

Osvětlení budoucnosti: Vývoj ve výrobě fotonických mikročipů v ČLR

J jamestown.org/program/illuminating-the-future-developments-in-prc-photonic-microchip-production

Sunny Cheung

Shrnutí:

- V červnu byla spuštěna první pilotní výrobní linka na fotonické mikročipy v Čínské lidové republice (ČLR) v Chip Hub pro Integrated Photonics Xplore (CHIPX) univerzity v Šanghaji Jiao Tong, kde země zkoumá nové přístupy k návrhu čipů.
- ČLR vidí fotonické čipy jako potenciál pro podporu mnoha technologických řešení, které nabízejí vynikající rychlost, energetickou účinnost, škálovatelnost a větší šířku pásma, což připravuje cestu pro budoucí technologický pokrok.
- Xi Jinping, jak je uvedeno ve 14. pětiletém plánu ČLR a dalších národních strategiích, kladl důraz na fotoniku, což vedlo k významným investicím zaměřeným na snížení závislosti na zahraniční polovodičové technologii a dosažení celosvětového vedoucího postavení.
- Pokroky ČLR akademickými instituty a Huawei ve fotonické technologii mají za cíl revoluci v národě a armádě s čipy potenciálně 1000krát rychlejšími než jejich elektronické protějšky. Tento vývoj má významné důsledky pro národní bezpečnost a potenciálně přetváří americko-čínskou technologickou soutěž a politiku kontroly vývozu. Situace vyžaduje pečlivé sledování.

Na konci června zaznamenala Čínská lidová republika (ČLR) technologický milník spuštěním své první pilotní výrobní linky na fotonické mikročipy. Nové zařízení zřízené univerzitním čipovým centrem Shanghai Jiao Tong pro Integrated Photonics Xplore (CHIPX) má urychlit vývoj a aplikaci technologie fotoniky v ČLR (Xinhua , 11. června).

Pilotní výrobní linka, na které byla na začátku ledna instalována první várka zařízení, si klade za cíl „průlom v klíčových klíčových technologiích optoelektronických informací“. Primárním zaměřením této výrobní linky je rozvoj informačních technologií nové generace a jejich průmyslových aplikací. Mezi hlavní vyvíjené technologie patří kvantové počítače, fotonické procesory, trojrozměrné optické propojovací čipy a vysoce přesné femtosekundové laserové přímé zapisovací stroje (které se používají při výrobě čipů) ([Sina](#) , 17. června). Tato iniciativa je součástí širšího cíle využití fotonické technologie, která by se mohla ukázat jako důležitá pro prosazení technologické nezávislosti ČLR a podkopání současné snahy USA omezit rozvoj ČLR v oblasti čipů.

Fotonika: Revoluční čipy, kvantové výpočty, telekomunikace

Technologie fotoniky využívá fotony – světelné částice – k přenosu, zpracování a manipulaci s informacemi. Photonic computing, podobor fotoniky, zahrnuje návrh optoelektronických obvodů – čipů, které využívají fotony místo elektronů k dosažení vysokorychlostního a vysokokapacitního přenosu dat. Pokud se výroba těchto čipů může zvětšit, náklady klesnou a mohou být integrovány s elektronickými systémy, pak by fotonické čipy mohly být základem pro mnoho budoucího zpracování informací a komunikace, zvláště když se tradiční elektronické čipy přiblíží svým fyzickým a provozním limitům ([Synopsys](#) , poslední přístup 30. června).

Fotonické čipy nabízejí oproti elektronickým několik výhod. Stručně řečeno, mohou být rychlejší, menší, energeticky účinnější, škálovatelnější, zvládnou mnohem větší šířku pásma a mohou přenášet data spolehlivěji a s nižší latencí ([Nature](#) , 23. prosince 2015). Někteří odborníci navrhli, že fotonické čipy potenciálně nabízejí 1000násobné zlepšení výpočetní rychlosti ve srovnání se současnými čipy na bázi křemíku ([Sohu](#) , 13. dubna). To vše je činí vhodnými pro scénáře s vysokou šířkou pásma a nízkou latencí, jako jsou datová centra, telekomunikace, vysokofrekvenční obchodování a analýza dat v reálném čase. **[1]** V roce 2020 Nick Harris, generální

ředitel předního amerického fotonického startupu s názvem Lightmatter, tvrdil, že čipy jeho firmy mohou snížit spotřebu energie datových center AI o faktor 20 a zmenšit fyzickou stopu čipů o faktor pět ve srovnání se současnými technologiemi. Společnost také tvrdila, že její čipy předčí v té době přední čip Nvidie, A100, jak v energetické účinnosti, tak v propustnosti ([EE Times](#) , 24. srpna 2020; viz také [Semianalysis](#) , 22. srpna 2022).

Fotonika je stále rozvíjející se obor, ale technologie fotoniky jsou již integrovány se stávajícími technologiemi a také do nich již investují globální společnosti ([Nikkei Asia](#) , 29. ledna). Například Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) sestavil tým asi 200 výzkumníků zaměřených na ultra-vysokorychlostní křemíkové fotonické čipy a spolupracuje se společnostmi Broadcom a Nvidia, přičemž výroba by měla být zahájena koncem roku 2024. Vice President of System TSMC Integration Yu Zhenhua (余振華) tvrdil, že tyto čipy by mohly řešit kritické problémy energetické účinnosti a výpočetního výkonu v aplikacích AI, což by potenciálně zvýšilo výpočetní výkon pro velké jazykové modely (LLM) ([Baidu](#) , 17. září 2023). IBM, Google a Intel mezitím investují do fotonických kvantových počítačů.

Například fotonika na bázi křemíku integruje fotonické a elektronické součástky na jediném křemíkovém čipu pomocí vyzrálých polovodičových CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) procesů ([China Energy News](#) , 3. června). To umožňuje vývoj fotonických zařízení s vysokou hustotou, nízkými náklady a energetickou účinností ([163](#) , 29. února). Mikrovlnná fotonika mezitím používá optické komponenty ke zpracování a výpočtu analogových elektronických signálů s vyšší rychlostí a vyšší energetickou účinností než tradiční elektronické procesory a mohla by dramaticky zlepšit telekomunikační systémy, bezdrátové komunikační systémy, radarové systémy s vysokým rozlišením, AI, počítačové vidění a zpracování obrazu a videa ([Příroda](#) , 28. února).

Fotonika stále více hraje roli v kvantových počítačích. Některé kvantové počítače nyní používají fotony k reprezentaci kvantových bitů (aka qubits – základní jednotky kvantové informace). To nabízí podobné výhody rychlosti, škálovatelnosti a energetické účinnosti oproti zpracování kvantových informací na bázi elektronů, jaké lze vidět v jiných fotonických aplikacích ([Baijiahao](#) , 11. června). Fotonické kvantové počítače jako takové mohou pracovat při pokojové teplotě, na rozdíl od supravodivých qubitů, které vyžadují extrémně nízké teploty. Díky tomu jsou praktičtější a potenciálně dostupnější ([Zhihu](#) , 24. listopadu 2023). Jin Xianmin (金贤敏), zakladatel předního startu ČLR v oblasti kvantových počítačů TuringQ (图灵量子), tvrdil, že fotonické kvantové výpočty splňují základní kritéria pro vývoj univerzálních kvantových počítačů ([Wenwui](#) , 17. června; [TuringQ](#) , přístup 2. července).

Xi, PLA, Vláda se zaměřuje na fotoniku

Přinejmenším od roku 2015 začlenila ČLR do své národní strategie svůj závazek k pokroku v technologii fotoniky. Toho roku ministerstvo vědy a technologie (MOST) svolalo odborníky do Pekingu, aby vyhodnotili projekt „Technologie a systémové aplikace pro integraci fototónů (光子集成技术与系统应用)“. Projekt vedený Institutem polovodičů Čínské akademie věd zahrnoval významné instituce jako Zhejiang University, Peking University a Nanjing University. Dosáhla průlomu v navrhování, balení a testování fotonických vlnodů na bázi křemíku s vysokou hustotou – součástek, které směřují světelné signály s minimální ztrátou a umožňují vysokorychlostní a vysokokapacitní přenos dat ([MOST](#) , 20. října 2015).

Ve 14. pětiletém plánu část o posílení síly strategické technologie země zahrnuje fotoniku na seznamu technologií, pro které by měly být vybudovány národní laboratoře ([Státní rada](#) , 13. března 2021). MOST také zavedl projekt „Information Photonics Technology (信息光子技术)“, jehož cílem je podpořit výzkum a vývoj (R&D) v této oblasti ([SKL-PET](#) , 11. května 2021). National Natural Science

Foundation také financovala několik raných projektů fotoniky, zatímco MOST ji zahrnul do svých vlastních plánů výzkumu a vývoje ([NSFC](#) , 26. listopadu 2020; [OE Journal](#) , 30. listopadu 2023).

Xi Jinping osobně poskytl své imprimatur fotonickému průmyslu. Během inspekce přední fotonické společnosti v roce 2022 Si Ťin-pching poznamenal, že fotonicko-elektronický průmysl „je široce používaný strategický high-tech průmysl a je to také high-tech průmysl, ve kterém má naše země podmínky k dosažení průlomů. před ostatními." [2]

Oficiálně nařízené zaměření ČLR na fotoniku má čtyři aspekty. Za prvé, ČLR uznává, že tradiční integrované obvody dosahují svých fyzických limitů a že problémy s nimi spojené – jako je zvýšená produkce tepla, spotřeba energie a rušení signálu – jsou stále výraznější. Tím, že se ČLR brzy zaměří na fotonické čipy, doufá, že zúročí poskytnutím čipů nové generace ([China Energy News](#) , 3. června).

Zadruhé, ČLR pohlíží na fotoniku jako na prostředek k předskočení svých konkurentů v globálním závodě polovodičů, kterému historicky dominovaly západní země. Velkými investicemi do výzkumu a vývoje se země snaží překonat své nedostatky a snížit svou závislost na zahraniční polovodičové technologii. Sui Jun (隋军), prezident společnosti SinTone (中科鑫通), tvrdí, že výroba fotonických čipů umožňuje ČLR inovovat, aniž by se spoléhala na extrémní ultrafialovou (EUV) litografii, nejpokročilejší obráběcí stroj pro výrobu čipů, který ČLR nemůže vyrobit. a v současné době je jeho dovoz omezen ([ČínaAET](#) , 12. prosince 2022).

Za třetí, schopnost efektivně zpracovávat a analyzovat obrovské množství dat rychlostí je stále důležitější, protože množství dat exponenciálně roste ([MIT Technology Review China](#) , 23. listopadu 2020). Technologie fotoniky je proto považována za základ budoucích informačních technologií, protože může podporovat rozsáhlá datová centra, vysokorychlostní komunikační sítě a

pokročilé aplikace umělé inteligence – doufejme, že tyto všechny oživí ekonomický růst ČLR a posílí její technologické vedoucí postavení. .

A konečně, odborníci z Lidové osvobozené armády (PLA) také studují potenciální aplikace fotoniky, zejména v oblasti mikrovlnné fotoniky. Podle výzkumníků z Nanjingského institutu elektronických zařízení a Druhého vojenského zastupitelského úřadu oddělení vybavení vzdušných sil v Nanjingu je mikrovlnná fotonika považována za rušivou technologii, která dokáže vyřešit mnoho elektronických překážek, kterým v současnosti čelí mikrovlnná radarová zařízení. Uvědomují si, že mikrovlnná fotonická technologie má obrovský potenciál pro aplikace v radaru, satelitní komunikaci, širokopásmových bezdrátových přístupových sítích a integrovaných systémech kosmického vzduchu, což slibuje hluboký dopad na pokrok moderní informační technologie (Journal of Radars [雷达学报] , 2019). .

Průlomové objevy ve výzkumu ČLR

Výzkumníci z ČLR v posledních letech oznámili průlomové objevy, které často letěly pod radarem pozorovatelů na Západě. Jedním z pozoruhodných příkladů je vývoj čipu fotoniky Taiji (太极光芯片) na univerzitě Tsinghua, který údajně překonává současné chytré čipy o dva až tři řády (Baijiahao , 12. dubna). Tento čip je koncipován jako zvláště užitečný pro komplexní úkoly, jako je analýza rozsáhlých obrazů, podpora školení LLM a odvození a provozování autonomních inteligentních systémů s nízkou spotřebou. Jinými slovy, tuto technologii lze aplikovat na komplexní klasifikační úlohy a obsah generovaný AI.

Huawei dělá pokroky i ve fotonice. Společnost podala patent na „fotonický čip, způsob jeho přípravy a komunikační zařízení (光芯片及其制备方法、通信设备)“ například v roce 2021 (Baijiahao , 13. března). Na summitu Huawei Global Analyst Summit v roce 2021 Xu Wenwei (徐文伟), prezident Strategického výzkumného institutu

společnosti Huawei, předpověděl, že poptávka po výpočetním výkonu stonásobně vzroste do roku 2030, což povede k velkým investicím společnosti Huawei do výzkumu fotonických počítačů ([Youtube/Huawei](#) , 12. dubna 2021).

Další pokrok pochází od týmu profesora Wanga Chenga (王騁) na City University of Hong Kong, který také vyvinul to, co popisuje jako „světový přední mikrovlnný fotonický čip“. Tento čip využívá optické komponenty ke zpracování a výpočtu analogových elektronických signálů rychlostí 1000krát vyšší než tradiční elektronické procesory a zároveň spotřebuje méně energie a je určen pro použití v široké řadě aplikací ([CityU](#) , 29. února). Tým profesora Wanga překonal problémy s integrací fotoniky s elektronickými systémy vyvinutím čipu s ultrarychlými elektro-optickými konverzními moduly pomocí umělého krystalu známého jako Lithium Niobate.

Niobát lithný (LiNbO_3) je často označován jako „křemík fotoniky“ a stále více se používá ve fotonických aplikacích ([Springer](#) , 1. ledna 2012). Lithium niobate on insulator (LNOI) platformy, původně vyvinuté ve spolupráci mezi Harvardskou univerzitou, Nokia Bell Labs a výzkumníky z ČLR v roce 2018, vydláždily cestu pro vysoce výkonná fotonická zařízení ([Příroda](#) , 18. dubna 2018). Díky vlastnostem materiálu je pro tyto účely velmi vhodný a zařízení LNOI zaujala 99 procent trhu s vysokorychlostní modulací ([CHIPX](#) , poslední přístup 30. června; [IOPTEE](#) , poslední přístup 30. června). Výzvy však přetrvávají.

Odborníci z ČLR tvrdí, že fotonické materiály, jako je tenkovrstvý lithium niobát, postrádají standardizované techniky zpracování, což brzdí vývoj souvisejících zařízení a čipů. Fotonická zařízení jsou vysoce citlivá na teplotu a výrobní chyby, což vyžaduje vysoce přesné technologie detekce a oprav v reálném čase pro integraci ve velkém měřítku ([NSFC](#) , 17. ledna 2023). Zahraniční experti se mezitím zaměřili na klíčové překážky, jako jsou ztráty energie z

pasivních součástí, zpoždovací linky, přepínače a propojení čipů, které brání výkonu integrovaných fotonických obvodů (Nano Material Science , 11. dubna).

Aby bylo možné plně využít výhod fotoniky, jako je vysoká rychlost, velká šířka pásma a nízká spotřeba energie, je nezbytný vývoj ultranízkoztrátových komponent nové generace využívající technologii vícevidových vlnodů a materiálů, jako je křemík nebo nitrid křemíku (Nano Material Science , 11. dubna). . To zahrnuje překonání úzkých míst souvisejících s šířkou pásma, šumem, ztrátou, citlivostí a prodloužením provozních vlnových délek. Jednou z kritických součástí jsou integrované čipy transceiveru s vysokou hustotou pro optickou komunikaci, které jsou schopny zvýšit paralelní kanály a prolomit limity přenosové kapacity. Multiplexní křemíkový fotonický komunikační čip Intel s rychlostí 1,6 TB/s a 8 vlnovými délkami ilustruje tuto výzvu. Komponenty laseru a modulátoru zabírají většinu plochy čipu, což naznačuje, že současné velikosti a úrovně integrace jsou nedostatečné pro budoucí potřeby ultravysoké kapacity (Intel , 28. června 2022).

Závěr

Významné je zahájení výroby první výrobní linky fotonických čipů v ČLR. Je nastaven na podporu inovací v oblasti kvantových počítačů, fotonických procesorů a pokročilých komunikačních technologií. Strategické investice státu do fotoniky, jak je zdůrazněno ve 14. pětiletém plánu a dalších doporučeních na vysoké úrovni, pomáhají postavit ČLR do čela této kritické technologie a také jí pomáhají obejít americké technologické kontroly.

Zda dokáže ČLR převést své údajné průlomy ve výzkumu do škálovatelné výroby zařízení založených na této nové technologii, se teprve uvidí. V současné době není žádná země schopna využít tuto technologii pro hromadnou výrobu nad rámec ověření koncepce a omezených prototypů (Příroda , 8. května). Přesto se ČLR pokusila vést v tomto vznikajícím odvětví, stanovila cestu a shromáždila

potřebné zdroje. Potenciální zisky, které fotonika představuje pro řadu technologií s důsledky pro národní bezpečnost, vyžadují, aby byl budoucí vývoj pečlivě sledován.

Poznámky

[1] Gupta, Rajeev a kol. "Integrace mikroelektronických a fotonických obvodů na jediném křemíkovém čipu pro vysokorychlostní a nízkopříkonové optoelektronické technologie." *Nano Materials Science* , 2024. <https://doi.org/10.1016/j.nanoms.2024.04.011> .

[2] Gong, 2023.