

「脳を創る」

平成9年度採択研究代表者

小柳 光正

(東北大学大学院工学研究科 教授)

「脳型情報処理システムのための視覚情報処理プロセッサの開発」

1. 研究実施の概要

本研究で提案する脳型情報処理システムのための視覚情報処理プロセッサは3次元積層構造を有するCMOSアナログ/デジタル LSI によって構成される。積層型の集積回路を用いると回路や配線の3次元的な配置が可能となることから、大脳皮質の構造に似た構造を実現することができる。また、配線数や配線の自由度を大幅に増やすことができることから、機能的にも、脳に近い機能をもったプロセッサを実現することができる。今年度は、3層からなる3次元積層型人工網膜チップの試作と評価を行ない、その基本動作を確認した。また、このチップの試作と並行して第一次視覚野と上丘のもつ機能の一部を取り入れた新しい CMOS 回路の設計も行った。

2. 研究実施内容

我々が開発しようとしている3次元集積回路(LSI)の断面構造を図1に示す。図からわかるように、この新しい LSI はたくさんの素子が形成されたウェーハが多層に積層された構造となっており、各層間は垂直方向の埋め込み配線とマイクロバンプ

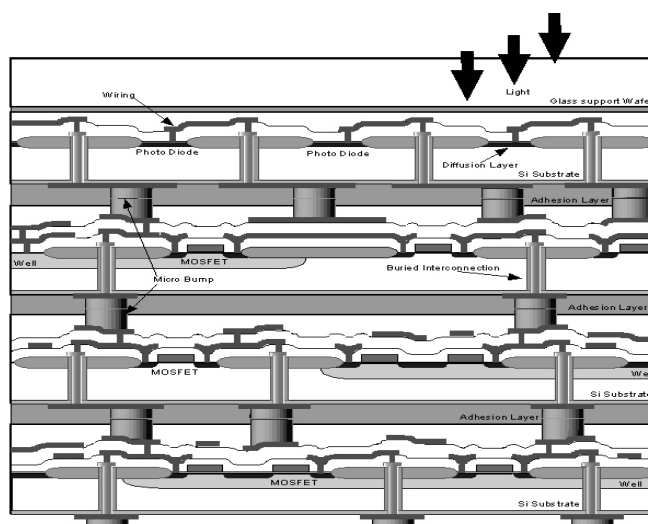


図1 3次元集積回路の概念図

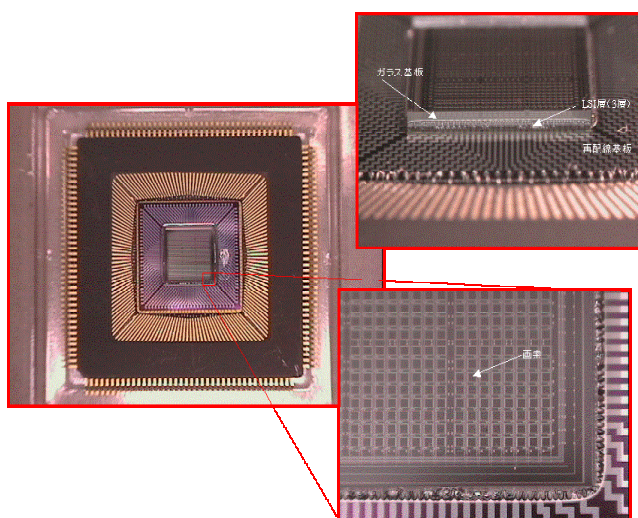


図2 試作した3次元積層型人工網膜チップ

によって電氣的に接続されている。このような構造は脳の皮質や網膜の構造との対応性も良いことから、我々はこのような積層型LSIを用いて網膜、第一次視覚野、上丘、MT野などの機能を取り入れた新しいチップの試作を進めている。

3次元積層型人工網膜チップ

平成13年度は、埋め込み配線構造やコンタクト孔形成条件の改善を行なって、3次元LSIを再現性良く製作するための最適プロセス条件を確立した。この改善されたプロセス条件を用いて3層からなる積層型人工網膜チップを試作した。試作したチップの顕微鏡写真を図2に示す。写真からわかるように、この網膜チップでは、ウェーハ積層化の際に支持基板として用いられた石英ガラスがそのまま残存し、パッケージ基板の役割をしている。また、石英ガラスと積層チップは一体となって切り出されており、パッケージ技術から見ると積層型のCSP(Chip Size Package)となっている。このような3次元積層型の人工網膜チップの試作は世界的に見ても初めてである。試作した3次元積層型人工網膜チップからの出力画像を図3に示す。図からわかるように、一部動作不良となっている部分はあるものの、基本的な画像処理動作が実行できていることを確認できた。

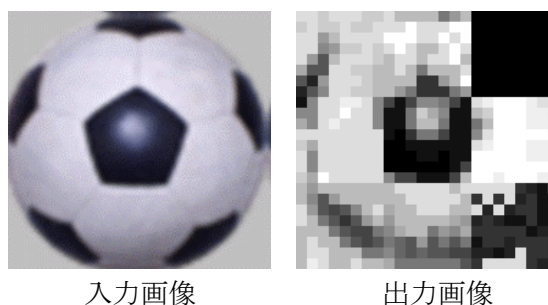


図3 試作した3次元積層型人工網膜チップの入出力画像

上丘のモデル化と回路設計

人の網膜は解像度の高い中心視の部分(中心窩)と解像度の低い周辺視の部分より構成される。このような構造は人の視覚情報処理にとって根源的なものであり、高次の視覚情報処理機構を理解する上でも重要なものである。また、3次元空間的な視覚情報を中心窩センサを用いて収集、処理するためには注視点の移動が必要不可欠である。人間の視覚情報処理においては、このような注視点の移動はサッカードとして知られる眼球の運動によって行なわれる。我々は、人間の眼のような機能や構造をもった視覚情報処理システムを実現するための基礎検討を行うために、図4に示すようなCCDカメラを用いた注視点移動ビジョンシステムを製作した。このシステムを用いてサッカードを司る上丘

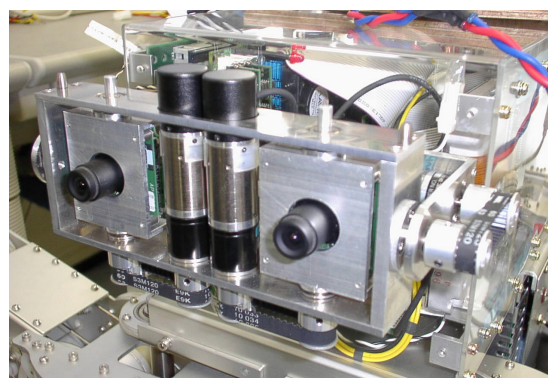


図4 注視点移動ビジョンシステム

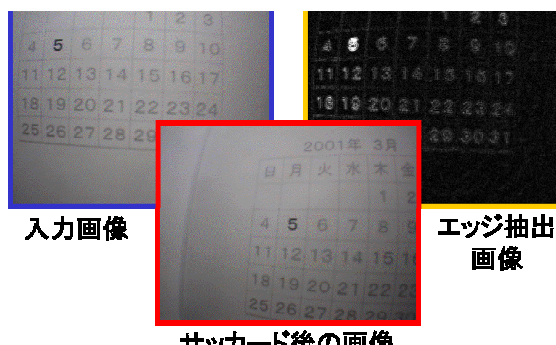


図5 注視点移動ビジョンシステムの動作結果

の機能をモデル化した結果、図5に示すように、黒く強調した文字や動きのある対象などへ高速に注視点を移動できることを確認した。今後は、このシステムの CCD カメラ部分を本研究で試作した3次元積層型人工網膜チップに、また制御部を上丘チップおよび MT 野チップに置き換えてロボットに搭載することを目指す。そのため、現在、上丘と MT 野の機能を取り入れた新しい回路の検証を行なうための2次元 LSI テストチップを試作するとともに、3次元積層型上丘チップと MT 野チップの設計も行なっている。

まとめ

今年度は、我々が開発した3次元集積化技術を用いて、世界で初めて3次元積層型の人工網膜チップの試作に成功した。現在、最終年度の目標である脳型視覚情報処理システムの実現を目指して、3次元集積化技術の更なる改良と第一次視覚野(V1)チップ、上丘チップ、MT 野チップの設計、試作を進めている。

3. 研究実施体制

(1) 集積システムグループ

- ① 小柳 光正(東北大学大学院 工学研究科 教授)
- ② 視覚情報処理システム設計システム集積化技術開発

(2) 情報処理モデルグループ

- ① 中村 維男(東北大学大学院 情報科学研究科 教授)
- ② 視覚情報処理アーキテクチャの検討

(3) 脳メカニズムグループ

- ① 丹治 順(東北大学大学院 医学系研究科 教授)
- ② 大脳生理学から見た視覚情報メカニズムの解明

4. 研究成果の発表

(1) 論文発表

- Hiroyuki KURINO, Yoshihiro NAKAGAWA, Tomonori NAKAMURA, Yusuke YAMADA, Kang-Wook LEE and Mitsumasa KOYANAGI “Biologically Inspired Vision Chip with Three Dimensional Structure” [IEICE Transactions on Electronics, E84-C (12), 1717 - 1722, (2001)]
- H.Kurino, Y.Nakagawa, K.W.Lee, T.Nakamura, Y.Yamada, K.T.Park, M.Koyanagi “Smart Vision Chip Fabricated Using Three Dimensional Integration Technology” [ADVANCES IN NEURAL INFORMATION PROCESSING SYSTEMS 13 (MIT Press) 720-726(2001)]
- K.W.Koh, H.J.Oh, H.Choi, H.Kurino, M.Koyanagi “A novel atomic doping technology for ultra-shallow junction of SOI-MOSFETs” [Materials Science and Engineering B89 (2002)435-438]
- Wang Y, Shima K, Sawamura H, Tanji J. “Spatial distribution of cingulate cells projecting to

the primary, supplementary, and pre-supplementary motor areas: a retrograde multiple labeling study in the macaque monkey.” [Neuroscience Research 39:39-49(2001)]

- Mushiake H, Saito N, Sakamoto K, Sato Y, and Tanji J “Visually based path-planning by Japanese monkeys” [Brain Research Cognitive Brain Research 2001 11:165-169(2001)]
 - Mushiake H, Saito N, Furusawa Y, Izumiyama M, Sakamoto K, Shamoto H, Shimizu H, and Yoshimoto T “Orderly activations of human cortical areas during path-planning task [Neuroreport 13 423-426(2001)]
 - Tanji J. “Sequential organization of multiple movements: involvement of cortical motor areas. [Annu Rev Neurosci 2001;24:631-51]
 - N.Katayama, M.Nakao, M.Yamamoto “Computation in Single Neuron with Dendritic Trees” [Brainware: Bio-inspired Architecture and Its Hardware Implementation, World Scientific, 179-205, (2001)]
- (2) 特許出願
なし