

Сверхпроводниковые базовые элементы искусственной нейрональной сети

Сидоренко Анатолий

Московский Физико-Технический Институт, г. Долгопрудный, Россия

*email: sidorenko.anatoli@gmail.com

Рост энергопотребления и необходимость повышения энергоэффективности и радикального снижения уровня энергопотребления становятся решающим параметром, сдерживающим развитие суперкомпьютеров. Наиболее перспективным решением является проектирование и разработка нефоннеймановских компьютеров с мозгоподобной архитектурой, в первую очередь – искусственных нейронных сетей (ИНС) на основе сверхпроводящих элементов. Сверхпроводящая ИНС требует разработки двух основных элементов – функциональных наноструктур: нелинейного переключателя, подобного нейрону, и линейных соединительных элементов, подобных синапсу [1].

Представлены результаты проектирования и исследования искусственных нейронов на основе сверхпроводящих спиновых клапанов и сверхпроводящих синапсов на основе слоистых гибридных наноструктур сверхпроводник-ферромагнетик. Представлены результаты теоретического и экспериментального исследования эффекта близости в стопочных сверхпроводниках/ферромагнетиках (S/F) с коферромагнитными слоями различной толщины и коэрцитивными полями, а также Nb-сверхпроводящими слоями постоянной толщины, равной длине когерентности ниобия.

В сверхрешетках Nb/Co наблюдается изменение сверхпроводящего параметра порядка в тонких пленках ниобия за счет переключения с параллельного на антипараллельное расположение соседних ферромагнитных слоев. Мы утверждаем, что такие сверхрешетки могут быть использованы в качестве подходящих базовых элементов сверхпроводниковой спинтроники для разработки ИНС [2]. Создание ИНС с использованием этих двух базовых элементов — искусственных нейронов и искусственных синапсов — позволяет построить компьютер с на несколько порядков меньшим энергопотреблением по сравнению с традиционным компьютером, построенным на полупроводниковых базовых элементах.

Исследование выполнено при поддержке мегагранта «Перспективные функциональные материалы для цифровой и квантовой электроники» (№ 075-15-2024-632).

Библиография

- [1] Frontiers of nanoelectronics: intrinsic Josephson effect and prospects of superconducting spintronics. Anatolie S. Sidorenko, Horst Hahn and Vladimir Krasnov. *Beilstein J. Nanotechnol.* 2023, 14, 79–82, doi:10.3762/bjnano.14.9
- [2] A. Sidorenko (Editor), Functional Nanostructures and Metamaterials for Superconducting Spintronics. Springer, 2018, 279 pages. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-90481-8>

Superconducting Base Elements for Artificial Neural Networks

Sidorenko Anatolie

Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia

*email: sidorenko.anatoli@gmail.com

Increasing energy consumption and the necessity of the energy efficiency and the radically reduction of the power consumption level becomes a crucial parameter constraining the advance of supercomputers. The most promising solution is design and development of the non-von Neumann computers with brain-like architecture, first of all – the Artificial Neural Networks (ANN) based on superconducting elements. Superconducting ANN needs elaboration of two main elements – functional nanostructures: nonlinear switch similar to the neuron, and linear connecting elements similar to synapse [1]. There are presented results of design and investigation of artificial neurons, based on superconducting spin valves, and superconducting synapses, based on layered hybrid nanostructures superconductor-ferromagnet. Are presented results of the theoretical and experimental study of the proximity effect in a stack-like superconductor/ferromagnet (S/F) superlattices with Co-ferromagnetic layers of different thicknesses and coercive fields, and Nb-superconducting layers of constant thickness equal to coherence length of niobium.

The superlattices Nb/Co demonstrate change of the superconducting order parameter in thin niobium films due to switching from the parallel to the antiparallel alignment of neighboring ferromagnetic layers. We argue that such superlattices can be used as suitable base elements for superconducting spintronics for ANN engineering [2]. Design of the ANN using that two base elements, artificial neurons and artificial synapses, allows construction of the computer with several orders of magnitude lower energy consumption in comparison with the traditional computer designed from semiconducting base elements.

The study was supported by the project - Megagrant “Advanced functional materials for digital and quantum electronics” (project 075-15-2024-632).

Bibliography

- [1] Frontiers of nanoelectronics: intrinsic Josephson effect and prospects of superconducting spintronics. Anatolie S. Sidorenko, Horst Hahn and Vladimir Krasnov. *Beilstein J. Nanotechnol.* 2023, 14, 79–82, doi:10.3762/bjnano.14.9
- [2] A. Sidorenko (Editor), Functional Nanostructures and Metamaterials for Superconducting Spintronics. Springer, 2018, 279 pages. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-90481-8>