

## 新しい集積回路でシリコン脳を創る

### Creating Silicon Brains with New Integrated Circuits

黒田忠広

Keio University

E-mail: kuroda@elec.keio.ac.jp

#### はじめに

科学技術振興機構 (JST) のCRESTにおいて、磁界結合を用いた積層チップ間接続 (ThruChip Interface; TCI)と電磁界結合を用いた伝送線路結合器 (Transmission Line Coupler; TLC) が考案された。近接場ではクロストークが小さいという特長を生かして、TSVやコネクタを無線で置き換えることができる。さらに、近接場結合集積技術 (Near-field coupling integration technology)を用いた3次元集積とそれによる革新的な情報処理システムを探究する研究がJSTのACCELで始まった。本論文では、近接場結合集積技術を概説し、人工知能への応用を展望する。

#### 近接場結合集積化技術

##### A. 磁界結合を用いた積層チップ間接続

磁界はチップを貫通する。磁界結合を用いた積層チップ間のデータ通信技術 TCI の実用が近い。機械式接続の TSV と比べると、電子式接続の TCI は性能・コスト比を改善できる。高濃度不純物拡散を用いて給電する Highly Doped Silicon Via (HDSV)と併用すると、メモリを高密度に積層し高い電力効率でデータ転送できる。積層したメモリを貫通接続し(TCI3.0)、さらにプロセッサと接続する(TCI2.9)ことで、フォンノイマン・ボトルネックを解消し、コンピュータの電力効率を改善できる。ACCEL では、2017年に 512GB/s の積層 DRAM (TSV を用いた HBM より 3 倍高速)の実現性を技術立証し、2019年に 100GFLOPS/W のコンピュータ (トレンド予測より 5 倍高効率)の実現性を技術立証する計画である。

##### B. 電磁界結合を用いた積層モジュール間接続

分布定数系の電磁界結合を用いればモジュ

ールを積層実装できる。TLC は、デジタルデータを 6Gb/s/ch の速度と 6pJ/b の電力効率で転送できる。TLC は電極の露出がないために完全防水できる。さらに振動耐性や電磁両立性も高いので、クルマやロケットなどでディペンダビリティの向上に役立つ。また、LEGO ブロックのようにシステムをモジュールにできるので、IoT に用いられる多様なセンサ端末を効率よく開発できる。

#### 脳型推論集積システム

情報処理の方式には、フォンノイマン型の他に布線論理型がある。論理的・計算的な左脳型情報処理にはフォンノイマン型が適し、直観的・空間的な右脳型情報処理には布線論理型が適する。

布線論理型には、汎用性の確保とプログラムの容易性の課題があった。しかし、こうした課題は、動的再構成可能なプロセッサ (Dynamically Reconfigurable Processor; DRP) の研究の中で多くが解消されてきた。さらに、DRP と TCI を組み合わせれば、布線論理型の集積度を仮想的に高めることができ、より多くの応用において、右脳型処理が現実解となる。このアプローチは、FPGA を用いる方法よりも性能・コスト比で優れている。

ACCEL では、フォンノイマン型の左脳モジュールと仮想布線論理型の右脳モジュールを TCI と TLC で集積し、左脳と右脳が連携する新しい情報処理の原理を探究する。そして、モバイル人工知能 eBrains を創出する計画である。

#### 謝辞

本研究は国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) の ACCEL の支援によって行なわれた。