit a fi destul de ineficient.*** Semiconducătorii au fost permanent în ultimele decenii pe lista de priorități a politicii industriale chineze, dar progresele au rămas limitate în economia reală. Pentru a reduce dependența față de străinătate, liderii chinezi au introdus în anul 2009 *Proiectul Special 02*, prin care se atribuiau întreprinderilor și institutelor proiecte de CDI în sfera circuitelor integrate. Rezultatele au fost modeste. În 2014, Consiliul de Stat a lansat *Schița Dezvoltării Industriei Naționale a Circuitelor Integrate*²¹. Considerată piatra de temelie a actualei politici naționale în domeniul semiconducătorilor, ea se particulariza prin intervenții directe mai limitate ale statului, comparativ cu trecutul, dar și prin investiții publice masive, acordate neselectiv firmelor beneficiare dornice să dezvolte industria. Schița a stabilit sarcini privind dezvoltarea activităților de pe întreg lanțul de producție (chip design, fabricație, testare-ambalare) și de aprovizionare (producția de echipamente și de materiale), urmărind promovarea tuturor acestor segmente prin finanțare directă din fonduri naționale și regionale și prin măsuri de relaxare fiscală. În consecință, în 2014 a fost constituit și *Fondul Național de Investiții în Industria Circuitelor Integrate (Big Fund)*²² cu un capital inițial de circa 15 miliarde USD (Lee&Kleinhans, 2021; Babones, 2020). Totodată, au fost create și fonduri pentru ghidarea industriei CI la nivel sub-național. În 2020 existau asemenea fonduri la nivelul a 14 administrații provinciale, totalizând echivalentul a circa 45 miliarde USD. **Prima fază** a investițiilor din *Big Fund* s-a încheiat în 2019 cu investiții totale de 22 miliarde USD, din care două treimi au mers spre fabricația propriu-zisă de semiconducători (*fab /*

²¹ National Integrated Circuit Industry Development Outline.

²² National Integrated Circuit Industry Investment Fund (Big Fund).

founndry), industriile de echipamente (SMEs) și de materiale, circa 20% s-au investit în *chip design* și în jur de 10% în activități ATP.

A doua fază a *Big Fund* a început în 2019 cu un capital de 32 miliarde USD urmând a se concentra mai ales pe producția de echipamente pentru industria microchip-urilor. Statul speră să se realizeze același nivel de multiplicare de 1:5 pretins a se fi realizat în faza întâi, ceea ce ar suplimenta cu încă ceva mai mult de 150 de miliarde USD investițiile în industria semiconductorilor, în această fază (Lee&Kleinhans, 2021).

Strategia **Made în China 2025** (MIC2025)²³ destinată modernizării industriale a Chinei a stabilit ținte ambițioase pentru dezvoltarea industriei semiconductorilor și avansul Chinei spre auto-suficiență în acest domeniu și anume: satisfacerea a 40% din consumul de semiconductori din producția internă până în anul 2020 și a 70% până în 2025. Însă în pofida fondurilor uriașe dirijate spre această industrie, în 2020 aceasta reușea să satisfacă din producția locală mai puțin de 16% din cererea internă de consum, adică sub jumătatea nivelului planificat prin MIC2025. Mai mult încă, ponderea cea mai mare a producției interne care satisface cele 16 procente din cererea pieței interne este încă realizată de firmele străine localizate în China, preponderent de cele sud-coreene, nu de firme autohtone. În plus, potrivit firmei *IC Insights*, specializată în cercetarea domeniului semiconductorilor, în 2025 nivelul satisfacerii consumului intern din producția internă chineză va putea ajunge până la cel mult 19,4%, deci foarte departe de țintele MIC2025. Practic, el va rămâne încă la sub jumătate din cel planificat pentru 2020 și la sub o treime din cel planificat pentru 2025 (Schneider, 2021).

Ulterior anului 2014, abordarea strategică chineză privind dezvoltarea industriei semiconductorilor a fost una “...a ‘urmăriturului grăbit’ (*fast-follower strategy*) care recunoaște barierele structurale existente în calea atingerii frontierei tehnologice de la nivel global, dar și avantajele focusării, cel puțin inițiale, pe pozițiile de mai joasă valoare adăugată din lanțul global al valorii” (VerWei, 2019). Prin menținerea controlului asupra politicilor cheie și a finanțării și lăsând piața să joace un rol de ghidaj, statul chinez spera să reușească replicarea succeselor anterioare ale Japoniei, Coreei de Sud și Taiwan-ului în construirea unei industrii autohtone performante. Însă progresul a fost neașteptat de modest și de lent, iar ulterior declanșării războiului tehnologic și comercial cu SUA, presiunea de a diminua decalajul față de țările care domină ferm piața globală a semiconductorilor pe partea ofertei, în sfera performanței tehnologice și a inovării și nevoia de a elimina vulnerabilitatea dependenței tehnologice față de acestea, au devenit tot mai acute pentru China, determinând o schimbare de abordare în dezvoltarea industriei, în sensul opțiunii pentru forțarea (cu șanse de succes nesigure) a unei **strategii a salturilor tehnologice pentru prinderea accelerată din urmă a liderilor pieței**. Pledează în sensul acestei prezumții documentele celui de **al 14-lea Plan Cincinal (2021-2025)** lansate în martie 2021, în care, spre deosebire de situația din precedentul plan cincinal, semiconductorii apar ca o categorie distinctă printre cele șapte prioritizate la nivel național în vederea forțării obținerii unor salturi tehnologice. În același sens poate fi interpretată și prioritizarea dezvoltării semiconductorilor de generația a treia, menționată de asemenea în documentele actualului plan cincinal (Lee & Kleinhans, 2021). Noul Plan cincinal va permite

²³ Strategia Made în China 2025 (MIC2025) a fost analizată în detaliu în prima parte a acestui studiu, realizată în 2020.

măsurile privind creșterea suplimentară a finanțării industriei semiconductoarelor tratând-o, conform unor opinii, cu același nivel de prioritizare acordat în trecut construcției capacităților atomice ale Chinei. Nu există însă nicio garanție că avalanșa de investiții dirijate de stat va funcționa conform așteptărilor, riscându-se în schimb o uriașă risipă de resurse, explozia datoriilor neperformante și destabilizarea economiei chineze (Hancock, Murphy & Liu, 2021).

În China, investițiile statului au condus frecvent la risipă de fonduri și la supraproducție de mărfuri de slabă calitate (vezi, de pildă, industria oțelului), iar astăzi același parcurs are șanse de a se repeta și ca urmare a supra-stimulării financiare, fiscale și legislative a industriei semiconductoarelor. Deja în China proliferază, în ritmuri de 200 pe zi, înregistrările a noi companii ce ar urma să fie implicate în producția de semiconductori (To, 2021). Cel mai probabil unele vor eșua total, multe dintre ele vor putea produce doar chip-uri de joasă performanță și calitate generând riscul unei supraproducții globale pe segmentele respective, plus risipă de resurse (inclusiv minerale critice) la intern și exacerbarea datoriilor, în timp ce alte firme debutante își vor atinge pur și simplu scopul de a valorifica oportunitatea primirii unor finanțări și stimulente de la stat (hazard moral).

China își dorește să devină puterea economică și tehnologică dominantă a lumii, iar strategiile ei în această direcție vizează dezvoltarea tuturor domeniilor tehnologice de vârf ale viitorului apropiat capabile să îi asigure acest statut. Industriile bazate pe tehnologii de vârf sunt singurele care îi pot asigura Chinei, totodată, continuarea creșterii PIB într-o moment în care modelul ei de creștere - bazat pe îndatorare pentru investiții uriașe în imobiliare și infrastructuri - și-a atins limitele, riscând să facă implozie. Liderii chinezi știu, pe de altă parte, că niciunul dintre aceste obiective și niciuna dintre industriile de înaltă tehnologie pe care le promovează nu au perspective sigure în lipsa unui sector bine dezvoltat, dinamic și foarte inovativ al semiconductoarelor și, de aceea, pentru a elimina orice vulnerabilitate, ei urmăresc decuplarea de SUA – de care China depinde tehnologic aproape vital, în preț – și obținerea autosuficienței în această industrie prin construirea tuturor verigilor lanțului valorii în interiorul granițelor proprii.

Semiconductorii sunt prioritatea zero a politicii industriale chineze și constituie miezul tensiunilor dintre China și SUA. Ca atare, obiectivele stabilite în privința acestei industrii sunt de o importanță cardinală, iar pentru ele China pare că este dispusă la orice sacrificii, asumându-și costurile și riscurile enorme pe care le presupun noile ei abordări strategice. În consecință, este de așteptat că ea va continua să facă eforturi financiare importante pentru a șterge distanța tehnologică ce o desparte de concurență, inclusiv va continua să promoveze preluările de firme străine și orice forme de cooperare internațională care i-ar asigura infuzia de tehnologie străină de ultimă oră care să o aducă mai aproape de îndeplinirea acestor obiective.

Conform unor estimări, anularea distanței tehnologice față de liderii pieței globale a semiconductoarelor presupune încă cel puțin 7-10 ani de eforturi de prindere din urmă, cu observația că ținta, fiind și ea în mișcare, poate mări distanța și implicit durata și costurile acestui demers (Zhang, 2019; To, 2021). Alte estimări vorbesc despre o distanță tehnologică defavorabilă Chinei de cel puțin două generații de semiconductori și scot în evidență faptul că aceasta patentează mult mai puțin decât liderii pieței (Atkinson, 2021), pe când în alte analize se vorbește despre incapacitatea demonstrată a companiilor chineze de a-și fi stabilit o prezență competitivă măcar pe piețe mai abordabile, precum

cea a chip-urilor de memorie (RAM²⁴), fiind cu atât mai puțin probabilă performanța Chinei pe piața microprocesoarelor foarte complexe sau, și mai improbabil, saltul acesteia spre proiectarea unor chip-uri de avangardă, multiplu integrate, care presupun printarea simultană a mai multor unități centrale de prelucrare (CPU²⁵), unități de procesare grafică (GPU²⁶), acceleratoare de inteligență artificială și modemuri wireless pe o plăcuță de silicon cu o suprafață de câteva molecule (Barbone, 2020).

3.2 Etape noi în războiul tehnologic SUA-China: verigile LGV devin arme

Între producția de semiconductori, obținerea avantajului competitiv în cursa pentru dominație tehnologică și geopolitică există o legătură directă, dovedită din plin și de cele mai recente manifestări ale războiului tehnologic dintre Statele Unite și China. Odată ce au realizat că pe anumite tehnologii (vezi telecomunicațiile 5G) sau segmente de activități cu valoare adăugată ridicată (chip design), China face progrese importante, chiar amenințătoare la adresa statutului dominant american, fie chiar devine ea însăși principala putere tehnologică a lumii, SUA au luat măsuri ferme legislative și administrative de descurajare a acestui trend încă din timpul mandatului președintelui Trump și în continuare în mandatul Biden:

- ✓ instituind un control mai atent al exporturilor sensibile americane către China și
- ✓ al activității internaționale a companiilor chineze de top (vezi cazurile Huawei, ZTE),
- ✓ limitând accesul companiilor chineze la tehnologia de vârf americană, în primul rând a celei cu utilizare duală, civilă și militară,²⁷
- ✓ blocând investițiile chineze în firme americane și preluările de companii americane (și chiar neamericane) de înaltă tehnologie,
- ✓ sancționând comportamentul de piață al unui mare număr de firme chineze prin includerea pe Liste oficiale ale entităților restricționate,
- ✓ denunțând furturi de IP, arestări, apelând la procese, amenzi, refuz/retrageri de vize etc.,
- ✓ stimulând revenirea industriei semiconductoarelor în interiorul granițelor naționale americane și
- ✓ încurajând influxul de investiții străine directe, la firul ierbii, în producția celor mai sofisticate chip-uri și transferul invers de tehnologie spre SUA (vezi angajamentele TSMC, Samsung²⁸),
- ✓ apelând la politici industriale (!) pentru susținerea dezvoltării industriei americane a semiconductoarelor prin programe de finanțare guvernamentală a CDI și a producției (fabs),

²⁴ RAM = Random Access Memory.

²⁵ CPU = Central Processing Unit, principalul chip logic, un microprocesor pentru scopuri generale care urmează instrucțiunile din soft putând executa nenumărate sarcini diferite. CPU echipează sistemele de operare ale computerelor și telefoanele inteligente.

²⁶ GPU = Graphic Processing Unit, sunt microprocesoare specializate în executarea anumitor sarcini, așa încât utilizarea lor crește performanța dispozitivului pe care sunt montate (La fel și acceleratoarele de inteligență artificială).

²⁷ Departamentul American pentru Comerț a întocmit liste de produse sau tehnologii „emergente” sau „fundamentale” care pot căpăta utilizare militară și necesită licență de export – CCL/Controlled Commodity List (Capri, 2020a).

²⁸ Urmare presiunilor diplomatice americane, TSMC a anunțat în mai 2020 investiții importante în SUA: 12 mld. USD în Phoenix, Arizona, într-o unitate pentru fabricația chip-urilor de 5 nm, 20 000 plăcuțe pe lună (finalizare 2024); 23-25 mld. USD extensie cu fabrică pentru chip-uri de 3 nm (în următorii 10-15 ani) și încă 20 mld. USD într-o fabrică de chip-uri de 2 nm. Totodată Samsung a angajat investiția a 17 mld. USD într-o fabrică de chip-uri în Austin, Texas, operațională din 2023 (Capri, 2021).

- ✓ eliminând din uz echipamente produse în China considerate nesigure (computere aflate în uzul guvernului și agențiilor publice americane) și unele importuri de echipamente considerate a prezenta riscuri strategice (rețele de telecomunicație 5G de la Huawei) și covingând și alte guverne să procedeze similar (de ex. UK, dezafectează rețelele Huawei în următorii 7 ani, iar alte țări nu le mai cumpără),
- ✓ stabilind alianțe cu alte țări în vederea contracarării ascensiunii firmelor chineze.

Totodată, firmelor și cetățenilor americani li se poate interzice sau limita libertatea de a face afaceri cu entități/parteneri restricționați sau care au primit statutul de *desemnați special* (prezenți pe *US Specially Designated National List*). În mai 2019, Huawei a fost desemnată entitate special restricționată, ceea ce înseamnă că orice cerere de licență de export spre această firmă este din start prezumată ca respinsă, interzicându-se astfel efectiv vânzarea de tehnologie americană, atât către Huawei, cât și către cele 68 de filiale neamericane ale acesteia. Efectele acestei desemnări sunt ample, întrucât Huawei cumpărase în anul precedent piese și componente în valoare de 70 de miliarde USD, de la peste 13.000 de furnizori globali și microcipuri de aproximativ 11 miliarde USD de la firme americane de tehnologie. Sub noul statut, firmele americane nu mai pot vinde companiei Huawei, iar aceasta trebuie să găsească înlocuitori pentru toate inputurile americane din telefoanele sale, care anterior includeau chip-uri de radio frecvență, chip-uri de memorie DRAM și NAND, software pentru proiectarea de chip-uri și sistemul de operare Android, de la Google. Prohibiția poate ajunge și la utilizatorii finali individuali, la instituții financiare care ar dori să proceseze tranzacțiile unui cumpărător sau furnizor restricționat, la instituții academice sau din cercetare, care pot fi oprite de la utilizarea tehnologiei provenite de la o entitate restricționată, în cadrul cercetării lor (Capri, 2020a).

Administrația Trump a adăugat în 2020 încă 108 companii chineze pe lista de firme restricționate a BIS²⁹, un număr dublu față de cel din 2019 și de zece ori mai mare decât cel din 2018. Multe firme chineze și-au construit ofertele bazându-se pe tehnologiile și semiconductorii americani, inclusiv cele mai semnificative: SMIC cel mai important producător chinez de profil, HikVision (specializat în tehnologie de supraveghere și recunoaștere facială), SenseTime (AI), DJI (drone comerciale), Dahua (supraveghere, CCTV), Alibaba (comerț electronic, fintech) etc. Toate acestea și multe altele se regăsesc pe *Lista americană a entităților restricționate* (Capri, 2021).

În august 2020 a fost închisă o ultimă porțiță din legislația SUA care permitea scurgerea tehnologiei americane către China: *regula produsului străin direct*³⁰. Până la schimbarea ei, această regulă admitea ca bunurile finite care aveau un conținut minim, sub un anumit prag (“*de minimis*”) în inputuri americane cu utilizări potențial duale, să poată fi exportate fără licență de export, ceea ce lăsa furnizorilor un spațiu de manevră în cadrul LGV pentru reducerea conținutului în tehnologie americană prin mutarea unor faze ale fabricației în afara SUA. Noile reguli sunt astfel concepute încât să pună capăt acestor practici: în conformitate cu acestea, orice soft sau tehnologie americană, indiferent de valoare, care este folosit(ă) pentru realizarea unui microchip oriunde în lume și de către orice producător, face din produsul finit respectiv un produs american și, ca atare, orice companie aflată pe o listă de entități restricționate nu va putea avea acces la produsul respectiv. Această

²⁹ BIS = Bureau of Industry and Security.

³⁰ *foreign direct product rule* (engl.).

reglementare a vizat împiedicarea companiei Huawei de a mai avea acces la TSMC, principalul său subcontractor pentru realizarea de chip-uri.³¹ În noile condiții, în lipsa unor microcipuri esențiale, Huawei nu mai poate avansa construcția rețelelor sale 5G. În consecință, între mai și septembrie 2020, în perioada de grație anterioară intrării în vigoare a noilor reglementări, Huawei a forțat TSMC să producă și să-i livreze un plus de 2 milioane de microchip-uri de 7 nm, vitale pentru stațiile sale 5G. Din septembrie 2020 Huawei nu a mai putut folosi chip-ul său performant Kirin 9000, proiectat de inginerii săi, dar posibil de produs doar la TSMC. Totodată Huawei a încetinit și ritmul construcției stațiilor de bază din rețelele sale 5G (Au & Wilhelm, 2020).

Prin toate acestea, ***amendarea regulii produsului străin direct a relevat cât este de critică tehnologia americană pentru întregul lanț de producție al semiconductorilor și pentru toate companiile chineze de înaltă tehnologie, oricât de puternice ar părea acestea*** (Capri, 2021).

În 2021, președintele Biden a continuat demersul spre decuplarea celor două economii, semnând un ordin executiv ce mandata realizarea unor lanțuri de aprovizionare *fără China* pentru industriile strategice, pe lista cărora semiconductorii ocupă locul fruntaș. Administrația Biden folosește în continuare sancțiunile, controlul exporturilor, blocajul investițiilor și achizițiilor în chineze în sectoarele strategice americane (și nu numai³²) și continuă politica de încurajare a companiilor americane să readucă în țară activitățile externalizate peste mări în perioada de avânt al globalizării. În același timp administrația americană actuală adoptă măsuri de politică industrială selectivă pentru sprijinul financiar al cercetării specifice și al producției de semiconductori³³.

Toate aceste politici americane, dar și cele europene sau nipone, precum și replicile lor chineze, nu mai puțin tehn-naționaliste, constituie dovada primatului geopoliticii în fața pieței libere, raționalității și eficienței economice și dau imaginea rolului important pe care îl va juca tehn-naționalismul în modelarea lumii viitorului.

Atât Washington-ul, cât și Beijing-ul văd tot mai mult tehnologia ca pe o armă geopolitică, dar interdependența dintre firmele celor două țări va face ca demersurile lor către decuplare, redesignare a lanțurilor de aprovizionare și autosuficiență să prezinte riscuri extrem de mari de a afecta puternic companiile ambelor țări.

3.3 Taiwan, mica insulă de care depind cele mai mari economii ale lumii

Taiwan-ul este cel mai mare producător de semiconductori al lumii și singurul care a avansat spre producția celor mai sofisticate microchip-uri de 7 nm, 5 nm și chiar de 3 nm. Alături de Coreea de Sud, controlează 81% din producția mondială, în primul rând prin unitățile de înaltă performanță (*fabs/wafer foundries*) ale TSMC și, respectiv, Samsung³⁴. Atât China, cât și SUA – și de fapt tot

³¹ Huawei a reușit prin filiala sa HiSilicon proiectarea unui chip performant (kirin 9000) esențial pentru rețelele sale 5G, pe care nu îl poate și produce, externalizând producția la TSMC (modelul fabless/fab).

³² În ultimii doi ani SUA au reușit să împiedice, de pildă, preluarea companiei olandeze ASML (care produce cele mai avansate mașini de litografiere a chip-urilor, fiind unica în lume), de către SMIC, finanțată de statul chinez (Au & Wilhelm, 2020).

³³ În iunie 2021, Senatul SUA a votat prin *Innovation and Competition Act* alocarea a 250 miliarde USD pentru investiții în cercetare, cu focus pe inteligența artificială și semiconductori. 52 miliarde USD sunt direcționați către cercetarea în sfera semiconductorilor și programe de stimulare a producției acestora în SUA deja aprobate (Pan, 2021; Albulescu, 2021).

³⁴ TSMC și Samsung realizează peste 70% din producția lumii de semiconductori (Karpal, 2021).

globul – depind de aceste două importante țări și companii și fiecare dintre cele două mari puteri economice, SUA și China, vrea să atragă Taiwan-ul în mod decisiv de partea sa.

Pe de altă parte Taiwan-ul, ca partener comercial al celor două, este interesat să-și păstreze cele două mari piețe. Uriașa piață chineză, cu cererea ei de semiconductori în continuă expansiune, este foarte atractivă și importantă, dar, pe de altă parte, veniturile anuale cele mai mari (60% din total), tehnologia, echipamentele, softurile sunt americane într-o proporție copleșitoare, iar dependența Taiwan-ului de Statele Unite este probabil chiar mai mare decât cea a SUA față de Taiwan. În plus, noile reglementări și măsuri administrative ale SUA în raport cu China fac extrem de dificilă, dacă nu chiar imposibilă, păstrarea livrărilor de semiconductori spre aceasta. Iar dacă intervine și geopolitica, așa cum de altfel chiar se și întâmplă, în timp ce China alege să amenințe cu ocupația și să intimideze militar Taiwan-ul, pe care îl consideră teritoriu chinez, SUA îi garantează protecție micului teritoriu democrat. Ca atare, alegerea pare să fi fost deja făcută: Taiwan-ul își retrage unități de producție din China și angajează construcția unora, pe baza celor mai noi tehnologii și procese, în SUA. Totodată, specialiștii taiwanezi din China se întorc în număr mare acasă (Lam et al., 2020). China însă, dacă ar prelua Taiwan-ul, ar putea câștiga dintr-un foc ceea ce nu a reușit singură timp de câteva decenii și nu va reuși încă cel puțin un deceniu de acum încolo: supremația tehnologică în producția de semiconductori și dominația restului lumii în privința noilor tehnologii, inclusiv plasarea SUA, care nu mai au suficiente capacități de producție proprii, într-o poziție extrem de incomodă. Tensiunile sânt tot mai mari, miza este uriașă pentru ambele mari puteri, iar confruntarea lor în această materie sensibilă rămâne extrem de periculoasă pentru întreaga omenire.

3.4 Unde este China astăzi în industria semiconducturilor ?

Provocări, acțiuni ambițioase, riscuri

Proiectarea și producția semiconducturilor este larg recunoscută a fi o afacere extrem de complexă, care solicită decenii de construcție a expertizei umane, a calității și preciziei extreme a absolut tuturor etapelor și pașilor parcurși de la proiectarea, aprovizionarea, execuția, testarea și până la distribuția produsului finit către utilizatori. Este suficientă o ușoară eroare pentru ca miliarde de dolari investiți în această industrie extrem de costisitoare să se irosească în vânt (Soo & Jing, 2019). Iar China a avut din plin astfel de experiențe, pentru că a înțeles greși, decenii la rând că acest domeniu este diferit de celelate: nu e suficient să ai echipamentele pentru ca imediat să poți produce la nivelul celor cu experiență îndelungată, nu se poate face inginerie inversată, nu sunt suficienți unul sau chiar mai mulți producători subvenționați masiv care fac eforturi individuale, ci este necesar un întreg ecosistem de firme diferite, care îndeplinindu-și fiecare impecabil atribuțiile, ajung să funcționeze perfect cordonat, la același nivel de acuratețe și performanță, perfect coerent, aproape ca un organism viu, tânăr și sănătos. Un asemenea ecosistem se construiește greu, cere timp și necesită nu numai foarte mult capital, ci mai ales foarte mult know-how, personal talentat și foarte experimentat. În plus, în această industrie uzura morală se produce extrem de rapid: dominată de legea lui Moore, ea se reinnoiește substanțial la fiecare doi ani, este mereu mai sus ca nivel de miniaturizare, complexitate, sofisticare, diversificare și performanță, ceea ce face și mai dificil efortul de prindere din urmă și, cu atât mai mult, de depășire a acestei ținte mișcătoare.

Încă din anii 1960-1970 China a intuit importanța semiconductorilor, dar neavând o industrie electronică, le înțelegea inexact rolul, ca fiind vital doar pentru industria de apărare, nu și pentru aplicații civile (Soo & Jing, 2019). Ulterior, mai ales odată devenită *atelier al lumii*, strategii chinezi le-au deslușit mai clar importanța, iar în ultimele decenii au plasat această industrie tot mai sus pe lista priorităților naționale de dezvoltare.

În ultimii câțiva ani marcați de războiul comercial și tehnologic cu SUA, gradul de vulnerabilitate extrem de ridicat generat pentru China de insuficienta dezvoltare a acestei industrii a devenit atât de vizibil pentru toată lumea și atât de îngrijorător pentru liderii chinezi, încât decizia acestora de a face orice efort posibil pentru a îndrepta această mare eroare de orientare strategică a devenit înzecit mai fermă, iar măsurile concrete adoptate mai energice și mai ambițioase.

În pofida zecilor de miliarde deja investite de stat în această industrie, cu puține rezultate demne de laudă, liderii chinezi măresc și mai mult miza, punând în joc sume și mai mari pentru susținerea ei, pentru ruperea dependenței față de SUA și de ceilalți lideri ai pieței, urmărind crearea la intern a unor lanțuri complete de aprovizionare și producție și asigurarea autosuficienței Chinei în materie de semiconductori, oricât de sofisticată. În acest scop se mobilizează resursele administrațiilor centrale și locale, ale băncilor, ale firmelor de stat și private, fondurile de investiții, capitalul de risc, bursele, institute de cercetare, mediul academic etc., într-un uriaș efort național (și tehn-naționalist) de soluționare a acestei mari vulnerabilități, ce amenință nu doar prezentul ci și ambițiile Chinei pentru viitor. Potrivit cecetării realizate de TechNode, numai în 2020 sumele dirijate spre firmele din industria chineză de semiconductori au totalizat echivalentul a circa 35,2 miliarde USD, marcând o impresionantă creștere de 407% față de anul precedent. În ultimii doi ani, această țară a crescut masiv investițiile în semiconductori, administrațiile centrale (prin Big Fund) și cele locale lansând sute de fonduri pentru susținerea industriei.

De asemenea, sectorul privat a participat cu elan la investițiile în acest domeniu: investițiile făcute de capitalul de risc în industria semiconductorilor au crescut de peste trei ori (cu 366%) în 2020 comparativ cu anul anterior, iar uriașa piață privată de capital a Chinei a fost valorificată prin deschiderea ei către investitorii individuali interesați să susțină firme high tech încă neprofitabile, astfel că în 2020 s-au listat la bursă 32 de companii din industria CI, față de numai 18 în 2019. De altfel, în 2019 și 2020 s-au listat la bursă mai multe firme din această industrie decât în întreg intervalul 2010-2018. Este important de remarcat aici faptul că nu orice companii neprofitabile au căpătat acces la finanțări prin bursă, ci numai companiile high tech din domeniile selectate de strategia Made in China 2025. O altă remarcă semnificativă și este aceea că, spre deosebire de fondurile de stat, care au fost dirijate preponderent spre producția propriu-zisă a microchip-urilor (*fabs/wafer foundries*), capitalul privat a preferat să se îndrepte mai degrabă către proiectare (*chip design*) (Sheng, 2021). Pe de altă parte, faptul că în numai primele cinci luni din 2021 sumele îndreptate către 164 de firme beneficiare totalizau deja echivalentul a 6,2 miliarde USD, ni se pare extrem de ilustrativ pentru nivelul de implicare al investitorilor de stat și privați în efortul de susținere a dezvoltării industriei autohtone a semiconductorilor (Borak, 2021).

Fluviul de bani ce se scurge generos către industria chineză a semiconductorilor a stimulat intrarea pe piață a tot mai multor jucători. În primele cinci luni din 2021, din ianuarie până în mai, numărul de noi companii care s-au înregistrat într-o diversitate de activități ce au legătură cu această

industrie a crescut de peste trei ori comparativ cu perioada echivalentă din 2019, atingând impresionantul total de 15700 (Ye, 2021). În doar cinci luni. Riscul eşecului multora dintre acestea și al unei uriașe risipe de fonduri este extrem de ridicat și la fel riscul creșterii datoriilor pe o piață internă deja grevată de supraîndatorare. La fel și riscul supraproducției de chip-uri de joasă calitate, care ar putea invada și dezechilibra grav piața globală.

Ecosistemul firmelor chineze. Poziția pe piețele internă și externă

Având în vedere obiectivul major al atingerii autosuficienței, o primă imagine asupra nivelului de performanță a industriei chineze de microchip-uri o putem avea dintr-o prezentare comparativă a situației acesteia în raport cu celelalte industrii asiatice importante, surprinsă de figura de mai jos:

Figura 4: Situația relativă a punctelor forte în lanțurile de producție ale CI

	EDA&IP	Materiale	Echipamente	Fabless	Fab	ITP
China	scăzută	scăzută	scăzută	înaltă	medie	scăzută
SouthKorea	scăzută	scăzută	scăzută	scăzută	înaltă	scăzută
Japonia	scăzută	înaltă	înaltă	scăzută	scăzută	scăzută
Taiwan	scăzută	scăzută	scăzută	scăzută	înaltă	scăzută

Sursa: Autorul pe baza literaturii studiate.

Legenda: Performanță: scăzută  medie  înaltă 

Se constată că:

- ✓ în timp ce Coreea de Sud excelează în proiectare (fabless) și producție (fab) - verigile care aduc cele mai mari profituri -, dar și în integrarea verticală completă (IDM, Samsung, situație unică în lume), având un nivel bun și în producția autohtonă de echipamente,
- ✓ în timp ce Japonia excelează în sfera echipamentelor și a materialelor de înaltă calitate și puritate, care sunt scumpe și aducătoare de profituri ridicate,
- ✓ iar Taiwan-ul este cel mai important cluster mondial pentru fabricația de semiconductori, foarte performant în proiectare, în operațiuni de testare-ambalare, având un nivel bun în producția de echipamente și beneficiind, prin toate acestea, de avantaj competitiv, profituri înalte și o poziție strategică excelentă în industrie,
- ✓ China este singura dintre cele patru țări asiatice relevante pentru industria globală a semiconductoarelor care are doar un singur segment înalt performant în cadrul lanțului de fabricație (ITP), iar acesta este cel care adaugă cea mai puțină valoare și aduce cele mai mici încasări și profituri. Pe lângă acesta, China mai atinge doar un nivel mediu de performanță în proiectare, restul de verigi fiind caracterizate drept slab performante.

La un nivel ceva mai mare de detaliu, situația pe segmente ale lanțului de fabricație a semiconductoarelor de producție chineză se prezintă după cum urmează (Lee & Kleinhans, 2021):

- A) EDA & IP.** Fără softuri înalt specializate pentru proiectarea fabricației de semiconductori (EDA/Electronic Design Automation), dezvoltarea de microcip-uri ar fi aproape imposibilă, iar în lipsa achiziției de la terți a unor drepturi de proprietate intelectuală (IP) necesare proiectării, durata și costurile acesteia ar crește nepermis de mult, determinând o risipă de

timp și bani pentru a crea ceva gata creat și riscând alunecarea în ineficiență a întregului sistem. Asemenea celorlalte state asiatice de comparație, China nu excelează deloc în aceste domenii, depinzând de firmele străine care domină piața.

În cazul serviciilor EDA, a căror piață este extrem de concentrată, este vorba de firmele americane (i) *Synopsis*, (ii) *Cadence* și (iii) *Mentor*, care dețin 90% din piața chineză de profil, lăsând diferența de 10% firmelor locale. Spre deosebire de piața EDA, piața IP este foarte competitivă și dinamică, dar aici mulți dintre furnizorii de pe piața Chinei sunt firme americane sau europene: (i) *ARM* (UK); (ii) *Synopsis* (US); (iii) *Cadence* (US); (iv) *Imagination Tech* (UK); (v) *Ceva* (US); (vi) *Silicon Storage Tech* (US) și, în fine, și o firmă chineză, *VeriSilicon*, pe locul (vii).

Barierile la intrarea pe piața EDA sunt de nivel mediu, dar planificatorii chinezi au omis să finanțeze suficient domeniul (doar 1% din Big Fund/1), încercările statului de a dezvolta companii au eșuat în mod repetat și, ca atare, domeniul este aproape inexistent în China. Există șanse mai bune pentru viitor, dată fiind decizia de decuplare de SUA și revizuirea strategiei de finanțare (Big Fund/2, fonduri pentru EDA de 20 de ori mai mari). Dacă firmele americane ce domină EDA ar fi eliminate de pe piața Chinei prin măsuri guvernamentale, firmele locale le-ar putea înlocui, dar, potrivit unei cercetări a MERICS,³⁵ chiar și în aceste condiții și beneficiind de finanțare din abundență, este improbabil ca firmele chineze să poată furniza soluții la nivelul mondial al “deschizătorilor de drumuri” (*cutting edge*).

Pe de altă parte, barierele la intrarea pe piața IP sunt relativ joase, dar aceasta este o piață foarte intensivă în abilități și talent uman, un ingredient deficitar în China, care devine el însuși o barieră la acces. În sfera IP singura firmă chineză mai semnificativă este *VeriSilicon*, dar potrivit analiștilor, toate firmele locale sunt mult rămase în urmă și au nevoie de ani de acumulări progresive pentru a putea deveni competitive. Poziția Chinei în materie de IP constituie o vulnerabilitate importantă, fiind ca atare de așteptat ca aceasta pe de o parte să insiste pe dezvoltarea unor furnizori interni, iar pe de altă parte să mai încerce să preia firme străine cu experiență consacrată în furnizarea de proprietate intelectuală.

B) Chip design (fabless). Proiectarea chip-urilor constituie prima etapă a procesului de producție în care, pe baza kit-ului primit de la producător (fab/foundry) și în strânsă cooperare cu acesta și cu furnizorii EDA și IP, designer-ul proiectează un anumit microchip. Procesul este foarte intensiv în abilități, talent și calificare înaltă și se bazează pe CDI costisitoare, dar aceasta este etapa cea mai mare creatoare de valoare adăugată (circa 50% din total) și cea mai profitabilă. Barierele la intrare sunt relativ joase, iar piața globală devine tot mai diversă pe acest segment datorită cererii în creștere pentru chip-uri destinate specific anumitor aplicații. China deține 15% din piața globală a proiectării, ocupând locul trei după SUA (64%) și Taiwan (18%). Succesul provine din valorificarea avantajului competitiv dat de economiile de scară în producția de chip-uri pentru industriile localizate masiv în China (ex. telefoane inteligente), dar numai câteva dintre firmele locale care și-au mărit cota de piață pot pretinde că s-au apropiat de frontiera tehnologică a acestei activități la nivel global: *HiSilicon* (chip-uri pentru

³⁵ Mercator Institute for China Studies, think tank german (vezi Lee & Kleinhaus, 2021).

rețelele Huawei 5G), *Goodix* (senzori de amprentă) și *OmniVision* (senzori de imagine). Numărul de firme chineze de chip design aproape s-a dublat între 2015 și 2020, depășind deja pragul de 1000 de unități (Craig, 2020), dar produsele acestora se situează în gama de medie și joasă performanță. Cea mai mare problemă a sectorului provine însă mai ales din faptul că chip-urile sunt proiectate la standardele din China, ceea ce poate afecta interesul de cumpărare pe piața globală.

Impactul măsurilor americane de control al exportului poate fi aproape letal, așa cum demonstrează experiența HiSilicon/Huawei, aparent avansate tehnologic, dar depinzând în realitate vital de inputurile americane (softuri, IP, know-how). După 2019, veniturile HiSilicon s-au prăbușit, iar personalul cel mai calificat a abandonat-o, iar Huawei și-a încetinit expansiunea rețelelor 5G și a stopat producția anumitor echipamente. Cu toate acestea, proiectarea este veriga din lanțul de fabricație în care China are cele mai bune șanse de a deveni competitivă în deceniul actual.

- C) **Fab / (Wafer) foundry / (Wafer) fabrication.** Fabricația propriu-zisă a microchip-urilor constă în transpunerea efectivă a proiectului lor pe plăcuțele-suport din siliciu, urmând peste 1000 de etape ale producției și utilizând în jur de 50 de echipamente și circa 400 de substanțe chimice și materiale diferite. Întregul proces se realizează în spații perfect curate, ce răspund celor mai stricte exigențe privind excluderea riscului de contaminare. O fabrică de semiconductori costă în jur de 20 miliarde USD, din care circa 80% este cota reprezentată de costul echipamentelor. Costul construcției și operării unei asemenea fabrici timp de 10 ani este, în funcție de tipul ei, cu circa 30% mai mare în SUA comparativ cu Singapore, Coreea de Sud sau Taiwan, și cu 37%-50% mai mare decât în China. Între 40% și 70% din acest diferențial de cost este direct atribuibil stimulentele guvernamentale chineze (Varas et al, 2020).

În ultimi 10 ani, numărul de tranzistori de pe plăcuțele de silicon s-a înzecit, iar pe măsură ce densificarea și miniaturizarea au avansat, au crescut extraordinar și costurile trecerii la chip-uri tot mai avansate, produse la din ce în ce mai puțini nanometri. Acest fapt a eliminat foarte multe firme de pe segmentul *cutting edge* al producției globale, mai exact de la 30, câte erau în anul 2001, la doar două în 2021: Samsung și TSMC sunt deocamdată cele două care pot produce chip-uri sub 10nm, respectiv de 7 nm și 5 nm, și eventual *Intel* care tehnic poate produce la 7 nm, dar amână trecerea, din cauza costurilor. Toate celelalte firme producătoare (fabs/foundries), inclusiv chineze, sunt în categoria *trailing edge*, care nu operează procesele de producție cele mai noi, fabricând doar chip-uri de peste 10 nm.

În China cel mai performant chip care poate fi produs în prezent în proporții de masă este cel de 14nm, iar SMIC este singura companie autohtonă care îl poate realiza. Totuși, 90% din veniturile SMIC nu sunt asigurate din vânzarea acestui chip, ci provin din vânzarea semiconducturilor de 40 nm și peste³⁶. A doua companie chineză mai semnificativă din industria chineză de semiconductori este *Huahong*, care încă nu poate produce sub 28 nm.

³⁶ Pentru comparație, TSMC obține 50% din veniturile sale din vânzarea chipurilor de 7 nm și 5 nm, iar în 2021 începe producția cipurilor la 3 nm (Lee & Kleinhans, 2021).

Accesul în producția și pe piața globală *cutting edge* este blocat de bariere însurmontabile, dar chiar și cel în producția și pe piața *trailing edge* este greu abordabil, date fiind costurile foarte mari implicate, dificultatea și complexitatea construirii unor rețele de furnizori diverși și foarte performanți și riscurile ridicate de eșec.

În 2020 se aflau în construcție încă 28 de fabrici de semiconductori, dar și cu acestea China nu va ajunge să reprezinte decât maximum 7-10% din producția globală în 2025 (față de 5% în prezent), iar riscul unei uriașe risipe este extrem de ridicat. Dezvoltarea bazată pe investiții nu este o strategie potrivită pentru acest domeniu, iar recenta prăbușire a proiectului de 18,5 miliarde USD al unei fabrici de semiconductori de 7 nm în Wuhan este doar unul dintre cele șase proiecte de zeci de miliarde de dolari care au eșuat numai în ultimii doi ani (Peilin, Guoping & Wei, 2021; Feng, 2021).

Conform MERICS (op.cit.) în lipsa unei inovații de excepție care să determine o schimbare tehnologică radicală la nivel global, fabricația propriu-zisă este un segment al lanțului de producție a semiconducturilor în care China nu are nicio șansă să ajungă să concureze pe picior de egalitate cu liderii pieței, în următorii zece ani. Ea nu va înregistra în acest interval niciun progres în cazul producției *cutting edge*, deși probabil își va majora cota în producția globală *trailing edge*.

D) Echipamente / SME / Semiconductor Manufacturing Equipment. Echipamentele industriale folosite în fabricația de semiconductori se încadrează în două categorii: *front end*, destinate fabricației propriu-zise, și *back end* destinate operațiunilor de asamblare-testare-ambalare (ATP), care sunt de cele mai multe ori externalizate. Fiind extrem de sofisticate, complexe și de înaltă precizie, cele 50 de echipamente diferite necesare pentru derularea celor aproximativ 1000 de etape ale fabricației propriu-zise nu pot fi furnizate de către un singur producător. Aceștia sunt specializați foarte îngust, pe tipuri de echipament, așa încât, pentru a procura toate echipamentele necesare unei fabricații complete “turnătoria” (fab/foundry) se bazează pe mai mulți furnizori parteneri. Producția extrem de specializată a acestor tipuri de echipamente este foarte concentrată, cu doar câțiva, uneori doar un singur producător al unui anumit tip de echipament, cum este de pildă cazul companiei olandeze ASML, singura în lume care poate produce cel mai avansat echipament pentru litografiere cu ultraviolete, operațiunea de maximă precizie și importanță prin care se gravează circuitul integrat pe plăcuța de silicon. La rândul lor, acești producători de echipamente se bazează pe lanțuri de aprovizionare foarte largi: de pildă ASML se aprovizionează de la peste 5000 de furnizori.

Barierile la intrarea pe piața *front-end* sunt dintre cele mai mari, dar pe piața *back end*, a echipamentelor considerabil mai simple necesare pentru ATP, barierele sunt mai joase și accesul mai facil.

Cei mai mari furnizori de SME la nivel global sunt, după venit, *Applied Materials*, *KLA* și *Lam Research* din SUA, *Tokio Electron* din Japonia și *ASML* din Europa/Olanda. Piața globală a SME a crescut de la 22 miliarde USD în 2003, la circa 69 miliarde USD în 2020, iar țările care au investit cel mai devreme și mai mult în majorarea capacităților lor de fabricație sunt și cele care constituie principalele piețe pentru vânzarea de echipamente: Coreea de Sud, Taiwan și China, care însumează împreună 73% din vânzările mondiale de SME.

China este puternic dependentă de importul de echipamente străine, 90% din necesarul de echipamente al industriei chineze de semiconductori fiind acoperit din import. La începutul anului 2021, producția chineză de SME satisfăcea pe ansamblu doar 8% din cererea internă de echipamente pentru industria microchip-urilor, iar cota pe piața internațională (în 2019) era de sub 2% pentru fiecare categorie de echipamente în parte, cu excepția celor pentru ATP. În Top10 producători chinezi de SME, cele mai mari venituri le obțin firmele *Naura* și *AMEC*, iar restul încasează anual sub 150 milioane USD.³⁷ În timp ce *AMEC* este singura care poate oferi echipamente pentru producția de chipuri de 14 nm, cele mai multe companii chineze oferă echipamente pentru 28 nm, dar cea mai mare parte din producția lor merge fie spre operațiuni ATP, fie în afara industriei semiconductoarelor, la fabricația de panouri solare sau display-uri.

În 2020, în urma unei creșteri anuale de 39% piața Chinei a devenit cea mai mare piață pentru SME. Achizițiile de la producători americani au scăzut însă cu 16%, pe fondul războiului tehnologic și comercial cu SUA. Chiar dacă producția internă de SME va crește, în special pe zona *back end*, unde perspectivele sunt mai bune, China nu va putea de-americaniza lanțul de fabricație a semiconductoarelor din industria sa pe zecile de categorii de echipamente în decursul actualului deceniu și de aceea acestea vor continua să constituie o vulnerabilitate însemnată pentru dezvoltarea industriei semiconductoarelor în China.

E) Plăcuțele de siliciu (Si). Procesul de producției a semiconductoarelor se bazează pe aprovizionarea constantă cu plăcuțe de siliciu de cea mai înaltă puritate și calitate, folosind echipamente concepute special pentru dimensiunea acestora (pentru diametre de 150 mm, 200 mm sau, cel mai frecvent astăzi, 300 mm). Pe lângă *plăcuțele de Si pur*, pentru anumite aplicații se produc și folosesc *plăcuțe compuse*, dopate cu infime cantități de galiu, arsenic sau carbon care le conferă calități diferite de cele ale plăcuțelor pure - rezistență la căldură, la voltaj ridicat, sau la frecvențe mari, după cum cere specificul aplicației pentru care sunt construite chip-urile.

Piața globală a plăcuțelor s-a menținut la vânzări de 11 miliarde USD anual în ultimii 3 ani, fiind concentrată la nivelul a doar câtorva actori: trei producători principali de bare de siliciu (ingots) – (i) *Waker* (Germania), (ii) *Hemlock* (SUA) și (iii) *Tocuyama* (Japonia) care domină 80% din piață – și patru producători de plăcuțe (wafers) care controlează 90% din piața respectivă: (i) *Shin Etsu* (Japonia), (ii) *Sumco* (Japonia), (iii) *Global Wafers* (Taiwan) și (iv) *SK Siltron* (Coreea de Sud). Barierele la intrarea pe aceste piețe sunt date de exigențele tehnice ridicate privind puritatea (99,99999999%) și planeitatea plăcuțelor, precum și de fidelitatea companiilor față de furnizorii lor tradiționali.

Capacitățile de producție a plăcuțelor de siliciu sunt relativ scăzute în China și la fel și calitatea acestora. Producătorii din această țară nu vor putea ajunge la nivelul de competitivitate al liderilor pieței globale în următorii 5-10 ani, continuând să producă plăcuțe de joasă calitate pentru piața internă.

³⁷ Pentru comparație, Applied Materials (SUA) a raportat venituri de 17,2 miliarde USD, în 2020.

F) Substanțe chimice și materiale. Numărul furnizorilor celor 400 de chimicale și materiale utilizate în fabricația de microchip-uri este foarte larg și divers, cei mai mulți provenind din Japonia, Statele Unite și Europa. Barierele la intrarea pe piață variază ca intensitate în funcție de substanțele în cauză, dar se leagă mai ales de nivelul de puritate necesar (ridicat în cazul celor pentru fabricația propriu-zisă, mai scăzut pentru ATP). Chimicalele lichide sau gazoase folosite în construirea chip-urilor pe plăcuțele de Si sunt importate de regulă de la firme mari precum *BASF, Du Pont, Air Liquide și Shin-Etsu*; pentru firmele mici barierele la intrarea pe aceste segmente sunt ridicate. Situația e diferită pentru fiecare tip de substanță în parte, dar pentru unele dintre ele piața poate fi foarte concentrată, ca de pildă pentru substanțele fotorezistente la ultraviolete folosite de echipamentele EUV³⁸ pentru gravarea tabletelor, în cazul cărora 90% din piață este controlată de doar trei firme nipone (*Tokio Ohka Kogyo, JSR și Shin-Etsu*).

În 2021 companiile chineze erau încă mult în urma concurenței, înregistrând doar sporadic mici succese în producția unor substanțe pentru procesele de producție mature, de peste 50nm. China ar putea avea un avantaj competitiv însemnat în privința materialelor pentru semiconductori ca urmare a înzestrării ei cu resurse naturale cu valoare strategică pentru industriile de înaltă tehnologie precum, spre exemplu, *pământurile rare* folosite în producția chip-urilor de memorie, logice și analogice: din cele 17 elemente din Tabelul lui Mendeleev care aparțin grupei pământurilor rare, China domină în cazul extracției a 9 și al prelucrării a 14. De asemenea, China controlează 80% din producția mondială de tungsten, 60% din consumul de fluorit, 85% din oferta mondială de cobalt etc., ca urmare a aplicării îndelungate a strategiei sale vizionare de a căpăta pe diferite căi acces de durată sau chiar proprietatea asupra rezervelor de resurse naturale din întreaga lume, în special a celor critice (Cropper, 2020; Vengust, 2021). Totuși, pentru următorii 5-10 ani se apreciază că este puțin probabil ca ea să poată valorifica situația dominantă pe care o are în beneficiul industriei interne a materialelor pentru semiconductori. Deși industria va avea susținerea statului, tehnic va putea produce mai degrabă substanțe de puritate mai scăzută și este foarte puțin probabil că în următorii zece ani va fi aptă să furnizeze materialele de înaltă performanță folosite în fazele *cutting edge* ale fabricației propriu-zise a semiconductoarelor.

G) ATP / Asamblare, testare, ambalare. Asemenea operațiunilor din *front end*, și cele din etapa *back end / ATP*, se bazează pe utilizarea unor echipamente, substanțe chimice și materiale speciale, doar că echipamentele sunt considerabil mai ieftine și mai simple de utilizat, procesele implicate nu sunt la fel de complexe, iar cerințele privind puritatea chimicalelor necesare sunt mai scăzute. Procesele care se desfășoară în această ultimă etapă sunt intensive în forță de muncă, nu adaugă multă valoare și profiturile sunt, în consecință, mult mai mici. În acest context, costul ridicat al forței de muncă în țările care derulează fazele fabricației propriu-zise a semiconductoarelor a determinat externalizarea operațiunilor ATP spre China sau alte țări unde aceste costuri sunt încă mai mici.

³⁸ EUV = Extreme Ultra Violet.

Piața globală a prestațiilor ATP se ridică la 43 miliarde USD în 2019. Cele mai mari 20 de companii specializate în aceste activități dețineau controlul a 92% din piață, care este puternic concentrată geografic spre Asia și, chiar mai mult, este concentrată mai ales în câteva țări, 9 din 10 firme de profil fiind localizate în China, Taiwan sau Singapore. Doar China și Taiwan dețin peste 60% din capacitatea globală ATP, pe când Statele Unite au numai 3% din aceasta. Liderii pieței globale sunt în ordinea descrescătoare a veniturilor (i) ASE (Taiwan), cu 26% din vânzări, (ii) Amcor (Coreea de Sud, Taiwan, China, Malaezia) și (iii) JCET (China). Firma chineză JCET și-a majorat semnificativ cota din vânzări la 19%, egalând performanța Amcor. Barierele la intrarea pe piață sunt relativ joase, capitalul necesar e considerabil mai mic, iar pentru a asigura performanța este importantă relația de colaborare cu restul firmelor din ecosistem, mai ales cu cele care asigură softurile (EDA) și licențele IP.

În ultimii ani, China și-a sporit remarcabil de rapid cota pe piața globală a prestațiilor ATP, de la 5% în 2012, la 20% în 2019, iar trei firme din Top 6 mondial sunt firmele chineze. Motorul ascensiunii rapide a Chinei l-a constituit achiziția de firme străine specializate și societățile mixte cu parteneri externi, ambele periclitare în contextul geopolitic internațional actual. Ele însă au asigurat deja aportul necesar pentru ca pe acest segment firmele autohtone chineze să fie competitive. Activitățile ATP vor rămâne sub controlul firmelor chineze doar dacă acestea vor păstra ritmul înnoirii și inovării domeniului, care tinde să devină mai puțin intensiv în forță de muncă, în favoarea unui aport mai ridicat de tehnologie și abilități înalte ale personalului. Este relevant în acest sens faptul că subsegmentul ambalării mai avansate, în condiții tehnice și de securitate stricte, rămâne dominat de firme non-chineze – TSMC (Taiwan) și Intel (SUA) – care fac investiții în automatizarea, modernizarea și extinderea capacităților lor în acest domeniu considerat vulnerabil la spionaj tehnologic și furturi de IP. Pe acest argument țările lor ar putea decide să recomande sau chiar să impună evitarea companiilor ATP chinezești, în paralel cu stimularea revenirii acasă a activităților externalizate în China cu ani în urmă.

4. Concluzii

Miza dezvoltării unei industrii puternice și performante a semiconductorilor în China este extrem de mare, atât pentru viitorul economiei proprii, cât și din perspectiva ambițiilor acestei țări de a ajunge să domine lumea și de aceea acest obiectiv de prioritate zero pentru liderii chinezi va fi urmărit cu tenacitate, indiferent care vor fi dificultățile, riscurile și risipa de resurse care vor însoți acest demers. Chiar dacă a pierdut startul dezvoltării acestei industrii în anii 1960-1970, chiar dacă a consumat ulterior timp de zeci de ani resurse uriașe cu rezultate mai mult decât modeste, fiind surclasată la mare distanță nu numai de către țările occidentale, ci și de unele vecine asiatice cu potențial mult mai mic decât al său, China nu va abandona acest obiectiv important și probabil că peste încă unul sau două decenii de eforturi va reuși măcar parțial să-și atingă ținta. Adică va intra, probabil, în elita producătorilor de semiconductori ai lumii, dar nu neapărat îi va domina, pe ei și întreaga lume, dintr-un motiv foarte simplu: toți aceștia aleargă și ei cât pot de repede în această cursă, dar ei au în plus un avans serios și baze temeinice ca să păstreze acest avans sau chiar să-l sporească

– experiență, know-how, educație tehnică, cercetare și inovare mai performante, alianțe care îi unesc în strădania de a împinge mai departe frontierele cunoașterii și ale reușitelor umane.

Succesele anterioare ale țării în alte industrii, sau ale altor țări vecine în această industrie, cu ani în urmă, nu sunt o garanție a succesului viitor al Chinei, (i) pentru că producția de calibrul înalt în această branșă este mult mai complexă și mai dificil de realizat decât în toate celelalte industrii, iar complexitatea și dificultatea tind să crească odată cu avansul tehnologic, (ii) pentru că între timp lumea s-a schimbat mult, globalizarea pierde teren, iar țările tind să se replieze mai mult spre interior, să facă schimb și să coopereze mai prudent, să fie mai atente la tentativele de preluare a propriilor companii sau inovații de către concurență, să își protejeze mai scrupulos proprietatea intelectuală și activitatea CDI, să scruteze foarte temeinic riscurile de securitate.

Dacă toate acestea se numesc protecționism, atunci protecționismul ia evident avânt, iar liberalismul pieței globale, care a susținut dezvoltarea fulminantă a Chinei și a altor țări emergente în ultimele decenii, e în retragere și nu va mai alimenta la fel de mult progresul acestora. Mediul internațional nu mai e și nu va mai fi la fel de benefic avansului națiunilor în dezvoltare, pe cât a fost. De asemenea, dacă toate schimbările din lumea noastră vorbesc de fapt în subsidiar despre pierderea încrederii reciproce dintre țări, atunci, în lipsa încrederii, progresul economic va fi infinit mai greu de construit peste tot, dar mai ales în țările care sunt sau doresc să intre în procese de prindere din urmă. Deja tonul din relațiile internaționale și în special tonul Chinei în dialogul cu celelalte state este mai dur, chiar agresiv și amenințător uneori, iar această recent apărută asprime din interacțiunile ei cu ceilalte state adaugă noi grade de dificultate în calea realizării scopurilor pe care și le-a stabilit în privința propriului avans tehnologic, inclusiv punctual, dar vital, în calea viitorului industriei sale de semiconductori și în obținerea poziției sale globale dominante, ca esență a visului chinez.

Referințe bibliografice

- Albulescu, G.T. (2021) – *Eveniment în Senatul SUA: republicanii și democreții au votat împreună un proiect de 250 miliarde de dolari care vizează China*, Iunie, 9, <https://www.romania.shafaqna.com/EN/AL/671091>;
- Atkinson, D. R. (2021) – *Industry by industry: more Chinese mercantilism, less global innovation*, ITIF (Information Technology & Innovation Foundation, May, <https://itif.org/publications/2021/05/10/industry-industry-more-chinese-mercantilism-less-global-innovation>;
- Au, L., Wilhelm, B. (2020) – *The battle over chips heats up in the escalating US-China tech war*, *World Politics Review*, August, 26, <https://www.worldpoliticsreview.com/trend-lines/29021/the-battle-over-chips-heats-up-in-the-escalating-us-china-tech-war>;
- Babones, S. (2020) – *China's drive to make semiconductor chips is failing*, *Foreign Policy*, December, 14, <https://foreignpolicy.com/2020/12/14/china-technology-sanctions-huawei-chips-semiconductors/>
- Bajpai, P. (2021) – *An overview of the top 5 semiconductor foundry companies*, Octombrie, 1, <https://www.nasdaq.com/articles/an-overview-of-the-top-5-semiconductor-foundry-companies-2021-10-01>;
- Borak, M. (2021) – *US-China tech war: China's investment binge on chip sector unabated as US commerce secretary urges lawmakers to approve funds for similar purpose*, *SCMP*, June, 29, <https://www.scmp.com/tech/policy/article/3139179/us-china-tech-war-chinas-investment-binge-chip-sector-unabated-us>;
- Hancock, T., Murphy, C., Liu, L.(2021) – *Xi mobilizes China for tech revolution to cut dependencies on West*, *Bloomberg News*, March, 5, <https://www.bloombergquint.com/global-economics/xi-mobilizes-china-for-tech-revolution-to-cut-dependence-on-west> ;
- Capri, A. (2021) – *Techno-nationalism via semiconductore: Can chip manufacturing return to America?*, *Hinrich Foundation*, June, <https://www.hinrichfoundation.com/research/wp/tech/technonationalism-via-semiconductors-chip-manufacturing-return-to-america/>;

- Capri, A. (2020) – *Semiconductors at the heart of the US-China tech war. How the new era of technonationalism is shaking up value chains*, Hinrich Foundation, Hanuary 2020, https://bschool.nus.edu.sg/cgio/wp-content/uploads/sites/7/2020/03/Hinrich-Foundation-NUS_Semiconductors-at-the-Heart-of-the-US-China-Tech-War.pdf;
- Capri, A. (2020a) – *Controls on semiconductor trade are a harbinger for „tehnnonationalism”*, Hinrich Foundation, June, 11, <https://www.hinrichfoundation.com/research/article/tech/semiconductor-techno-nationalism/>;
- Censtry (2020) – *SMIC officially listed on the Science and Technology Inovation Board*, July, 7, <https://www.censtry.com/article/10097.html>;
- Craig, J. (2020) – *China's semiconductor industry: 60% of the global semiconductor consumption*, October, 25, <https://daxueconsulting.com/chinas-semiconductor-industry/>;
- Cropper, T. (2020) – *China's race to control cobalt*, ByWire, June, 30, <https://bywire.news/articles/chinas-race-to-control-cobalt>;
- EqualOcean (2021) - *United Microelectronics Corporation: Investment opportunity still exist*, March, 3, <https://seekingalpha.com/article/4411023-united-microelectronics-corporation-investment-opportunity-still-exists>;
- Feng, E. (2021) – *A cautionary tale for China's ambitious chipmakers*, arch, 25, <https://www.npr.org/2021/03/25/980305760/a-cautionary-tale-for-chinas-ambitious-chipmakers#:~:text=Wuhan%20Hongxin%20Semiconductor%20Manufacturing%20Co.%27s%20unfinished%20chip%20fabrication,that%20help%20run%20nearly%20all%20our%20electronic%20devices>.
- Heddings, A. (2019) – *What do „7nm” and „10nm” mean for CPUs and why do they matter?* How-to Geek, 22.01.2019, <https://www.howtogeek.com/394267/what-do-7nm-and-10nm-mean-and-why-do-they-matter/>;
- Karpal, A. (2021) – *How Asia came to dominate chipmaking and what the US wants to do about it*, April, 11, <https://www.cnn.com/2021/04/12/us-semiconductor-policy-looks-to-cut-out-china-secure-supply-chain.html> ;
- Lam, T. et all (2020) – *Rise of the „Big 4”. The semiconductor industry in Asia-Pacific*, Deloitte, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/technology-media-telecommunications/cn-tmt-rise-of-the-big-4-en-082820.pdf>;
- Lee, J., Kleinhans, J.-P., (2021) – *Mapping China's semiconductor ecosystem in global context. Strategic dimensions and conclusions*, MERICS/Mercador Institute for China Studies & SNV/Stiftung Neue Verantwortung, June, <https://merics.org/en/report/mapping-chinas-semiconductor-ecosystem-global-context-strategic-dimensions-and-conclusions>;
- Macrotrends (2021) – *Nvidia, NXP Semiconductors 2020 semiconductors revenues*, <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/NVDA/nvidia/revenue>;
- Mills, M. (2020) – *Why doesn't Intel make 7nm CPUs like TSMC and AMD?* ITIGIC, 2.11.2020, <https://itigic.com/why-doesnt-intel-make-7nm-cpus-like-tsmc-and-amd/>;
- Pan, Che & Zhang, Jane (2020) – *What semiconductors are and why China needs to make them*, South China morning Post (SCMP), 29.10.2020, <https://www.scmp.com/tech/big-tech/article/3107371/why-semiconductors-are-important-and-how-they-became-flashpoint-us> ;
- Pan, Che (2021) – *Mainland China and Taiwan propel semiconductor investment frenzy as Singapore and Japan join the game*, SCMP, June, 26, <https://www.scmp.com/tech/tech-trends/article/3138802/mainland-china-and-taiwan-propel-semiconductor-investment-frenzy> ;
- Peilin, L., Guoping, L., Wei, H. (2021) – *Wuhan gives up on troubled \$18,5 billion chipmaking project*, February, 27, <https://www.caixinglobal.com/2021-02-27/wuhan-gives-up-on-troubled-185-billion-chipmaking-project-101667967.html>;
- Schroth, L. (2020) – *The drone manufacturer ranking 2020*, Drone Industry Insights, October, 6, <https://droneii.com/the-drone-manufacturer-ranking-2020> ;
- Schneider, (2021) – *China's chip industry: running faster but still falling behind*, Rhodium Group, April, 22, <https://rhg.com/research/china-chips/> ;
- Sheng, W. (2021) – *Where is China investing in semiconductors, in charts*, TechNode, March, 4, <https://technode.com/2021/03/04/where-china-is-investing-in-semiconductors-in-charts/> ;
- SIA (Semiconductor Industry Association) – *2020 State of the US semiconductor industry*, [2020-SIA-State-of-the-Industry-Report.pdf](https://www.sia-semi.org/2020-SIA-State-of-the-Industry-Report.pdf);
- Soo, Z. & Jing, M. (2019) – *How China is still paying the price for squandering its chance to build a home-grown semiconductor industry*, August, 28, <https://www.scmp.com/tech/big-tech/article/3024687/how-china-still-paying-price-squandering-its-chance-build-home-grown> ;
- Statista, (2021) – *Intel, Samsung, TSMC, SK Hynix, Micron Technology, Broadcom, Qualcomm, Texas Instruments: Semiconductor-makers revenues in 2020*, <https://www.statista.com/statistics> accesat oct.-nov.;
- Stratfor, (2019) – *As US-China tech war rages, electronic industry braces for impact*, Worldview, March, 29, <https://worldview.stratfor.com/article/us-china-tech-war-rages-electronics-industry-braces-impact>;
- To, Y. (2021) – *China chases semiconductor self-sufficiency*, East Asia Forum, February, 22, <https://www.eastasiaforum.org/2021/02/22/china-chases-semiconductor-self->

sufficiency/#:~:text=China%20chases%20semiconductor%20self-sufficiency%20Author%3A%20Yvette%20To%2C%20CityU,supply%20of%20chips%20containing%20US%20technology%20to%20China;

- Varas, B.A. et al (2020) – *Government incentives and US competitiveness in semiconductor manufacturing*, Boston Consulting Group / SIA, Septembrie, <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2020/09/Government-Incentives-and-US-Competitiveness-in-Semiconductor-Manufacturing-Sep-2020.pdf> ;
- Vengust, V. (2021) – *Rare earths elements and other critical materials: a geopolitical headache for the EU*, MERICS, April, 2021, <https://merics.org/en/short-analysis/rare-earths-elements-and-other-critical-raw-materials-geopolitical-headache-eu>;
- VerWei, J. (2019) – *Chinese semiconductor industrial policy: past and present*, Journal of International Commerce and Economics, United States International Trade Commission, July, https://www.usitc.gov/publications/332/journals/chinese_semiconductor_industrial_policy_past_and_present_jice_july_2019.pdf;
- Ye, J. (2021) – *New Chinese semiconductor firms have tripled in 2021 as Beijing and Washington jockey over technological supremacy*, SCMP, June, 9, <https://www.scmp.com/tech/tech-war/article/3136660/new-chinese-semiconductor-firms-have-tripled-2021-beijing-and>;
- Wayland, M. (2021) -*How Covid led to a \$60 billion chip shortage for the auto industry*, February, 11, <https://www.cnn.com/2021/02/11/how-covid-led-to-a-60-billion-global-chip-shortage-for-automakers.html>;
- Zhang, J. (2019) – *China need five to 10 years to catch up in semiconductors*, Peking University professor Zhou Zhiping says, September, 2, SCMP, <https://www.scmp.com/tech/tech-leaders-and-founders/article/3024315/china-needs-five-10-years-catch-semiconductors>;

Vă rugăm să citați acest articol astfel:

Pencea, S. (2022). O radiografie a nivelului excelenței tehnologice actuale a Chinei în industria semicondutorilor. *Revista de Economie Mondială*, Vol. 14 (No. 1), pp. 5-39.
