

LES MÉMOIRES À OXYDES ET À PONT CONDUCTEUR

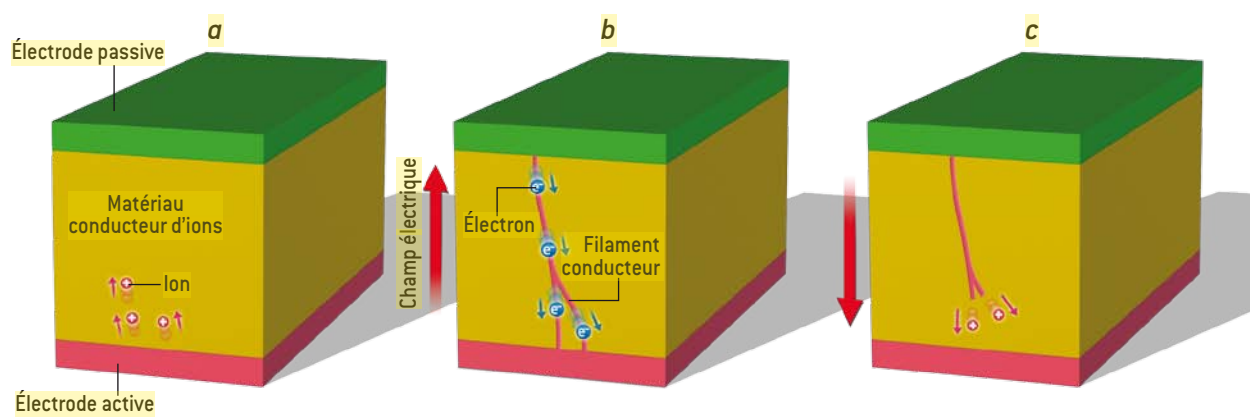
Les mémoires flash pourraient être remplacées par des dispositifs fondés sur les mémoires à oxydes (OxRAM) et les mémoires à pont conducteur (CBRAM). Dans les deux dispositifs, le bit d'information est porté par un transistor couplé à une résistance. Cette dernière est composée de deux électrodes séparées par un oxyde isolant ou un solide perméable à la conduction des ions. L'information est codée par la résistance du dispositif, qui dépend de la présence ou non d'un filament conducteur entre les électrodes. Ce filament est créé ou détruit par un stimulus électrique. Le phénomène électrique de claquage de l'oxyde (correspondant à la formation du filament conduc-

teur) a été étudié depuis les années 1960, mais l'industrie n'a commencé à s'y intéresser qu'à partir de 2004. En général, pour les mémoires à oxydes, le substrat est « vierge » lors de la première utilisation : il faut appliquer une tension importante pour amorcer la formation du filament. La tension d'utilisation par la suite sera beaucoup plus faible, car seul un petit élément du filament est construit ou détruit.

La physique des mémoires à pont conducteur est mieux établie que celle des mémoires à oxydes. La nature du pont dépend de la composition de l'électrode active (cuivre, argent...). Le filament se forme à partir de la dissolution de l'électrode active, qui émet des cations se propageant vers

l'électrode inerte grâce au champ électrique appliqué (a). Les cations sont réduits et forment un filament d'atomes neutres qui relie les électrodes (b). La résistance du dispositif chute (et fait passer le bit de l'état 0 à 1). Le processus est réversible : il faut inverser la polarité du champ électrique pour que les cations retournent à leur électrode initiale (c).

De nombreuses études cherchent à optimiser les performances de ce dispositif en associant divers matériaux pour les électrodes, aussi bien dans les mémoires à oxydes que dans celles à pont conducteur. De plus, la compréhension et la description microscopique des effets impliqués pourraient nécessiter plusieurs années.



Les mémoires à changement de phase atteignent aujourd'hui une capacité de un gigaoctet et les temps d'écriture sont de l'ordre de plusieurs dizaines de nanosecondes. De ce point de vue, ces dispositifs sont moins performants que les mémoires magnétiques. Mais la différence de résistance des deux états étant plus marquée (d'un facteur supérieur à 100), le temps de lecture est plus court. Par ailleurs, ces mémoires sont robustes et fonctionnent à haute température.

Le paysage des mémoires de stockage pourrait aussi changer d'ici cinq à dix ans. Comme nous l'avons vu, les disques durs sont les mémoires les moins chères, mais ils sont trop fragiles pour des utilisations nomades. Bien qu'ils soient déjà en partie remplacés par des dispositifs contenant des mémoires flash, de nouvelles mémoires de stockage se profilent. Si leurs caractéristiques deviennent intéressantes, elles pourront remplacer les mémoires

flash dans quelques années. Deux pistes sont prometteuses parmi les nombreuses solutions étudiées par les industriels : les mémoires à oxydes (OxRAM ou *Oxide-based Random Access Memory*) et les mémoires à pont conducteur (CBRAM ou *Conductive Bridge Random Access Memory*, voir l'encadré ci-dessus). Ces dispositifs sont récents, mais les recherches sont très actives et le nombre de prototypes augmente rapidement. Il n'est pas impossible que ces concepts de mémoires remplacent aussi les mémoires dynamiques. En 2013, une mémoire à oxydes de 32 gigaoctets a été annoncée par les Sociétés *Sandisk* et *Toshiba*.

Comme pour les mémoires magnétiques et à changement de phase, ces dispositifs sont constitués d'un transistor et d'une résistance variable. La valeur de la résistance détermine si le bit vaut 0 ou 1. Elle est contrôlée par un filament conducteur qui s'établit entre deux électrodes. Celui-ci peut être créé ou détruit par un champ et un courant électriques. Par exemple, dans une mémoire à pont conducteur, le filament métallique se

SI LES DISQUES DURS COMMENCENT déjà à disparaître dans les appareils nomades, les mémoires dynamiques pourraient être remplacées d'ici trois à cinq ans.

forme à partir d'ions positifs qui sont extraits d'une des électrodes. Quand la chaîne métallique relie les deux électrodes, le courant d'électrons peut facilement circuler et la résistance est faible. Le bit d'information vaut alors 1. En inversant le champ électrique, les atomes redeviennent des ions et migrent vers l'électrode : la chaîne se brise, la résistance augmente et le bit d'information passe de 1 à 0. Le processus est réversible.

Les progrès sont si rapides dans ce domaine qu'il est difficile de donner les caractéristiques de ces mémoires. Le temps d'écriture varie de la nanoseconde à la milliseconde suivant les dispositifs. Par ailleurs, les techniques de fabrication, surtout pour les mémoires à oxydes, sont relativement courantes, et leur coût de production est très compétitif. En revanche, les phénomènes microscopiques mis en jeu restent à mieux comprendre.

Tous les dispositifs présentés n'en sont pas au même point de maturité et leur présence sur le marché peut prendre

encore quelques années. Si les disques durs commencent déjà à disparaître dans les appareils nomades, les mémoires dynamiques pourraient n'être remplacées que d'ici trois à cinq ans.

Un horizon encore flou

La demande de mémoires toujours plus efficaces va continuer de croître. Cela encouragera les universités, les centres de recherche et les constructeurs à explorer les pistes évoquées, ainsi que de nombreuses autres. La concurrence étant forte et favorable à l'inventivité, l'évolution peut être rapide, et il est difficile de voir clairement quels composants s'imposeront dans cinq, dix ou vingt ans. La tendance qui se dégage est l'abandon de l'idée d'une technologie prédominante et universelle qui remplacera toutes les mémoires existantes. La solution optimale est de faire cohabiter plusieurs techniques et d'améliorer les performances de chacune. Jusqu'où ? On l'ignore. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

H.-S. Wong *et al.*, **Metal oxide RRAM**, *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, n° 6, pp. 1951-1979, 2012.

T. Kawahara *et al.*, **Spin-transfer torque RAM technology : Review and prospects**, *Microelectronics Reliability*, vol. 52, pp. 613-627, 2012.

M. Hilbert et P. Lopez, **The world's technological capacity to store, communicate and compute information**, *Science*, vol. 332, pp. 60-65, 2011.

G. W. Burr *et al.*, **Phase-change memory technology**, *J. Vac. Sci. Technol. B*, vol. 28, n° 2, pp. 223-262, 2010.

france culture

LA MARCHE DES SCIENCES

Découvertes, inventions, aventures savantes au fil de l'Histoire

Aurélien Luneau
14h-15h / chaque jeudi

franceculture.fr

SCIENCE