電子が動くエレクトロニクスから原子も動くエレクトロニクスへ

From Electron-moving Electronics to Atom-moving Electronics

物質・材料研究機構（NIMS), ○青野正和
National Institute for Materials Science (NIMS), ◦Masakazu Aono
E-mail: AONO.Masakazu@nims.go.jp

このたび『超スマート社会に向けての固体イオニクスデバイス ～基礎から情報通信、人工知能、電池への応用まで～』のシンポジウムが開催されることは、時宜を得ています。実際、これまでのエレクトロニクスを支えてきた従来の半導体デバイスが原理的に内包する限界を克服して、新しいエレクトロニクスの地平を切り拓く、固体ナノイオニクスデバイスの世界がいま発展しつつあります。このシンポジウムに際し、この分野の将来についての私見を述べます。

私と共同研究者は、1990 年代の後半に、超イオン伝導体 Ag_2S と金属電極とを ~nm のトンネル間隙で対向させると、両者の間に加える電圧の極性に依存して、Ag_2S から Ag^+イオンが Ag 原子となって析出して間隙を架橋したり、逆にその析出した Ag 原子が Ag^+イオンとなって Ag_2S へ再固溶して架橋が消滅したりすることが、可逆的に高速で起こることを観測し、これを「原子スイッチ」（Atomic switch）と名付けました。この原子スイッチは、広範な多様性をもつことが分かってきました。構造的には、上で述べた電極間の真空間隙を金属酸化物や有機高分子材料で充填しても原子スイッチとしての機能はほとんど変わらず、また上で述べた Ag_2S のようなイオン伝導体を用いる必要は必ずしもなく、Cu や Ag のような金属に代えることができます。機能的には、不揮発性の ON/OFF スイッチとしての機能、それによる不揮発性デジタルメモリとしての機能だけでなく、過去の入力信号を積分的に記憶する学習機能、入力信号の形態（電圧の大きさ、時間幅、頻度）に応じて異なる応答をする脳のシナプスに酷似した認識能力、などを有しています。2000 年代の初頭から開始した NEC との協同研究が実り（MEXT や JST の支援も受けました）、原子スイッチが 2016 年の末に ”NEC AtomSW-FPGA“ として実用化されたことを心から祝福したいと思います。これを支えた重要な一因は、原子スイッチが「外部からの電磁ノイズや放射線（宇宙線を含む）に対して強い耐性がある」という従来の半導体デバイスにはなかった特長をもつことでした。

こうして、我々は「電子が動くエレクトロニクスから原子も動くエレクトロニクスへ」のパラダイムシフトのきっかけを創りました。その後、世界では、2011 年頃から、従来の回路素子である レジスタ、キャパシタ、インダクタ とは異なる範疇の素子としてのメムリスタが“発見”され、いまエレクトロニクスの一大分野を形成しつつあります。本シンポジウムでも関連の多くの話題が議論されるでしょう。原子スイッチもメムリスタも固体イオニクスの概念で括れます。さて、この分野の将来にとって重要なキーワードは何でしょう。私は、原子スイッチにおいてすでに見られている「ディジタルとアナログの融合」、それと関連した「プログラミングに頼りきらないコンピュテーション」、そして「ランダムネットワークの高度な利用」であると思います。

© 2018年 応用物理学会