

「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

我々の脳型情報処理プロセッサは3次元集積化技術を用いて多層に積層したLSIによって構成される。このような層状構造は生体の脳と酷似しており、膨大な配線数が要求される脳型情報処理プロセッサを構築するために非常に有効であると考えられる。今年度は2層からなる3次元集積化回路(以下3次元LSIと呼ぶ。)の特性を評価し、その良好な動作を確認した。さらに3層の3次元LSIを試作し、そのプロセス上の課題を検討した。またこの技術を使った人工網膜チップの設計、試作を進めると共にこのチップを用いて視覚情報処理を行った場合のシミュレーションを行った。

2. 研究実施内容

(1) 3次元積層化技術

我々が試作を目指している3次元LSIの断面構造を図1に示す。トランジスタが形成されたLSIが縦に数層積み重なり、各LSI層間は埋め込み配線とマイクロバンプにより電氣的に接続される。

我々はこのような生体に近い層状構造を有するLSIを用いて網膜及び、V1野の試作を進めている。

(1-1) 網膜のための3次元集積化技術

平成10年度に引き続き平成11年度はまず3次元集積化技術を用いて網膜を模擬するための2層からなる3次元LSIを試作した。この3次元LSIは図2の断面SEM写真に示すように上層に光センサ、下層に増幅器を有しており、簡単な光電変換回路となっている。図3に光強度に対するこの回路の出力電圧を示す。十分な光出

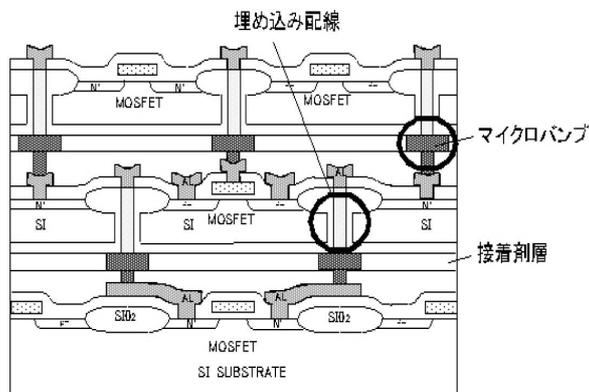


図1 3次元集積回路の概念図

力電圧が得られており、3次元LSIの良好な動作を確認した。またこの結果を半導体デバイスの分野で最も権威ある国際会議であるInternational Electron Device Meeting（開催地ワシントン）で報告し、新聞、雑誌にも多数取り上げられた。

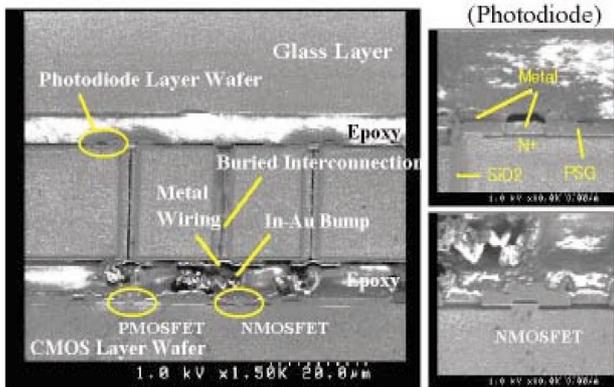


図2 人口網膜チップの断面SEM写真

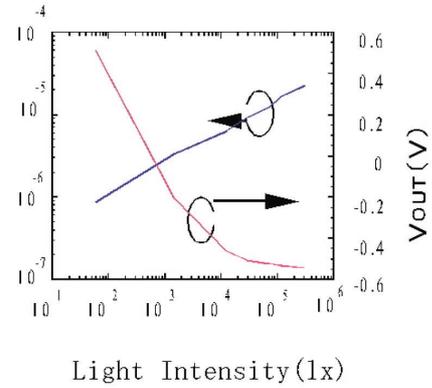


図3 光センシングテスト回路の出力特性

(1 - 2) 高次視覚野のための3次元集積化技術

V1野やV2,MT野の機能を実現するための3層からなる3次元LSIを試作し、プロセスの検討を行った。人工網膜のための3次元LSIでは光センサーを光が受容できる形に搭載しなければならない。しかしながら高次視覚野のための3次元LSIではこの制約がなく、より柔軟で信頼性に富む集積化法を用いることができる。このような高次視覚野のための3次元集積化技術を用いて試作した3次元LSIの断面SEM写真を図4に示す。

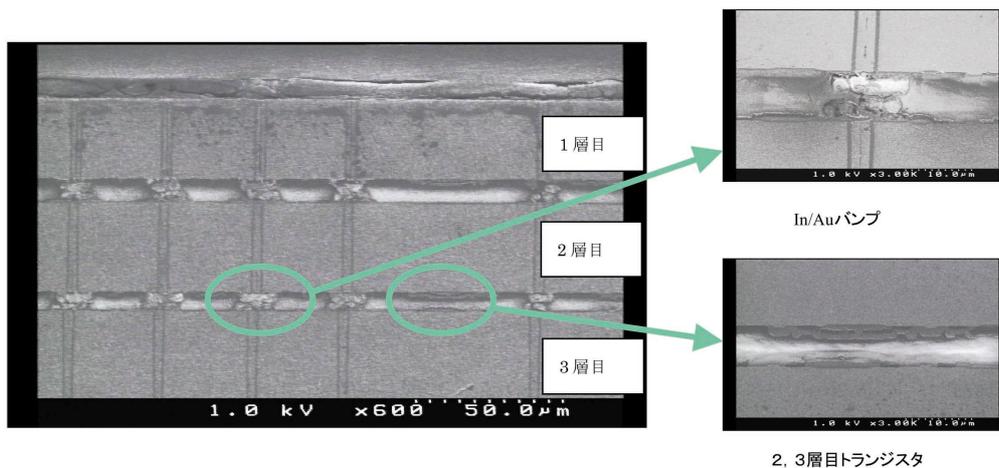


図4 高次脳機能を実現するための3層からなる3次元LSIの断面SEM写真

(2) 人工網膜、V1野回路の設計とシミュレーション

このような3次元集積回路技術を用いて人工網膜チップとV1野チップの設計を行い、その動作をシミュレーションによって確認した。今回設計した人工網膜チップは中心視に相当する光センサの密な部分と周辺視に相当する疎な部分を有している。周辺視の部分ではアマクリン細胞に対応するような時間微分を出力する回路も搭載した。これを用いることで対象物の移動を検出することも可能である。また図5にこの中心窩を有するチップのレイアウトと図6にそのシミュレーション結果を示す。このシミュレーションでは画像から特徴点を抽出してその特徴点に中心窩を移動させている。この結果より我々のセンサーは中心窩センサーとして機能し、エッジ等の特徴点を検出できることがわかる。

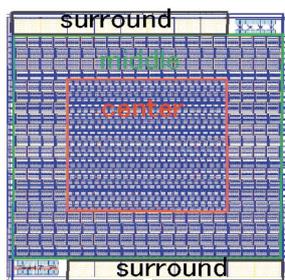


図5 中心窩を有する人工網膜チップのレイアウト



原画



注視例1



注視例2

図6 設計した人工網膜チップからの出力画像(シミュレーション)

平成12年度は人工網膜チップとその機械的運動機構やV1野チップを用いて、中心視、サッカド、立体視等の研究を進め、脳をモデルとしたハードウェアの実現を目指す。

3. 主な研究成果の発表(論文発表)

Yasuhiro Kuwana, Akinori Hirose, Hiroyuki Kurino and Mitsumasa Koyanagi "Signal Propagation Characteristics in Polyimide Optical Wave-guide with Micro-Mirrors for Optical Multichip Module" [Japanese Journal of Applied Physics Vol.38, (1999), pp2660-2663]

Y.H.Song, K.T.Park, H.Kurino, M.Koyanagi "Ultrashallow Junction Formation by Rapid Thermal Annealing of Arsenic-Adsorbed Layer" [Japanese Journal of Applied Physics Vol.39, (2000), pp26-30]

M. Sasaki, Xiaoyu Mi, K. Hane "Standing Wave Detection and Interferometer Application Using a Photodiode Thinner Than Optical Wavelength" [Applied Physics Letters, 75, (1999), 2008 - 2010]

N. Katayama, M. Shimakata, M. Nakao, M. Yamamoto, "Nonlinear synaptic integration

in hippocampal CA1 pyramidal neurons" [Neuroscience Research (Suppl.), 23, S259, 1999]

嶋方克好, 片山統裕, 中尾光之, 山本光璋 "海馬CA1錐体ニューロンにおける非線形シナプス統合", [信学技報, MBE99-111, 61-68, 1999]

M.Nakao, H.Nishiyama, D.McGinty, R.Szymusiak, M.Yamamoto "Model-based Interpretation of Biphasic Daily Pattern of Sleepiness" [Biol. Cybernetics, 81, (1999), 403 - 414]

H.Sakai, M.Nakao, M.Yamamoto "A Circle Map Model of Human Circadian Systems" [Frontiers of Medical and Biological Engineering, 9, (1999), 75 - 92]

M.Nakao, M.Yamamoto "Modeling Neuronal Dynamics-Transition during Sleep"[IEEE Eng. Med. & Biol. Magazine, 17, (1999), 99-107]

M.Yamamoto, K.Suzuki, K.Nakamura, M.Nakao, N.Katayama and T.Ueno "Novel Polygraphic Observations in High Frequency Range during Rapid Eye Movement Sleep"[Interdisciplinary Information Sciences, 5 (2), (1999), 99-108]

M.Nakao, D.McGinty, R.Szymusiak, M.Yamamoto "Thermoregulatory Model of Sleep Control: Losing the Heat Memory" [J. Biol. Rhythms, 14 (6), (1999), 547-556]

M. Yamamoto, M. Nakao, N. Katayama, M. Waku, K. Suzuki, K. Irokawa, M. Abe, T. Ueno, "Night-day-night sleep-wakefulness monitoring by ambulatory integrated circuit memories"[Psychiatry and Clinical neurosciences, 53, 171-173, 1999]

Mushiake H, Fujii N, Tanji J "Microstimulation of the lateral wall of the intraparietal sulcus compared with the frontal eye field during oculomotor tasks" [J Neurophysiol 81(3): 1443-1448, 1999]

Sakai ST, Inase M, Tanji J "Pallidal and cerebellar inputs to thalamocortical neurons projecting to the supplementary motor area in Macaca fuscata: a triple-labeling light microscopic study" [Anat Embryol(Berl) 199(1): 9-19, 1999]

丹治 順 "脳と運動 - アクションを実行させる脳" [共立出版]

虫明 元 丹治順 "大脳による行動と運動の認知的制御" [実験医学 17巻 2198-2204 1999]

丹治 順, 五味裕章 "運動制御と学習" [科学 69(2): 114-124 1999]

丹治 順 "脳と運動 In. 脳を知る・創る・守る" [(「脳の世紀」推進会議編 伊藤正男・養老孟司, 小田稔 他)クバプロ 71-84 1999]