

長寿命で高速、省電力の記憶装置を目指す研究 • Research aiming for storage devices having a long life, high speed, and low electric power consumption

新しい物理現象で、 磁気メモリを開発する

省電力化が可能な方法を提案

Magnetic Memory Development Based on New Physical Phenomena

Proposal of a method that can save electric power

●システム理工学部 本多 周太 准教授

Faculty of Engineering Science

— Associate Professor *Syuta Honda*

スマートフォンやパソコンを使っていると、気になるのが記憶装置(メモリ)の容量。メモリの小型化と大容量化が進み、高画質の動画や写真などデータサイズの大きいファイルも手軽に保存できるようになった。しかし、現在主流のフラッシュメモリは性能向上に限界が見え始めているとされる。そこで注目を集めるのが長寿命で高速、省電力が期待される磁気メモリだ。システム理工学部の本多周太准教授は、シンプルな構造で実用化が可能な磁気メモリを提案し、学术界と産業界から高い評価を得ている。

When using smartphones and PCs, the capacity of the storage device (memory) is often a concern. Memories have made advancements in size reduction and capacity increase, making it possible to easily save large-size data files such as high-resolution video images and photographs. However, flash memories, which are now being predominantly used, are said to be approaching the limits of their performance improvement. Due to this situation, magnetic memories are gaining attention because they are expected to have a long life, high speed, and low electric power consumption. Syuta Honda, Associate Professor of Faculty of Engineering Science, has proposed a magnetic memory having a feasible and simple structure. His proposal has received a high evaluation from the academic and industrial sectors.

電子デバイスを数値シミュレーションで設計

— 所属研究室ではどのような研究をしていますか。

私が所属する『物性理論研究室』では、ナノサイズの電子材料を使ったデバイスなどを、数値計算や数値シミュレーターを使って開発しています。デバイスとは、スマートフォンなどに使われるメモリやトランジスタといった電子部品のことです。

主にテーマとしているのが、ナノサイズの磁石です。どのように材料を変えたら強力な磁石ができるか、またその磁石を使って新しい電子デバイスを作れるかなどについて研究しています。

磁石を使った電子デバイスは、磁気デバイスと呼ばれ、既に実用化されているものもありますが、多くは開発段階にとどまっています。

— その磁気デバイスの一つの磁気メモリが注目されています。

磁気メモリのメリットとして、主流のメモリに比べて電力消費量を抑えられることが挙げられます。現在、世界全体の電力消費量がどんどん増えているため、電力を大きく消費する記憶デバイスの省電力化が求められています。磁気メモリは電源を切っても情報が消えず、その分、電力の消費を抑えることができるのです。

また、磁気メモリは振動に強いため、自動車などに搭載することができ、放射線にも強いため、宇宙での利用に適している可能性もあります。

— 磁気メモリは新しいタイプのデバイスなのですね。

いえ、「磁気メモリ」と聞くと新しく感じるかもしれませんが、カセットテープは磁気を利用しています。昔は磁気で情報を保存していたんです。機器が小型化していく中で半導体に入れ替わっていましたが、再び磁気を利用する流れに戻ってきました。

素子を柱状に並べた磁気メモリを開発

— 具体的にはどのような研究ですか。

メモリは、一つが数十ナノメートルの大きさの素子がたくさん集まってできています。世の中のほとんどのメモリは、一つの素子に「0」か「1」かの一つの情報を保存します。

USBメモリなどのフラッシュメモリも基本は一つの素子で一つの情報を保存します。最近は、一つの素子に情報を数個保存できますが、それに加えて素子を縦に並べることで容量を増やしています。大容量のデータを保存できているのは、この工夫のおかげです。

私が現在、取り組んでいるのは、磁石が柱状に連なった磁気メモリです。このタイプの磁気メモリはまだ開発されていません。

磁気メモリは一つの磁石が一つの情報を保存します。それぞれの情報は、各磁石内のS極からN極への向き(磁化の向き)で示されます。磁化の向きが上(↑)か下(↓)か、ということになります。一方が「0」、もう一方が「1」に相当するわけです。私が取り組む柱状の磁気メモリの場合、柱が多数の磁石を縦に並べた構造であり、柱一本つまり素子一つで多数の情報を保存できます。

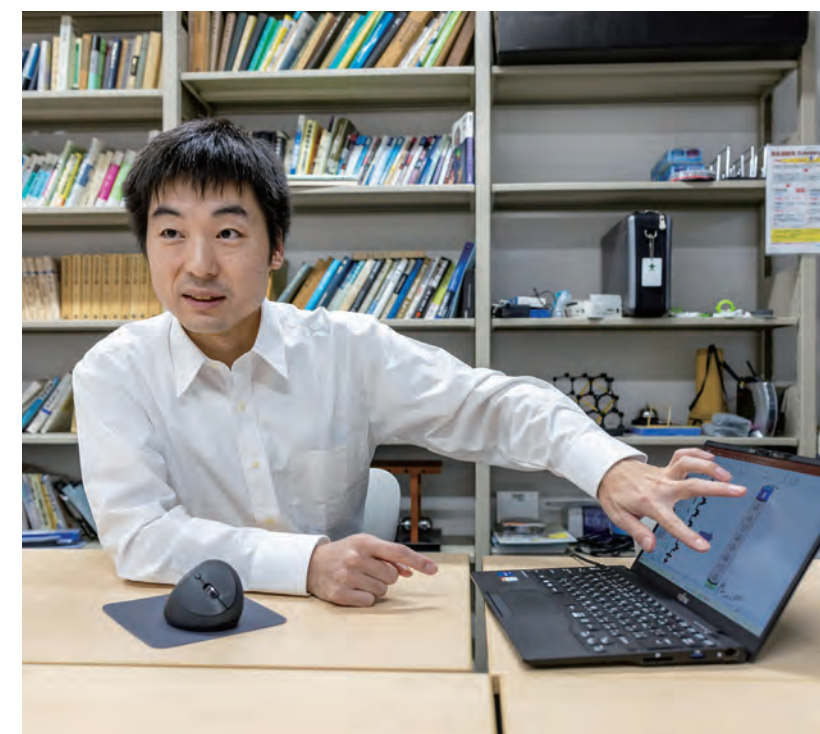
柱状の磁気メモリ自体は、従来から提唱されていましたが、私はその情報をどのようにコントロールするかを新たに提案しました。

— どのようにすれば制御できるのですか？

柱の上から下へ電流を流すだけです。

柱には、「↓↑↑↓」というような情報が保存されています。上から下へ電流を流すと「電流による磁壁移動」という現象が起きて、これらの矢印が全体的に上に動いていきます。

柱の一番上に別途磁石を設置することで、磁気抵抗効果と呼ばれる物理現象を用いて柱上端の磁化の向き(情報)を読み取ることができます。電流によって情報を柱の上側へ移動させながら、柱に記録された情報をすべて読み取るわけです。



Designing Electronic Devices Using Numerical Simulation

— Please tell us about your research in the laboratory.

In our "Theoretical Solid State Laboratory," we use numerical calculations and numerical simulators to develop, for example, devices using nanoscale electronic materials. "Devices" here mean "electronic components," such as memories and transistors used in smartphones.

My research theme is mainly nanoscale magnets. My research includes studies of how materials can be changed to produce strong magnets, and how magnets can be used to produce new electronic devices.

Electronic devices using magnets are called magnetic devices. Some magnetic devices have been realized, but many are still in the development phase.

— One such magnetic device, magnetic memory, is gaining attention.

One advantage of magnetic memory is the low electric power consumption compared with the memories predominantly used. Electric power consumption is increasing steadily all around the world these days. Therefore, there is a need to reduce the electric power consumption of storage devices, since they consume a lot. In magnetic memories, the stored information does not disappear even if the power supply is cut off. This characteristic can be utilized to reduce electric power consumption.

In addition, magnetic memories have vibration-resistant characteristics that make them suitable for installation in automobiles, and radiation-resistant characteristics that may make them suitable for use in outer space.

— So, a magnetic memory is a new type of device.

Well, no. It may sound new when you hear "magnetic memory," but magnetism was used in cassette tapes. In the past, magnetism was used to store information. Semiconductors have become predominant as the equipment size became smaller. However, use of magnetism is gaining attention again in recent trends.

研究室の並列コンピュータシステム。
複数台の計算機サーバーでナノサイズ磁石を再現し、
磁石内の磁化の動きをシミュレーションする
Parallel computer system in the Honda laboratory.
Multiple computer servers reproduce nanoscale
magnets and simulate the movement of
magnetization in the magnets.

■研究最前線

——情報の書き込みはどのようにするのですか？

情報の読み出し同様に電流を流すだけです。ただし、柱の下に横向きに磁化した磁石を設置します。私が提案したこの方法で素子の構造を単純にできました。

この磁石がない場合は、柱に電流を流して情報を上に移動させると、一番下に新たに「↓」が書き込まれ続けます。ところが、横向きの磁石があると、「↓↑↓↑」というように逆向きの矢印(磁化)が書き込まれるようになります。

では、任意の情報を書き込むにはどうするかというと、柱に流す電流のオンオフを細かく切り替えることで、パルス(電気信号において短時間に急激に変化する波)にし、電流が流れる時間間隔を制御することで書き込む情報を制御します。

例えば、最初に柱最下部の磁化が「↓」だった場合、電流を流すとちょっと上を向きます。そのタイミングで電流をオフにすると、「↑」にはならず「↓」に戻ります。電流が流れている間には、情報は上に移動し続けるため、柱下部以外では情報が柱上部へ進みます。電流のオンオフを繰り返すと、柱下部の磁化の向きが「↓↓」になります。一方、電流をオフにせずに流し続けた場合には、前述のように柱最下部の磁化は「↑」になり、柱下部の磁化の向きが「↓↑」になります。つまり、短い間隔のパルス電流と、長い時間の電流とで書き込む情報をコントロールするわけです。

柱状の磁気メモリでは多数の情報を保存できるにもかかわらず、柱1本あたりの端子の数を2つに抑えられます。さらに、電流の大きさや向きを変える必要はないため、電流を制御する外部回路

も単純にできます。そうすることで構造が単純で大容量なメモリを開発できる提案をすることができました。

■シンプルな構造は開発にメリット

——構造が単純だと、いろいろなメリットがありそうですね。

フラッシュメモリの開発に携わっている知り合いが「端子が少なくなるのは開発者としてすごく助かる」と言っていました。磁気メモリはさまざまなメリットがあるのに開発が遅れているのは、端子の数が多くて制御や回路設計が難しいという背景があります。

メモリの開発競争で遅れを取ってしまっている日本でも、このメモリなら開発できる可能性があります。次世代のメモリの有力候補だと思っています。

——反響が大きかったようですね。

2023年9月に特許を出願し、2024年4月に論文発表しました。さまざまな研究機関から共同研究のお話をいただき、複数の産官学が協力してくれています。今、京都大学や名古屋大学などが実験に取り組んでいて、私は柱の部分や書き込む磁石がどのような材料だったらうまくいきやすいかななどを模索しています。

——今後の抱負をお聞かせください。

この磁気メモリの実現に向けて、関西大学を中心に盛り上げていきたいら理想的です。全体的な目標としては、できるだけ物事を単純にして問題を解決したいですね。今、どんどん難しい物理現象を対象にしている傾向があるように思います。局所的に見ると性能は上がるのですが、応用からは遠のいてしまう。できるだけ単純な方法で問題を解決できるような提案をしていきたいと考えています。

■ Developed a Magnetic Memory That Has Elements Arranged in a Pillar Structure

—— Please tell us about the details of the research.

A memory consists of many elements whose individual size is several tens of nanometers. Most of the memories used in society store a single piece of information, a “0” or “1,” in a single element.

USB memories and other flash memories, in their basic form, also store a single piece of information in a single element. In recent years, it has become possible to store multiple pieces of information in a single element. In addition, vertical alignment of elements is becoming adopted, leading to an increase in capacity. These creative efforts have made it possible to save large-size data.

I am currently working on a magnetic memory consisting of magnets stacked in a pillar structure. This type of magnetic memory has not been developed yet.

In a magnetic memory, a single magnet stores a single piece of information. Each piece of information is represented by the direction from the S pole to the N pole in each magnet (direction of magnetization). The magnetization direction will be either up (↑) or down (↓). One direction will be regarded as “0,” and the other will be regarded as “1.” As for magnetic memory having a pillar structure, which I am working on, the structure consists of multiple magnets stacked vertically in a pillar. Due to this structure, multiple pieces of information can be stored in a single pillar, or in other words, in a single element.

The concept of a pillar-structured magnetic memory has been proposed in the past. My new proposition is how to control the information.

—— How can the information be controlled?

Just by having electric current flow from the top to the bottom of the pillar. The pillar stores information in a form such as “↓↑↑↓.” When a current is passed from the top to the bottom, a phenomenon called “current-induced movement of the magnetic domain wall” occurs, causing all of these arrows to move in the upper direction.

By placing a separate magnet at the top end of the pillar, the magnetization direction (information) at the pillar’s top end can be read using a physical phenomenon called the magnetoresistive effect. All information recorded in the pillar can be read by using current to move the information to the upper end of the pillar.

—— How do you write the information?

By passing a current, just like when reading the information. In this case, however, a magnet that is magnetized in the horizontal direction is installed at the bottom of the pillar. The element structure was simplified in my proposed method.

If this magnet is not present, “↓” will be newly and continuously recorded at the bottom end when current passes through the pillar to move the information upward. On the other hand, when a magnet (magnetized in the horizontal direction) is present, the arrow (magnetization) direction recorded in the pillar will alternate, such as “↓↑↓↑.”

So, to record the desired information, the current passed through the pillar can be switched on and off in a meticulous way to produce a pulse (electric signal wave that changes abruptly in a short time), and the time interval to make the current flow can be controlled. In this way, the information to be recorded is controlled.

If, for example, the initial magnetization direction at the pillar bottom end was “↓,” passing a current will make the arrow point somewhat upwards. If the current is turned off at that timing, the direction will not become “↑.” Instead, it will return to “↓.” Because information will continuously move upward while the current is flowing, information will move to the upper part of the pillar at locations other than the bottom of the pillar. If the current is repeatedly turned on and off, the magnetization direction at the bottom of the pillar will be “↓↑.” On the other hand, if the current is not turned off and made to flow continuously, the magnetization direction at the pillar bottom end will be “↑” as explained before, and the magnetization direction at the lower



▲研究室でゼミ生の指導にあたる本多准教授
Instructing students in his laboratory

part of the pillar will be “↓↑.” In summary, the information recorded is controlled using short-interval pulse current and long-duration current.

Although the pillar-structured magnetic memory is capable of saving multiple pieces of information, only two terminals are required for each pillar. Furthermore, since the magnitude and direction of the current need not be changed, the external circuit for current control can be simplified. In this way, we were able to propose the possibility of developing a large-capacity memory that has a simple structure.

■ A Simple Structure Is Advantageous for Development

—— There seems to be many advantages if the structure is simple.

A friend who works in development of flash memories once said, “As a developer, it is very helpful if there are fewer terminals.” Even though magnetic memories have many advantages, their development has not progressed because many terminals are required and because of the difficulty of control and circuit design.

Although Japan is lagging behind in the competition for developing memories, there is a possibility that this type of memory will be developed. I think this memory is a hopeful candidate for next-generation memories.

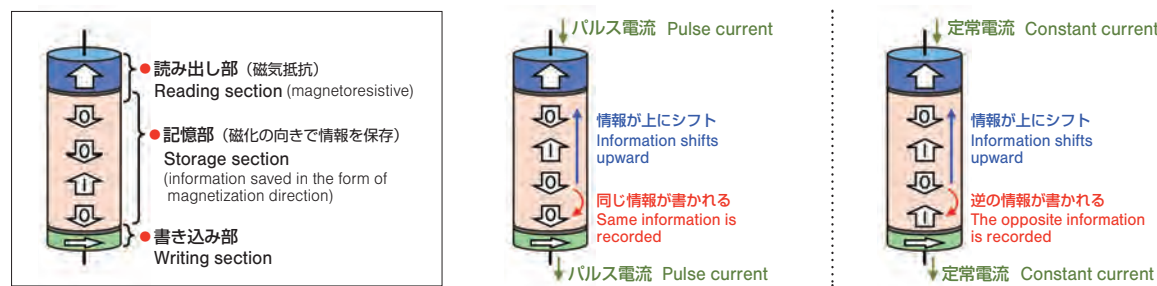
—— It seems that the proposal caused a sensation.

The patent application was filed in September 2023, and the paper was published in April 2024. We received proposals for joint research from various research institutions, and are blessed with cooperation from multiple entities of the industrial, academic, and governmental sectors. Kyoto University, Nagoya University, and others are now conducting experiments, and I am searching, for example, for the best type of pillar section material and writing magnet material that make the memory structure work well.

—— What are your own upcoming goals?

It would be ideal if Kansai University could be the center of the movement for realizing this magnetic memory.

As my overall goal, I want to solve problems by simplifying matters to the greatest extent possible. Nowadays, it seems that physical phenomena that are selected as a research subject are becoming increasingly difficult. Although performance can be improved locally, applying the results has become more difficult. I would like to make proposals that can solve problems using a method that is as simple as possible.



柱状磁気メモリ4ビット構造と動作の例 白矢印は磁化の向き(S極→N極)

柱に下向きに電流を流すことで、記録されている情報が柱上側へシフトする。電流がパルス電流の場合には、柱下端に最下位と同じ情報が書き込まれ、定常電流の場合には最下位と逆の情報が書き込まれる。柱を長くすることで記録可能な情報数を増やすことができる。

Example of pillar magnetic memory with 4-bit structure and its operation. White arrows indicate direction of magnetization (S pole to N pole)

By passing a current downward through the pillar, the recorded information shifts to the top of the pillar. If the current is pulsed, the same information as at the bottom of the pillar is written at the bottom of the pillar; if the current is constant, the opposite information is written at the bottom of the pillar. The amount of information that can be recorded can be increased by lengthening the pillars.