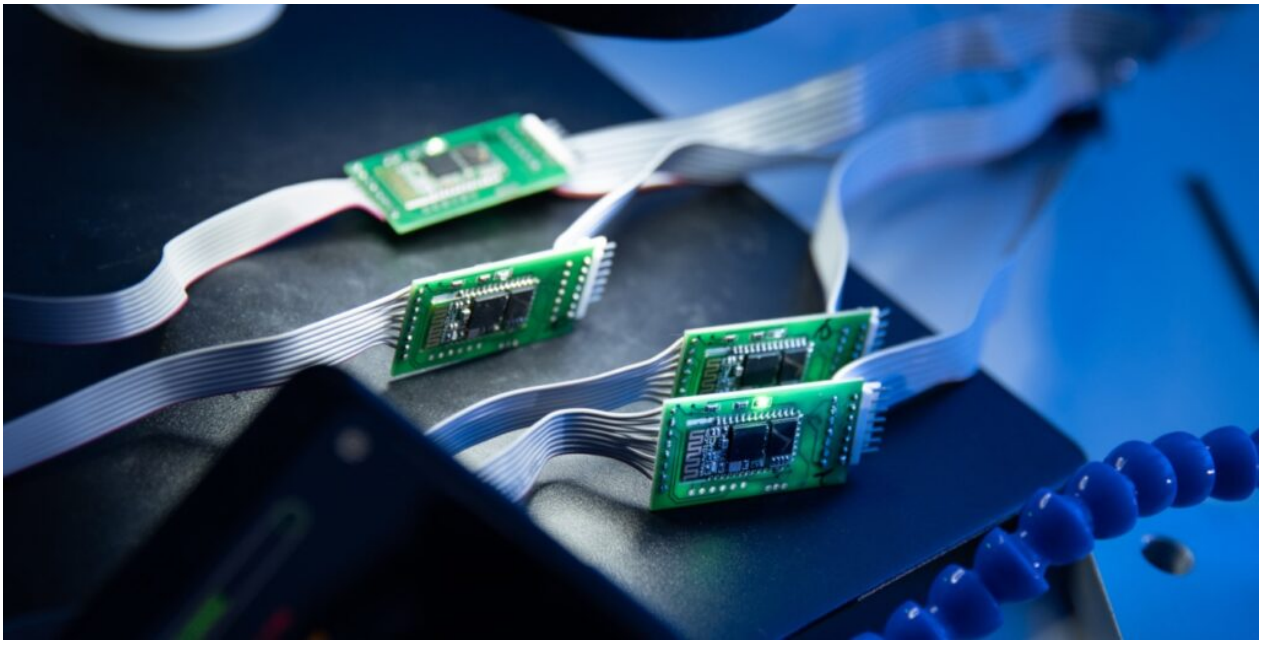
GLOBALNIE · ANALIZA

PÓŁPRZEWODNIKI RODEM Z CHIN. CZY ZACHÓD MA KŁOPOTY? CZ. 1

Ernest Dorsz · 30 czerwca 2023



Huawei, Xiaomi, Oppo – te marki już na dobre zagościły w wyborach konsumenckich Polaków, a chińskie produkty już dawno przestały się nam kojarzyć z tandetą. Rozwój Państwa Środka na przestrzeni ostatnich lat jest imponujący, a Pekin stawia coraz śmielsze kroki, goniąc kraje Zachodu, także w dziedzinie nowoczesnych technologii. Śmiałe poczynania Chin na tej arenie stały się niemożliwe do ignorowania przez Stany Zjednoczone, czego efektem jest nałożenie restrykcji na sektor półprzewodników. Czy obawy światowego hegemona są słuszne? Czy sankcje nie zostały nałożone za późno i czy kwestią czasu jest absolutna dominacja azjatyckiego smoka? Jak w rzeczywistości wygląda przemysł układów scalonych i możliwości technologiczne Chińskiej Republiki Ludowej?

Czy Zachód ma kłopoty?

Gdy z poniedziałkowego, popołudniowego otępienia wywołanego konsumpcją tajwańskiego ciastka o smaku zielonej herbaty wyrwał mnie redaktor naczelny Damian Adamus, pisząc na Twitterze: „Hej, nie chciałbyś napisać dla nas tekstu o chińskiej technologii półprzewodnikowej?", zrozumiałem dwie rzeczy – temat układów scalonych powoli zaczyna wkraczać do polskiej debaty publicznej, ja zaś po raz pierwszy nie będę pisał tekstu, który będzie opublikowany w niszowym czasopiśmie naukowym o wskaźniku cytowań na poziomie gazetki Lidla.

Wspomniany temat wchodzi po cichu, niejako bokiem, bo przez drzwi z napisem „geopolityka". Nie ma w tym nic złego. Wręcz przeciwnie. Dobitnie pokazuje to bowiem, jak ważne w dzisiejszym świecie są półprzewodniki/czipy/ układy scalone (niepotrzebne skreślić). „XIX wiek był wiekiem węgla, XX wiek był wiekiem ropy, a XXI wiek jest wiekiem danych". Czuje się trochę niezręcznie, po raz kolejny przytaczając ten tekst, zużyty jak klocki hamulcowe w przeciętnej warszawskiej taryfie, ale takie są fakty. Obecnie dzięki firmie OpenAI i czatowi GPT jesteśmy w trakcie fazy zachwycania się sztuczną inteligencją i modelami językowymi. Przedtem „w modzie" były tokeny NFT i kryptowaluty. Co łączy te rzeczy? Obliczenia. Coraz więcej istotnych dla nas rzeczy odbywa się w przestrzeni elektronicznej. Popyt na moc obliczeniową rośnie w zastraszającym tempie. Nie ma znaczenia, czy potrzebujemy znaleźć rozwiązanie krzywej eliptycznej, żeby handlować bitcoinami, czy mnożyć ogromne macierze, by trenować sieci neuronowe – nasz apetyt na moce obliczeniowe nieustannie rośnie. Ponadto, uwzględniając dopiero raczkujące koncepcje, takie jak Smart City (inteligentne miasto), Internet of Things (Internet rzeczy) czy Lab-on-a-Chip (laboratorium czipowe), możemy dostrzec, że nie tylko samo zapotrzebowanie na obliczenia będzie rosnąć, lecz także jego tempo. Wkraczamy w erę komputerowej inflacji.

OGLĄDAJ TAKŻE: Tajwan – najważniejsze miejsce na chipowej mapie świata? | Tomasz Smolarek, Damian Adamus

Do tej pory śniliśmy błogi sen, po cichu zakładając, że zawsze będziemy w stanie sprostać tym wymaganiom. Jeśli zabraknie nam procesorów, to po prostu pójdziemy do osiedlowego sklepu z procesorami i je dokupimy. Niestety ten sen właśnie się kończy, a pobudka nie należy do najprzyjemniejszych. Pandemia COVID-19, wojna w Ukrainie, napięcia między Stanami Zjednoczonymi a Chińską Republiką Ludową – wszystko uświadomiło nam, na jak kruchych podstawach zbudowana jest światowa gospodarka. A układy scalone, jak żaden inny produkt, skupiają jak w soczewce problemy związane z globalizacją. Dlaczego? Bo czipy najnowszej generacji to szczytowe osiągnięcie myśli technologicznej, owoc współpracy niezliczonych podmiotów w ramach zglobalizowanego łańcucha wartości. W każdym telefonie, w każdym komputerze znajdą Państwo miniaturowy cud technologiczny, dzięki któremu mogą Państwo przeczytać chociażby ten artykuł w wersji elektronicznej. Wykonanie pojedynczego tranzystora wymaga manipulacji materią w skalach nanometrowych. Jak łatwo się domyślić, zadanie to nie należy do najłatwiejszych. Właśnie z powodu swojej złożoności łańcuchy dostaw potrzebne do produkcji układów scalonych są bardzo skomplikowane i tak jak w przypadku misternie zbudowanej wieży Jenga, nieumiejętne wyciągnięcie jednego klocka może spowodować zburzenie całej konstrukcji. Dlatego też cały przemysł półprzewodnikowy z dużym niepokojem patrzy na widoczne na naszych oczach próby przerwania globalizacji przez Stany Zjednoczone.

Celem tego tekstu jest próba odpowiedzi na pytania:

- Jak daleko posunęły się Chiny w rozwoju swojej technologii produkcji układów scalonych?
- Dlaczego Stany Zjednoczone nałożyły restrykcje na Chiny?
- Kto stoi w tym starciu na przegranej pozycji? Świat Zachodu czy Państwo Środka?

Aby odpowiedzieć na te pytania, konieczny jest uprzedni opis produkcji układów scalonych. Proszę się nie martwić. Odbędzie się to w telegraficznym skrócie. Do produkcji czipów potrzebne są tylko cztery składniki:

- maszyny,

- oprogramowanie,
- fabryki,
- wykształcona siła robocza.

Analizie każdego z tych składników poświęcę kolejne fragmenty niniejszego tekstu.

Maszyny

Produkcja układu scalonego jest prawdopodobnie najbardziej skomplikowanym procesem, jaki wymyślili ludzie. Kto by przypuszczał, że technologiczna ścieżka, którą podąży ludzkość, zaczynając od budowy pieców do wypalania cegieł gdzieś w starożytnej Mezopotamii, zaprowadzi nas do czasów, kiedy możemy oglądać sobie filmiki z kotami na urządzeniu mieszczącym się w kieszeni spodni? Podobne piece używane są teraz na wielu etapach fabrykacji czipów. I tak jak kiedyś te piece uważane były za szczyt możliwości technologicznych ówczesnej cywilizacji, tak teraz o maszynach używanych w procesach czyszczenia wafli krzemowych, domieszkowania, trawienia, osadzania nanometrowych warstw oraz słynnej już fotolitografii, w której specjalizuje się europejski gigant – ASML – można powiedzieć dokładnie to samo. Poszczególne przedsiębiorstwa OEM (ang. Original Equipment Manufacturer) specjalizują się w budowie maszyn do konkretnych procesów, ale żeby wyprodukować czip najnowszej generacji, każdy proces musi to umożliwiać. Jeśli chociaż jeden będzie dużo gorszy od reszty, może stanowić to wąskie gardło w rozwoju technologii. Chociaż oczywiście są sztuczki pomagające sobie radzić z pewnymi niedociągnięciami, użycie ich wiąże się z kosztami. Widać więc, że kraj, który chce uniezależnić się od globalnych łańcuchów dostaw, ma przed sobą bardzo trudne zadanie. Jak wygląda to w przypadku ChRL?

- **Czyszczenie**

Czyszczenie wafli krzemowych stanowi około 30–40% wszystkich procesów w produkcji układów scalonych. Prym w tym sektorze wiodą trzy przedsiębiorstwa: AMAT (Applied Materials, USA), LAM (Lam Research Corporation, USA) oraz TEL (Tokyo Electron, Japonia). W przypadku Chin jest to ACM Research, założone w 1998 r., ściśle współpracujące z chińskimi producentami czipów takimi jak YMTC (Yangtze Memory Technology Corporation) czy SMIC (Semiconductor Manufacturing International Corporation). Pierwszym dużym graczem, który nawiązał współpracę z ACM, był koreański SK Hynix przy produkcji pamięci Flash [1]. Co ciekawe, jeszcze przed nałożeniem embarga Intel również prowadził rozmowy z ACM w sprawie zakupu ich maszyn. Choć obecnie produkty ACM odstają jakością od topowych producentów i nie da się za ich pomocą wykonać czipów w generacji 5 nm, branżowe analizy [2] pokazują, że produkcja w technologii 14 nm jest możliwa, a optymistyczne szacunki mówią, że chińska technologia czyszczenia wafli jest mniej więcej 5 lat do tyłu za technologią zachodnią.

- **Osadzanie warstw**

Tutaj sprawa jest odrobinę bardziej problematyczna, ponieważ techniki osadzania są bardzo różnorodne, a chińskie podmioty produkujące maszyny do depozycji cienkich warstw robią to głównie na rynek wewnętrzny, stąd wiedza o nich jest dość ograniczona. Głównym chińskim graczem jest przedsiębiorstwo Naura Technology. Jak w przypadku większości chińskich firm owiane jest ono mgłą tajemniczości. Na pewno wiadomo, że sukcesy Naury nie są okazałe. Nie dostarcza ona maszyn do żadnych zachodnich podmiotów (przynajmniej nic na ten temat nie wiadomo), a nawet ich obecność na rynku wewnętrznym jest mocno ograniczona. Najbardziej zaawansowane chińskie fabryki układów scalonych polegają

na zachodnich maszynach do osadzania, chociaż jest wysoce prawdopodobne, że te specjalizujące się w starszych technologiach korzystają z rozwiązań Naury. Potwierdzają to raporty donoszące, że ich maszyny umożliwiają już produkcję układów scalonych w technologii 28 nm, a obecnie trwa rozwój nad maszynami do technologii 14 nm. Ponieważ aparatura do osadzania warstw charakteryzuje się dużo większym stopniem skomplikowania niż ta do czyszczenia, eksperci [3] przewidują, że zapóźnienie technologiczne Chin wynosi około 9 lat.

- **Trawienie**

Trawienie jest zdecydowanie najsilniej dopracowanym elementem w chińskim łańcuchu dostaw. Tutaj dominuje firma AMEC (Advanced Micro-Fabrication Equipment), która nie odstaje od przedsiębiorstw z Zachodu. Pod koniec 2018 r. portal DigiTimes doniósł, że Chińczykom udało się stworzyć maszynę, która umożliwia trawienie przystosowane do technologii 5 nm [4]. Największa na świecie firma produkująca układy scalone – tajwańskie TSMC – zakupiła od AMEC maszyny do trawienia plazmowego i używa ich w swoich procesach 28, 10 oraz 7 nm. Chociaż ten rynek dalej zdominowany jest przez zachodnie podmioty, nie można powiedzieć, że produkty firmy AMEC są znacząco gorsze.

- **Implantacja**

Progres w procesie implantacji jonowej nie wygląda już tak optymistycznie. Tutaj eksperci przewidują, że ChRL jest opóźnione o około 10 lat. CETGC (China Electronics Technology Group Corporation) chwali się, że ich implantatory używane są w wewnętrznej, chińskiej linii produkcyjnej 28 nm [5].

- **Fotolitografia**

Najlepsze zostawiłem na koniec – fotolitografia. Jest to chyba najbardziej znany etap technologiczny w całym procesie wytwarzania układu scalonego, a jednocześnie słowo klucz, na którego dźwięk każdy domorosły analityk relacji
Stany Zjednoczone – Chiny zaczyna się pocić, nerwowo oblizywać wargi i wydawać z siebie dźwięki, które nawet większość pensjonariuszy z Tworek uznałaby za niepokojące. (Nie, nie mogłem powstrzymać się od tej uwagi. Niestety, poza paroma perełkami temat półprzewodników w polskiej infosferze to cały czas dno i kilometr mułu). Jego emocjonalna reakcja wywołana jest rozpoznaniem słowa „fotolitografia", które pewnie zauważył 2 tygodnie temu, kopiując artykuł z Reutersa. To chyba najbardziej medialny proces, głównie z powodu wspomnianej wcześniej holenderskiej firmy ASML, która dzięki technologii EUV (ang. Extreme Ultraviolet) jest absolutnym monopolistą na rynku tych maszyn. Żadne inne przedsiębiorstwo na świecie nie jest w stanie wyprodukować maszyn pozwalających na produkcję procesorów w technologii poniżej 7 nm. Tutaj należy podkreślić fakt, że ASML jest integratorem, bardzo mocno uzależnionym od swoich dostawców. Sprzęt do fotolitografii jest tak skomplikowany, że pojedyncza firma nie jest w stanie samodzielnie stworzyć takiej maszyny od zera. Holendrzy kupują soczewki i układy optyczne od niemieckiej firmy Carl Zeiss czy źródła promieniowania od amerykańskiego Cymer. Czy nasi znakomici analitycy mają rację, mówiąc, że ASML jest jedną z najważniejszych firm w sektorze półprzewodników? Czy maszyny EUV są absolutnie konieczne do wytworzenia procesorów najnowszej generacji? Czy fotolitografia jest najważniejszym procesem w produkcji układów scalonych? Tak, tak i jeszcze raz... nie. Na dwa pierwsze pytania odpowiedź oczywiście jest twierdząca, ale często ludzie łatwo dają się ponieść wrażeniu, że fotolitografia sama załatwia wszystkie problemy i właściwie kiedy Chinom uda się opanować technologię EUV, to już będą na tym samym poziomie co Zachód. Tak się jednak

składa, że fotolitografii używa się do definicji wzorów na powierzchni płytki krzemowej, ale dokładność tego odwzorowania **nie zależy** tylko od samej fotolitografii. Jest zależna między innymi od precyzji procesu trawienia, a jak już wiemy, Chiny opanowały go w imponującym stopniu. Prawdą jednak jest, że jeżeli Państwo Środka chce zrealizować swoje ambicje na polu mikroelektroniki, nie może pozwolić sobie na zaległości w dziedzinie fotolitografii. Jak więc to tam wygląda? Praktycznie wszystkie nadzieje ChRL na rozwój maszyn fotolitograficznych spoczywają na brakach jednej firmy – SMEE (Shanghai Micro Electronics Equipment). Przyjęła ona model bliźniaczy do ASML i postawiła na integrację rozwiązań. Źródła donoszą [6], że chińskim odpowiednikiem Zeissa jest Beijing Guowang Optical Technology (układy optyczne), a firmy Cymer – Beijing RSLaser. Niektóre źródła podawały, że SMEE pomyślnie zakończyła budowę naświetlarki umożliwiającej produkcję czipów w technologii 28 nm, chociaż podobno jest to tylko prototyp, a chińskie firmy mają historię problemów z przekształcaniem prototypów w komercyjne rozwiązania. Niemniej jest to informacja niepotwierdzona. Zacofanie technologiczne Chin w tym sektorze szacowane jest na 12 do 15 lat [7].

> Chiński przemysł OEM opiera się na solidnych fundamentach i raczej pewne jest, że produkcja układów scalonych w technologii 28 nm (ostatni węzeł technologii planarnej), nawet bez użycia importowanego sprzętu, jest możliwa. Nawet w scenariuszu, w którym informacja o naświetlarce SMEE okazuje się nieprawdą, Chińczycy mogą skorzystać z różnych sztuczek, żeby poradzić sobie ze słabymi systemami fotolitograficznymi.

W tym momencie chciałbym zaznaczyć, że wszystkie wartości liczbowe mówiące o luce technologicznej należy traktować z pewnym przymrużeniem oka. Podczas opracowywania procesu można użyć różnych trików, które pozwalają przykryć pewne niedociągnięcia. Oczywiście nic za darmo. Użycie ich wiąże się ze znacznie słabszym uzyskiem takiej potencjalnej linii technologicznej. Dużo lepszym kryterium, na które powinno się patrzeć, jest nie luka technologiczna w poszczególnych procesach, ale luka pomiędzy technologią chińską a zachodnią. Technologia 28 nm pojawiła się w produkcji na Zachodzie między rokiem 2010 a 2011. Obecnie Chiny, korzystające tylko ze swojej rodzimej technologii i nieopierające się na zachodnich rozwiązaniach, są jakieś 12 lat do tyłu, czyli tyle, ile wynosi ich zacofanie w najsłabiej opracowanym procesie technologicznym – fotolitografii. Stany Zjednoczone widzą zagrożenie w szybko nadganiającym chińskim przemyśle OEM, dlatego część nałożonych sankcji jest bezpośrednio skierowana na spowolnienie tego rozwoju. Wygląda jednak na to, że Ameryka pogodziła się już z faktem, że technologie do 28 nm staną się chińskim łupem i skupiła się na powstrzymywaniu Chin w rozwoju nowocześniejszej produkcji.

CZYTAJ TAKŻE: Europa – technologiczny skansen

Oprogramowanie

Najnowsze procesory Apple'a z serii M2 zawierają w zależności od wersji od 20 do 67 miliardów tranzystorów. Przy tym stopniu skomplikowania ręczne zaprojektowanie takiego systemu nie jest możliwe. Konieczne jest użycie specjalnego oprogramowania EDA (ang. Electronic Design Automation) do symulacji, weryfikacji, syntezy i łączenia poszczególnych bloków. Czasy, w których projekt wykonywany był na deskach kreślarskich, słusznie odeszły w zapomnienie zarówno dla architektów, jak i dla elektroników. Na

rynku EDA znajdują się trzej główni gracze, którzy posiadają w sumie 80% udziałów: Synopsys i Cadence (USA) oraz Siemens (Niemcy). Chińskim narodowym czempionem jest firma Empyrean Technology, silnie dotowana przez rząd (pytanie dla chętnych: czy Polska inwestuje w nowe technologie?), która dwa tygodnie temu ogłosiła, że ich software umożliwia pełną syntezę cyfrową układów scalonych od 7 nm oraz częściową syntezę analogową w technologii 5 nm [8]. Mimo że produkty Empyrean nie osiągnęły jeszcze jakości ich zachodnich odpowiedników, widać, że tempo nadganiania jest ogromne i Chiny na tym polu radzą sobie naprawdę dobrze. Nie jest też żadną tajemnicą, że kiedy w 2020 r. Stany Zjednoczone nałożyły na chińskiego giganta Huawei sankcje, uniemożliwiając mu korzystanie z zaawansowanego oprogramowania do projektowania układów scalonych, małe europejskie firmy natychmiast zwietrzyły okazję na zarobek i rzuciły się na rynek chiński, oferując swoje usługi.

Istnieje jeszcze jeden czynnik, który dodatkowo polepsza sytuację ChRL. Mowa tutaj o mikroarchitekturach. Jeszcze do niedawna dwoma najpopularniejszymi architekturami były x86 oraz ARM. Korzystanie właśnie z tych gotowych architektur bardzo przyspieszało proces projektowania, jak również ułatwiało późniejsze używanie go. Problem polegał jednak na konieczności kupna licencji. Licencja do mikroarchitektury należała do Intela oraz AMD, natomiast ARM – do brytyjskiej firmy ARM (niedawno kupiona przez Japończyków). Na szczęście dla Chin w 2010 r. na Uniwersytecie Berkeley powstał projekt darmowej, otwartej mikroarchitektury RISC-V, która od pewnego czasu cieszy się ogromnym zainteresowaniem. Korzystanie z niej nie wymaga licencji, stąd wiele chińskich przedsiębiorstw, takich jak Huawei czy HiSilicon, zajmujących się projektowaniem układów scalonych, zaczyna przesiadać się na ten model.

Mam nadzieję, że w tej części artykułu udało mi się Państwu zobrazować, jak wygląda chiński sektor OEM oraz próby uniezależnienia się Chińczyków od zachodniego oprogramowania. Czuję się również zobligowany poinformować Państwa, że w swojej analizie korzystałem tylko z zachodnich źródeł. Mój problem z chińskimi materiałami jest dwojaki: nie znam języka mandaryńskiego, ale nawet gdybym znał, to byłbym bardzo sceptycznie nastawiony do prawdziwości informacji podawanych w chińskich źródłach. Należy pamiętać, że Chińczycy bardzo dobrze opanowali sztukę wywierania wpływu przez różne komunikaty. Niektóre rzeczy są wyolbrzymiane, inne skrzętnie ukrywane. Informacje są bronią. Spokojnie można założyć, że nie wiemy wszystkiego, co dzieje się za Wielkim Murem. Ale tak samo spokojnie można powiedzieć, że jeśli chodzi o chińską technologię półprzewodnikową, przy wykorzystaniu wyłącznie krajowych maszyn, Państwo Środka jest jakieś 10 lat za krajami Zachodu. W następnej części artykułu postaram się opisać, jak Chińczycy radzą sobie z technologią krzemową, ale już przy wykorzystaniu zachodnich maszyn. A tam sytuacja różni się diametralnie.

fot: wikipedia.commons

[1] D. Patel, *ACM Research, China's Most Successful Semiconductor Capital Equipment Provider, Wins At SK Hynix and Intel* [online], 18.07.2022 https://www.semianalysis.com/p/acm-research-chinas-most-successful [dostęp: 21.06.2023].

[2] F. Wang, Y. Huang, *China Chips: Will China Dominate the World Semiconductor Market in 5 Years?* [online], 28.10.2021, https://equalocean.com/analysis/2021102816744 [dostęp: 21.06.2023].

[3] Tamże.

[4] DigiTimes Asia, *AMEC 5nm plasma etching tools verified by TSMC* [online], 21.12.2018, https://www.digitimes.com/news/a20181221PD207.html [dostęp: 21.06.2023].

[5] CGTN, *China boosts chipmaking self-sufficiency with homemade ion implanters* [online], 18.03.2021, https://news.cgtn.com/news/2021-03-17/China-developed-ion-implanter-boosts-global-chip-manufacturing-YI61RqDKGk/ind

ex.html [dostęp: 21.06.2023].

[6] I. Platonov, X. Zheng, *Deep Dive: SMEE and China's Attempt to Replace ASML Tools* [online], 23.06.2021, https://equalocean.com/analysis/2021062316392 [dostęp: 21.06.2023].

[7] F. Wang, Y. Huang, *China Chips...*,dz. cyt.

[8] DigiTimes Asia, *Chinese EDA champion Empyrean can now „fully support" 7nm; sees 1Q23 sales growth* [online], 22.05.2023, https://www.digitimes.com/news/a20230522VL203/7nm-china-eda-ic-design-distribution.html [dostęp: 21.06.2023].

Oryginał: https://nlad-kopia1113.instawp.site/polprzewodniki-rodem-z-chin-czy-zachod-ma-klopoty-cz-1/

DOBRA ANALIZA WYMAGA CZASU

Rzetelny tekst to dni pracy: źródła, dane, redakcja. Każda wpłata pozwala nam przygotować kolejny. Nawet niewielka kwota ma znaczenie.

WSPIERAM ANALIZY

wspieram.nlad.pl

Zeskanuj, aby wesprzeć