

Study on Neuromorphic Systems using Thin-Film Devices

Name

Mutsumi Kimura

Laboratory's name

Computing Architecture

Supervisor's name

Professor Yasuhiko Nakashima

Abstract

Artificial intelligences have been used for various applications and are promising in future societies, but because the conventional neural networks are software on hardware, the size is bulky, and the power is huge. Neuromorphic systems are biomimetic systems from hardware level and have the same advantages as living brains, especially, compact size, low power, and robust operation. On the other hand, thin-film semiconductor electronic devices can be fabricated on large areas, and three-dimensional layered structure can be acquired.

Neuromorphic systems using thin-film devices will be studied in this doctoral dissertation. First, we will investigate a neuromorphic system, where we will simplify a neuron element to three simple circuits and synapse element to one variable resistor or capacitor, and propose tug-of-war method and modified Hebbian learning, whose advantage is that the synaptic connection strength is automatically controlled using the local electrical conditions. Next, we will examine low-temperature poly-Si (LTPS) device, amorphous In-Ga-Zn-O (α -IGZO) device, and amorphous Ga-Sn-O (α -GTO) device, where, it will be confirmed that the electrical conductance gradually decreases when electric current flows, which is available as a synaptic connection strength. Finally, we will investigate Hopfield neural networks using crosspoint-type devices and cellular neural networks using separated architecture, surfaced architecture, layered architecture, and planar-type devices and confirm the correct operations of simple logic learning and letter reproduction. It will be believed that these results will be theoretical bases to realize ultra-large scale integration for neuromorphic systems.

Neuromorphic systems using thin-film devices have great potentials that the size can be compact, the power can be low, and the operation can be robust. Energy crisis can be avoided, and artificial intelligence on everything (AIoE) may be realized. Although we will not succeed in integration of an astronomical number of processing elements with three-dimensional layered structure, the research results will suggest that it is possible in the future.

氏名	木村 睦
----	------

(論文審査結果の要旨) (A4 1枚 1、200字程度)

人工知能は、現在も様々な応用に用いられ、未来の社会において不可欠な技術である。しかしながら、従来のニューラルネットワークは、超ハイスペックなノイマン型のハードウェアで実行される複雑で長大なソフトウェアであり、マシンサイズが巨大でエネルギー消費が膨大であるという課題があった。ニューロモーフィックシステムは、ハードウェアレベルからの生体模倣システムで、生体の脳と同様にコンパクト・低エネルギー消費・頑強動作といった特長をもつ。一方、薄膜半導体デバイスは、大面積に三次元積層構造で作製することが可能である。

本研究は、薄膜デバイスを用いたニューロモーフィックシステムに関するものである。薄膜デバイスを利用することで、ニューロモーフィックシステムはその特長をさらに高める可能性を持つ。最終試験では、以下の主要な成果について報告があった。

【1】ニューロモーフィックシステムを薄膜デバイスによる実現性の観点から改めて研究し、ニューロン素子を3種類のシンプルな回路まで簡略化し、シナプス素子を1個の可変抵抗や可変キャパシタまで簡略化した。綱引法と修正ヘブ学習則を提案することで、局所的な条件でシナプス結合が自動的に制御されるようにした。

【2】薄膜デバイスとして、低温多結晶シリコン (LTPS) デバイス・アモルファス In-Ga-Zn-O (α -IGZO) デバイス・アモルファス Ga-Sn-O (α -GTO) を精査し、コンダクタンスが電流履歴とともに連続的に減少することを確認し、シナプス結合として使用できることを明らかにした。

【3】クロスポイント型・プレーナ型シナプス素子と、ホップフィールド・セルラニューラルネットワークを、分離・表面・積層構造で実際に組み合わせることにより、単純論理学習・文字再生の動作確認に成功した。これらのニューラルネットワークは基礎的なものであるが、より高度なものにも適用可能である。

本研究で、薄膜デバイスを用いたニューロモーフィックシステムの基本的な構成や単純な動作を確認したことで、将来は、大規模集積化や三次元積層構造により、コンパクト・低エネルギー消費・頑強動作という特長を活かすことで、世界的なエネルギー危機を回避し、すべてのモノの人工知能 (AIoE) を実現する可能性を持っていると考えられる。たとえば、人間の脳に匹敵する 2×10^{10} 個のニューロン素子と 2×10^{14} 個のシナプス素子を想定すると、可変抵抗のシナプス素子では 1 μ m のサイズと 30W の消費電力、可変キャパシタでは 0.2 μ m のサイズと 20W の消費電力が実現できると予想される。

以上、本論文は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。