



Eric Cassan

Institut d'Electronique Fondamentale (IEF), ORSAY
Département « Composants pour la Microélectronique et l'Optoélectronique » (CMO)
UMR CNRS 8622, Université PARIS XI
Mél : eric.cassan@ief.u-psud.fr

« La microphotonique silicium entrera-t-elle dans les circuits intégrés ? »

Résumé :

Cette présentation résume quelques résultats marquants obtenus dans le cadre du projet RMNT INOPCIS (« INterconnexions OPTiques dans les Circuits Intégrés Silicium »), qui a démontré la viabilité de la distribution d'un signal d'horloge par voie optique dans les circuits intégrés silicium sur substrat silicium sur isolant (SOI).

Détail :

Les circuits intégrés silicium, et en particulier les puces des microprocesseurs qui équipent l'essentiel du parc informatique mondial, sont cadencés par un signal de référence, le signal d'horloge. L'évolution de la fréquence de ce signal, prédite dès 1965 par G. Moore, suit depuis près de 40 ans la célèbre loi du même nom (« loi de Moore »), qui prévoit un doublement de la fréquence du signal d'horloge tous les 18 mois (elle atteint ~ 3 GHz en 2003). Cette extraordinaire progression a été obtenue depuis plusieurs décennies par une diminution des dimensions des dispositifs élémentaires, les transistors, qui atteignent des dimensions nanométriques (la limite des 100 nm est franchie fin 2003). Elle s'accompagne d'une augmentation drastique de la densité d'intégration des circuits (~ 50 millions de transistors sur une puce). Le fonctionnement de tels systèmes nécessite un réseau très complexe d'interconnexions allant des composants élémentaires jusqu'aux blocs fonctionnels qui remplissent une fonction électronique précise. Ces interconnexions, au sein des circuits intégrés, sont actuellement réalisées par des lignes métalliques.

◆ La présentation qui est effectuée commence par un état de l'art des interconnexions métalliques, et met l'accent sur les principales limitations physiques prévisibles à relativement court terme (2007) de ce type de solution :

- les lignes métalliques ont tendance à déformer les signaux, principalement en raison de constantes de temps RC liées à leur géométrie,

- l'utilisation de « répéteurs » destinés à remettre en forme les signaux est nécessaire ; ces répéteurs consomment de la puissance et de la surface sur la puce,
- le temps de propagation des signaux dans les lignes se rapproche de plus en plus de la durée d'un cycle d'horloge ; les prédictions prévoient même un dépassement à l'échelle de quelques années, ce qui rend nécessaire la mise au point de solutions alternatives.

◆ Parmi les alternatives envisageables pour la distribution du signal d'horloge, figurent en première place les interconnexions optiques intra-puces, selon la feuille de route ou « roadmap de la microélectronique (ITRS 2001). Cette solution consiste à transmettre les signaux qui doivent parcourir de longues distances par de la lumière véhiculée dans des micro-guides d'ondes. La présentation résume les différents éléments nécessaires (sources, distribution passive, photodétecteurs, ?), les principales solutions techniques envisageables dans chaque cas, ainsi que les principales options à choisir (intégration des micro-guides d'ondes au-dessus des circuits microélectroniques, solution dite « back-end », ou bien au niveau des transistors, solution dite « front-end »).

◆ C'est cette dernière option qui a été choisie et étudiée dans le cadre du projet RMNT INOPCIS (« INterconnexions OPTiques dans les Circuits Intégrés Silicium »), en raison de l'intégration possible de photodétecteurs en bout de distribution optique. Nous montrons que l'utilisation de substrats de silicium sur isolant (SOI) permet de guider la lumière dans des micro-guides d'ondes optiques à très fort confinement et à faibles pertes, de lui faire prendre des virages à angle droit et de la diviser par des dispositifs très compacts : trois fonctions essentielles pour la viabilité d'une distribution de la lumière dans un circuit intégré. Une distribution optique de signal d'un point d'entrée vers 16 points de sortie, après 1 cm de propagation, 4 divisions et 2 virages a été démontrée expérimentalement, ce qui constitue à notre connaissance une première. La présentation résume pour finir l'intérêt que présente l'optique pour la distribution des signaux d'horloge (>> GHz), et conclut sur la possibilité de l'utiliser dans d'autres configurations, en exploitant en particulier la technique du multiplexage en longueur d'ondes (WDM).