



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Engineering

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/eng](http://www.elsevier.com/locate/eng)



News & Highlights

## 光子芯片——效率更高、能耗更低

Mitch Leslie

Senior Technology Writer

计算机早已是世界能耗巨头，且随着越来越多耗电量大的人工智能（AI）投入使用，计算机的能源需求也将飞涨[1]。在各方努力降低AI耗能和环境影响的进程中，美国马萨诸塞州波士顿的初创公司Lightmatter宣布，已经研究出一种用光进行运算的芯片，耗电量只有同等级电子芯片的六分之一（图1）[2]。其他公司也在为AI、自动驾驶汽车、量子计算等应用研发相似的光子芯片[3-4]。

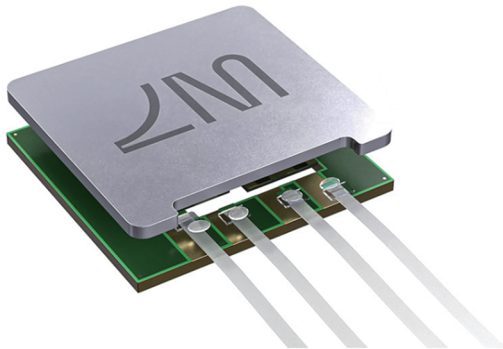


图1. 波士顿Lightmatter公司所开发的Enviser光子芯片将用于加速AI的深度学习。该公司称一组服务器若使用该芯片，其所消耗的电量将大幅降低，而其每秒执行的推理次数将是竞争对手开发的服务器的三倍以上。来源：Lightmatter（公共领域）。

最近几十年计算机能耗飞涨。研究人员估计，目前数据中心所耗能源占全世界能源的1% [5]。仅谷歌一家公司每年就耗费了12 TW·h以上的能源，比斯里兰卡整个国家耗费的能源还要多[6]。比特币以及其他种类加密货币的挖矿活动自2009年兴起，现在耗费的电量也越来越多[7]，最新官方估计比特币挖矿每年耗电量达121 TW·h [8]。AI也是耗电大户[9]，特别是其中的深度学习、面部识别等功能所必需的深度学习算法。训练这些算法时，需

要处理大量数据，也就相应地需要耗费大量电力，并可能产生巨量二氧化碳[9]。一项研究估计，深度学习算法训练所需能源相当于一辆汽车在其使用寿命内所耗尽的能源总量[2]。

各个公司也采取了多种方式抑制能耗并减少计算机计算对气候产生的影响。例如，数据中心能效得到了有效提升。2010—2018年数据中心能耗仅上升了6%，算力则提升了6倍[5]。但是使用光子而非电子的光基集成电路在降低能耗上表现更为出色。

这些电路能耗如此之低，归功于光的性质。当电子通过晶体管和其他传统集成电路元件时，会遇到阻力并产生热量。随着设计者不断将各种元件添加到芯片上，芯片产生的热量自然会升高。电子这一特性甚至成为了微型芯片性能提升的障碍[10]，同时也是计算机能耗如此之高的主要原因[11]。举个例子，数据中心40%的能耗都用于散热[12]。相较之下，一个光子芯片不存在电阻问题，因为由辐射产生的光子能快速通过波导、调制器、反射器等原件阵列。因此，光子芯片产生热量更少，能耗也更低。

光子芯片计算速度也更高。在光基设备中数据以光速移动，比普通电路中电子移动速度快10倍。美国马萨诸塞州剑桥市麻省理工学院的电子工程学和计算机工程学副教授Dirk Englund说道：“物理学使我们有了如此巨大的收获。”他还称，光子芯片能将处理速度提升6~7个数量级。

在电路上用光子代替电子这一设想由来已久。20世纪六七十年代，研究者就已经开始开发光子芯片了。那时候，部分专家预计光子芯片会像传统集成芯片一样迅速微型化[13]。至1990年，美国新泽西州茉莉山的贝尔实验室

就制作出了光子计算机的原型机。该原型机使用光进行计算[14]。但是光子芯片发展步伐从未追上电子芯片。Englund说，其中一个原因就是虽然工程师能将电子元件缩小，让一个芯片上集成数十亿元件，但是他们不知道怎样才能将光子元件也缩小到如此地步。“三十年前，人们还难以让光子元件足够紧凑。”

自此以后，光子设备制造方法也不断优化，使得光子元件也越来越小。例如，微型版的马赫-曾德尔干涉仪(Mach-Zehnder interferometer)是有希望制造出来的。马赫-曾德尔干涉仪是Lightmatter公司制造新型芯片的关键元件，其能分离光束，由此使设备执行矩阵乘法计算[15]。但是光子芯片上的元件数量仍远逊于电子芯片。加利福尼亚大学圣塔芭芭拉分校电子与计算机工程及材料学教授John Bowers称，当前光子芯片元件数量也只是一万出头。但是经过数十年的发展，光子集成电路已经集成了各种元件，其中就包括可以通过光纤通信的收发器。

现在，性能更强的光子芯片也陆续商业化或进入研发阶段。研究人员正在研发的光子集成电路能够处理激光探测及测距系统的数据，该系统用于自动驾驶汽车[3]。加拿大多伦多的一家公司Xanadu 2021年所公布的光子芯片可帮助研发量子计算机，与其竞争对手不同，应用此类芯片的计算机将无需极低低温工作环境[4]。

光子芯片将为AI带来突破式发展，不只因为其极高的运行速度和低能耗。Englund说，光子芯片可以轻松运算矩阵向量乘法，同时支持深度学习。而且，传统集成电路无法胜任的线性代数计算，对光子芯片来说也不在话下。

数家公司都在为AI开发光子芯片，其中就包括位于波士顿的Lightelligence公司[16]。然而，Lightmatter公司的Enviser芯片是最接近商业化的。公司称该芯片相比当前顶尖电子芯片快10倍，且能耗只有后者的15%。不过还没有第三方对这些数据进行核验[2]。Lightmatter公司计划将在一个刀片服务器中使用16个芯片，组成一个数据中心专用AI计算机，并在2021年下半年与消费者见面[2]。当然这种设备并非只采用光子芯片，它也包含电子芯片。Bowers认为：“Lightmatter公司的产品是一个巨大的进步。”

光子芯片同样可以帮助其他计算机领域实现能耗降低。比如，部分专家认为这类设备能够抑制加密货币挖矿的能源需求[17]。然而，这些光子芯片也有局限性。Englund说，首先，研发光基内存极为困难，只能采用传统电子芯片为Enviser提供内存[2]。此外，光子芯片是模拟计算，计算精度可能比不上电子芯片[15]。因此，Light-

matter公司所售刀片服务器的主要卖点是“加速器”，用于帮助受过训练的AI算法运行。

此外，AI研究人员称他们很高兴能马上拿到光子芯片进行测试。Englund说：“我们马上就能看到比较结果，见识到光基设备有多强大。”

## References

- [1] Knight W. AI can do great things—if it doesn't burn the planet [Internet]. San Francisco: Wired; 2020 Jan 21 [cited 2021 Jun 20]. Available from: <https://www.wired.com/story/ai-great-things-burn-planet/>.
- [2] Knight W. This chip for AI works using light, not electrons [Internet]. San Francisco: Wired; 2021 Mar 10 [cited 2021 Jun 20]. Available from: <https://www.wired.com/story/chip-ai-works-using-light-not-electrons>.
- [3] Harris N. Light is the key to long-range, fully autonomous EVs [Internet]. San Francisco: TechCrunch; 2021 May 25 [cited 2021 Jun 20]. Available from: <https://techcrunch.com/2021/05/24/light-is-the-key-to-long-range-fully-autonomous-evs/>.
- [4] Choi CQ. In the race to hundreds of qubits, photons may have “quantum advantage” [Internet]. New York City: IEEE Spectrum; 2021 Mar 5 [cited 2021 Jun 20]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/computing/hardware/race-to-hundreds-of-photon-qubits-xanadu-scalable-photon>.
- [5] Lohr S. Cloud computing is not the energy hog that had been feared [Internet]. New York City: New York Times; 2020 Feb 27 [cited 2021 Jun 20]. Available from: <https://www.nytimes.com/2020/02/27/technology/cloud-computing-energy-usage.html>.
- [6] Bruce R. How Google powers its “monopoly” with enough electricity for entire countries [Internet]. New York City: Forbes; 2020 Oct 21 [cited 2021 Jun 20]. Available from: <https://www.forbes.com/sites/robertbryce/2020/10/21/googles-dominance-is-fueled-by-zambia-size-amounts-of-electricity>.
- [7] Leslie M. Will cryptocurrencies break the energy bank? *Engineering* 2020;6(5): 489–90.
- [8] Criddle C. Bitcoin consumes “more energy than Argentina” [Internet]. London: BBC; 2021 Feb 10 [cited 2021 Jun 20]. Available from: <https://www.bbc.com/news/technology-56012952>.
- [9] Dickson B. AI cloud save the world if it doesn't ruin the environment first [Internet]. New York City: PC Mag; 2020 Apr 17 [cited 2021 Jun 20]. Available from: <https://www.pcmag.com/news/ai-could-save-the-world-if-it-doesnt-ruin-the-environment-first>.
- [10] Waldrop MM. The chips are down for Moore's law. *Nature* 2016;530(7589): 144–7.
- [11] Morrison J. A new system for cooling down computers could revolutionize the pace of innovation [Internet]. Washington, DC: Smithsonian; 2020 Sep 16 [cited 2021 Jun 20]. Available from: <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/researchers-craft-revolutionary-invention-cool-computers-180975807/>.
- [12] Meyer D. Microsoft hails success of its undersea data center experiment—and says it could have implications on dry land, too [Internet]. New York City: Fortune; 2020 Sep 15 [cited 2021 Jun 20]. Available from: <https://fortune.com/2020/09/15/microsoft-project-natick-undersea-datacenter-scotland/>.
- [13] Smit M, Williams K, van der Tol J. Past, present, and future of InP-based photonic integration. *APL Photon* 2019; 4(5): 050901.
- [14] Markoff J. Laser device could be key to faster computer [Internet]. New York City: New York Times; 1990 Jan 30 [cited 2021 Jun 20]. Available from: <https://www.nytimes.com/1990/01/30/business/laser-device-could-be-key-to-faster-computer.html>.
- [15] Schneider D. Deep learning at the speed of light [Internet]. New York City: IEEE Spectrum; 2021 Jan 8 [cited 2021 Jun 20]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/computing/software/deep-learning-at-the-speed-of-light>.
- [16] Knight W. Making AI algorithms crazy fast using chips powered by light [Internet]. Cambridge: MIT Technology Review; 2018 Nov 29 [cited 2021 Jun 20]. Available from: <https://www.technologyreview.com/2018/11/29/138899/making-ai-algorithms-crazy-fast-using-chips-powered-by-light/>.
- [17] Can photonic chips save Bitcoin? [Internet]. Cambridge: MIT Technology Review; 2019 Nov 21 [cited 2021 Jun 20]. Available from: <https://www.technologyreview.com/2019/11/21/131869/can-photonic-chips-save-bitcoin/>.