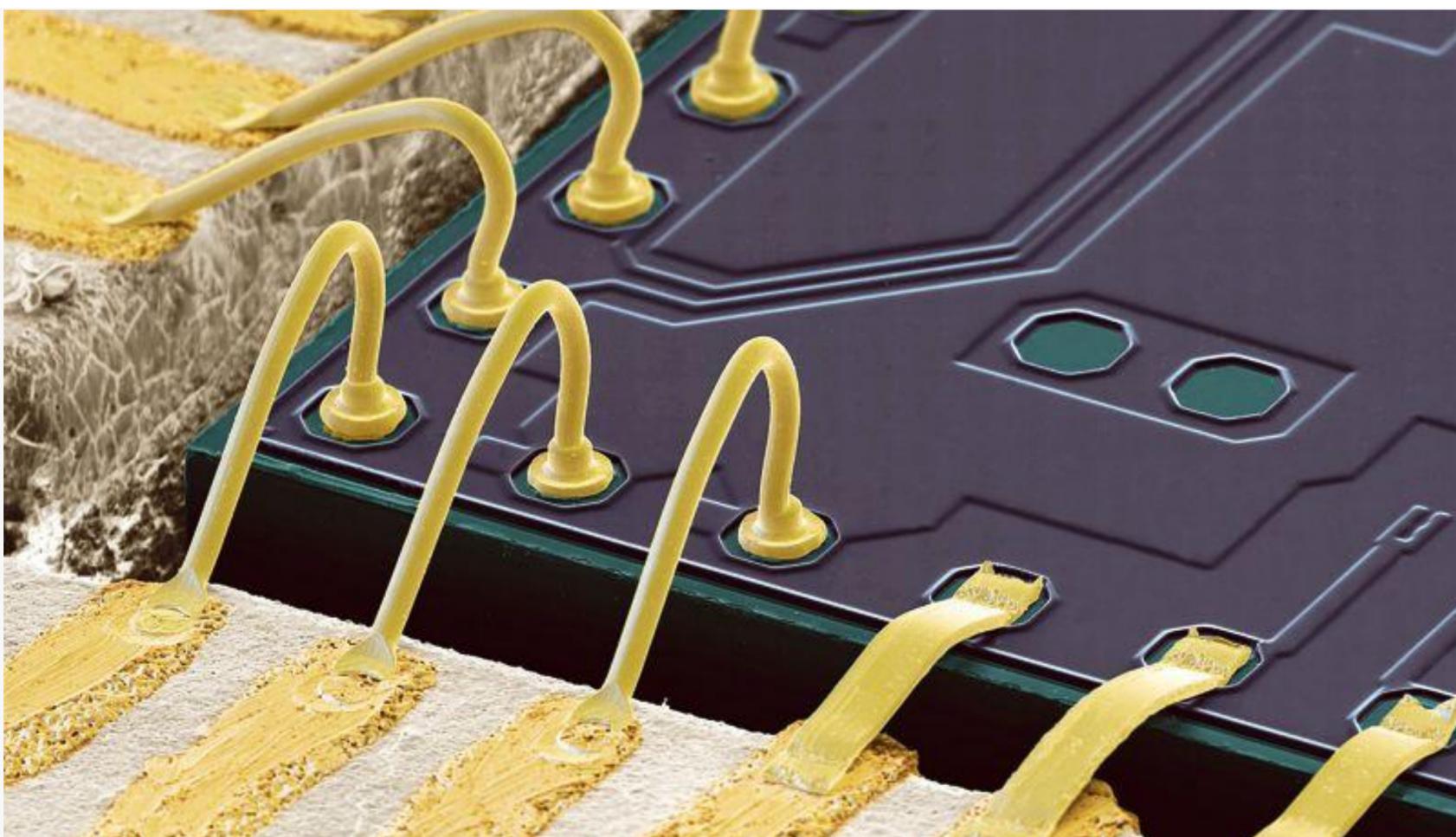


## Les puces électroniques flirtent avec leurs limites



<http://www.lefigaro.fr/sciences/2014/04/20/01008-20140420ARTFIG00169-les-puces-electroniques-flirtent-avec-leurs-limites.php>



Microfils en or connectant une puce de silicium à l'ensemble du circuit imprimé. *Crédits photo : EYE OF SCIENCE/PHANIE/phanie*

### Le coût des nouvelles techniques de production et leur mise en œuvre deviennent des obstacles infranchissables.

La microélectronique flirte avec ses limites. Depuis cinquante ans, le nombre de transistors augmente régulièrement sur une puce en silicium. Une prouesse qui augmente la vitesse de calcul et le nombre de tâches effectuées, ce qui permet de réduire le coût du composant électronique et de diminuer sa consommation d'énergie.

Actuellement, le microprocesseur (un peu le «moteur» d'un ordinateur) le plus avancé intègre plus de 1,5 milliard de transistors. La loi de Moore fonctionne. Cette règle empirique, édictée par Gordon Moore, un des fondateurs d'Intel, prédit que tous les dix-huit mois (initialement, en 1965, la durée prévue était de deux ans) le nombre de transistors peut doubler sur une puce, du fait de l'amélioration des techniques.

«Mais la loi de Moore est proche de sa limite physique ou financière», lâche Olivier Thomas, directeur adjoint de l'Im2np (Institut matériaux microélectronique et nanosciences de Provence). Cet organisme utilise la cristallographie, la science des cristaux, qui fête son centenaire cette année. Il reste possible de diminuer encore la taille des transistors «au prix d'investissements colossaux et d'équipements de production très onéreux, achetés aux Pays-Bas, que seul Intel peut financer». Ainsi, la nouvelle technique de production, si précise à élaborer, devient bien plus coûteuse que celle utilisée pour la génération précédente.

Les limites physiques sont nombreuses. Pour augmenter le nombre de transistors, il est nécessaire de réduire la taille de gravure des composants élémentaires. Mais cette dimension est devenue si minuscule, de l'ordre de 15 nanomètres (milliardièmes de mètre), qu'il ne sera bientôt plus possible de descendre plus bas.

Cette taille correspond déjà à une centaine de couches d'atomes. En outre, il est nécessaire d'obtenir une diffusion très homogène de composés chimiques (des «dopants») dans le cristal de silicium (principal composant de la puce électronique) pour lui conférer ses propriétés de semi-conducteur.

**«Dans nos expériences, nous récupérons de 10 à 100 millions d'atomes»**

À Marseille, pour surveiller cette diffusion, les chercheurs pèlent, littéralement, couche atomique par couche atomique, un échantillon taillé en forme de pointe. Pour y parvenir, ils utilisent une sonde atomique dite «tomographique», un équipement unique en France, hébergé par l'Im2np, dans le nord de la Cité phocéenne. «Dans nos expériences, nous récupérons ainsi de 10 à 100 millions d'atomes», précise Dominique Mangelinck, directeur de recherche CNRS. La cartographie des atomes récoltés est ensuite reconstituée.

Une autre limite est celle des couches d'isolants, constituées quant à elles d'une quinzaine de niveaux d'atomes. Leur rôle est majeur: elles empêchent les «courants de fuite», sinon le composant électronique consomme de l'énergie même quand la machine qui l'utilise est éteinte.

Un handicap majeur pour les appareils nomades, qui se déchargeraient trop vite. Et la consommation d'énergie des gros ordinateurs, toujours connectés au réseau électrique, risque de devenir trop élevée. «Pendant quarante ans, jusqu'en 2007, le processus de fabrication était le même: les dimensions étaient diminuées et les chercheurs utilisaient comme isolant le dioxyde de silicium», rappelle Catherine Dubourdiou, directrice de recherche CNRS à l'INL (Institut des nanotechnologies de Lyon). Mais depuis la fin des années 2000, les industriels utilisent des oxydes qui sont de bons isolants. Ils doivent par ailleurs être associés à un matériau métallique. Pour des puces commerciales, ces nouveaux «empilements» d'oxyde-métal ont été utilisés pour la première fois par Intel en 2007, pour les générations de transistors de 45 nm.»

Maintenant, à chaque fois que la taille de gravure diminue, de nouvelles méthodes de production doivent être développées. Pour réduire les dimensions, les industriels explorent des voies différentes. Pour les isolants, l'oxyde de hafnium est devenu très prisé pour «les petites dimensions, en deçà de 45 nm», précise Catherine Dubourdiou.

Devant l'importance de ces oxydes, le CNRS a lancé, en janvier, un groupement de recherche, baptisé «Oxyfun», qui s'intéresse à ces matériaux exotiques obtenus à partir de hafnium, de lanthane, d'yttrium ou de zirconium. De plus, l'approvisionnement de ces composés constitue un enjeu stratégique majeur. Un problème de ressources pourrait se poser: les réserves de hafnium sont estimées à une dizaine d'années.

Par ailleurs, l'arséniure de gallium et le germanium trouvent un regain d'intérêt. Déposés à la surface du silicium, ils «permettent d'augmenter la mobilité des porteurs de charge (électrons et «trous», NDLR) pour les générations de 10 nm et au-dessous», ajoute la chercheuse de Lyon.

---

---

## La piste des cristaux à changement de phase

Pour la microélectronique du futur, l'Im2np explore les mémoires dites à changement de phase pour remplacer «les mémoires flash» (ou SSD, utilisées dans les mobiles, les appareils photo et à la place de disque dur d'ordinateurs, NDLR), proches de leurs limites. Car l'écriture des données y est trop lente», justifie Magali Putero, maître de conférences à l'université Aix-Marseille. En passant d'une structure amorphe (désordonnée) à cristalline (ordonnée), sous l'effet de la température ou d'un courant électrique, certains matériaux changent rapidement (milliardième de seconde) leurs propriétés: ils deviennent, par exemple, transparents ou opaques. C'est à l'aide de cette caractéristique que fonctionnent les DVD et CD dits «réinscriptibles».

Déposé à la surface du disque, un matériau à changement de phase, éclairé par un laser, permet d'écrire des «bits» (0 ou 1), de manière réversible. Mais un handicap de ces composés est de changer de taille quand ils changent de phase, ce qui les rend fragiles et les empêchent d'être incorporés dans des puces. D'où l'idée de marier des éléments où la taille d'un composé augmente et celle de l'autre diminue quand ils s'organisent. C'est le cas notamment de cristaux composés de gallium-antimoine ou de germanium-antimoine-tellure. IBM finance depuis les États-Unis ces recherches effectuées par des chercheurs français et accède, de ce fait, au synchrotron européen (ESRF), à Grenoble, en leur donnant ses échantillons à tester.

### La rédaction vous conseille :

- L'homme qui a démultiplié le stockage de données récompensé<sup>1</sup>



Marc Cherki



journaliste

23 abonnés

Journaliste

### Liens:

<sup>1</sup> <http://www.lefigaro.fr/sciences/2014/04/11/01008-20140411ARTFIG00288-l-homme-qui-a-demultiplie-le-stockage-de-donnees-recompense.php>