



原子スイッチの開発と応用 —シリコンデバイスの限界を超える—

青野正和

(独) 物質・材料研究機構 ナノマテリアル研究所 所長

コンピュータは膨大な数のスイッチの集合体です。新しいスイッチの開発はコンピュータエレクトロニクスの革新につながります。半導体集積回路はまさに「20世紀の錬金術」で、シリコン、酸素、アルミニウムなどの元素の空間配置を微細に制御することによって今日の情報通信革命を起こしたデバイスができるわけです。しかし、ムーアの法則に象徴されるデバイスの集積化と微細化も限界に達しつつあり、21世紀の錬金術が必要になってきました。それをもたらすのがナノエレクトロニクス・テクノロジーで、これからお話する原子エレクトロニクスもその一つです。分子エレクトロニクスよりは後発ですが、近い将来追い越すと考えています。

原子エレクトロニクスで重要な役割を果たすのが固体電解質です。本日は典型的な固体電解質である硫化銀 (Ag₂S) に絞ってお話をします。硫化銀はサルファイオンの骨格の間をプラスの銀イオンが高速で動き回っている物質で、イオン伝導性と電子伝導性を併せ持っています。電解溶液中に2本の金属電極を入れて電圧を加えると、一方の電極からイオンが溶け出し、対向電極の表面に原子として析出しますが、同様の現象が固体電解質でも起こります。2つの金属電極のごく微細な隙間にトンネル電流を流すと、固体電解質から金属原子が析出し、電流の向きを逆にすると、原子は再び固体電解質に溶け込みます (再固溶)。

硫化銀を STM (走査プローブ顕微鏡) の探針として用いた実験で、この現象を実験してみました。析出した原子が対向電極に触れると両電極の間を架

橋してスイッチの状態になり、再固溶するとスイッチオフするので、何回でもスイッチオン・オフを繰り返すことができます。

次に我々が開発した4探針 AFM (原子間力顕微鏡) / STM を使って実験してみました。硫化銀で覆った銀ワイヤーと白金のワイヤーをクロスさせ、白金ワイヤーに電圧をかけると、原子が1~数個単位で移動して、銀の突起が形成/消滅し、交点に原子スイッチが形成されます。そこで、硫化銀と白金のワイヤーでクロスバー構造の装置をつくってみたところ、交点に自動的にスイッチが形成され、1メガヘルツの化学的スイッチングが観測されました。また、異なる量子コンダクタンスの間に電圧パルスをかけるとジャンプさせることができ、任意の量子コンダクタンスを選ぶこともできます。

最近、我々は原子スイッチが簡単にマイクロ・ファブ리케이션できる方法 (硫化した銀線に少量の銀を置き、白金ワイヤーをつける) を開発しました。2つの原子スイッチだけで AND、OR、NOT の論理ゲート (論理演算回路) ができ、コンダクタンスを変えて、重力状態のマルチステイトメモリーができることも確認しました。

原子スイッチには、不揮発性、サイズが極小、構造が単純 (低コストで超集積化が可能)、高速動作が可能 (予測値は最低1ギガヘルツ以上)、消費電力が小さい、オン抵抗が小さく遅延が少ない、といった多くの長があります。NEC と共同で1キロビットの不揮発性ランダムアクセスメモリーの作製に成功しましたが、まだまだ集積度を上げることは可能

です。

原子スイッチのもう一つの用途として、外部信号によってスイッチング回路を後から変更できるプログラマブル IC があります。1種類の IC をさまざまな用途に使えて、面積も現在のスイッチの約30分の1ですから、携帯電話ぐらいの端末でも飛躍的に多機能になるわけです。

また、C60 (フラーレン) の薄膜を使った分子スイッチは、化学的な書き込みと消去が可能です。1ドットの面積は10×10平方ナノメートル、今後さらに小さくすることができます。これまで応用された例はあまりないと思いますが、C60を用いた初のエレクトロニクスデバイスができるかもしれません。

青野正和 (あおの・まさかず)

1972年、東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。工学博士。同年、無機材質研究所入所。1986年、理化学研究所主任研究員。1996年、大阪大学大学院工学研究科教授 (理化学研究所主任研究員を兼務)。2002年より現職 (2005年6月まで大阪大学教授と併任)。2003年より、NIMS フェロー。この間、米国ウイコンシン大学物理科学研究所客員教授 (1978~1980)、新技術事業団創造科学推進事業「青野原子制御表面プロジェクト」総括責任者 (1989~1994)、同事業団戦略的基礎研究推進事業「人工ナノ構造の機能探索プロジェクト」研究代表者 (1996~2000)、同事業団基礎的研究発展推進事業「新しい量子効果スイッチの機能素子化プロジェクト」研究代表者 (2001~2004)、同事業団国際共同研究「ナノ量子導体アレープロジェクト」研究代表者 (2003~)、文部科学省産学官連携プロジェクト「原子スイッチを用いた次世代論理演算デバイスの開発」研究代表者 (2005~) を兼務。

科学技術庁長官賞 (1983年)、熊谷記念真空科学論文賞 (1983年)、日経 BP 技術賞 (1992年)、日本表面科学会学会賞 (2004年)、米国真空学会フェロー (2003年)、英国物理学会フェロー (2004年) など。