

Квантовый нейристор: от теории к эксперименту

© С.Л. Григорьев

620142 Екатеринбург, Россия

e-mail: sir.grig2011@yandex.ru

(Поступило в Редакцию 14 ноября 2016 г.)

На основе квантово-оптической модели живого нейрона и современных достижений электроники и оптоэлектроники намечены пути теоретических и экспериментальных работ для проверки этой модели с целью создания нового элемента для нейросетевой информатики — квантового нейристора.

DOI: 10.21883/JTF.2017.07.44689.2096

Фон Нейман в середине прошлого века рассматривал нейросетевые системы как наиболее перспективные для создания устройств информатики. Однако развитие электроники и вычислительной техники пошло по пути создания более простых числовых устройств на бинарных пороговых элементах — триггерах. В 2003 г. за рубежом была предложена наноструктура [1] из пересекающихся проводников (рис.1), которая оказалось пригодной для создания многих нанопроцессоров, в том числе нейроподобных [2–6].

Согласно опубликованной отечественной модели живого нейрона [7], он работает аналогично лазеру с параллельной накачкой [8]: многие входящие нервные волокна возбуждают мембрану тела нейрона, содержащую бистабильные молекулы, мембрана генерирует выходной импульс, который распространяется в длинное волокно нейрона — аксон (рис. 2). Сигналы могут распространяться в волокне мембраны посредством перескоков на молекулярных группах липидов и полипептидов, как показано в работах А.С. Давыдова [9]. Следует отметить, что базовое когерентное состояние нейрона не создается входящими нервными волокнами. Оно создается фреиховскими биокосебаниями, генерируемыми нейроном и любой другой живой клеткой за счет биохимических реакций [10]. Можно предположить, что нейрон совершает квантовое сложение двух нечетких множеств сигналов:

- поступающих от рецепторов или других нейронов,
- хранящихся в синапсах перед проведением сложения.

Профессор Эмилио Джудич [11] на основе квантовой теории поля оценил энергию этих колебаний величиной $0.3kT$, что соответствует оптическим фононам согласно современным данным квантовой электроники [12] и диапазону частот от 50 до 300 см^{-1} по данным физических методов исследования аминокислот и других сложных биомолекул [13]. Биокосебания характеризуются большой амплитудой (до 1 nm) и ангармоничностью.

Согласно [7], потенциалу действия живых нейронов, известному в физиологии, соответствует пороговая мощность излучения накачки на входе в активный элемент искусственных квантовых нейристоров — многоканальных логических квантовых генераторов. Пороговый эффект для лазера с одноуровневой схемой возбуждения

описывается формулой [14]:

$$P = (V_1/V_2)(k_1/k_2)(\lambda_1/\lambda_2)(1 - \exp(-kL))(P_1 - P_{th}), \quad (1)$$

где P — выходная мощность, P_1 — мощность накачки на входе в активный элемент, P_{th} — пороговая мощность излучения накачки на входе в активный элемент, V_1, V_2 — объем, который занимает излучение накачки и генерируемое излучение в активном элементе, k_1, k_2 — коэффициенты потерь излучения накачки и генерируемого излучения, λ_1, λ_2 — длины волн излучения накачки и генерируемого излучения.

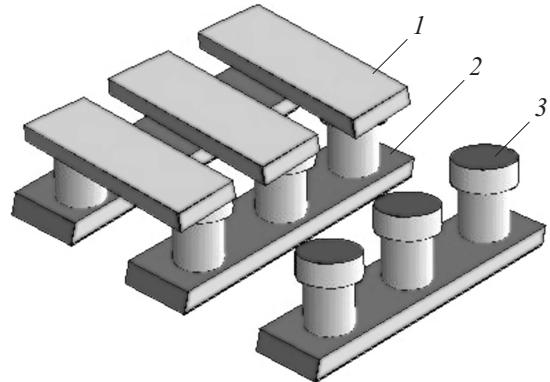


Рис. 1. Структура из пересекающихся нанопроводников: 1 — верхний ряд проводников, 2 — нижний ряд проводников, 3 — нелинейные электропроводящие элементы.

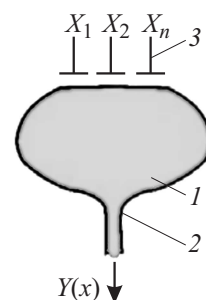


Рис. 2. Схема живого нейрона: мембрана тела нейрона (1), выходное волокно (аксон) и выходной сигнал (2), входы сигналов от нервных волокон с синапсами (3).

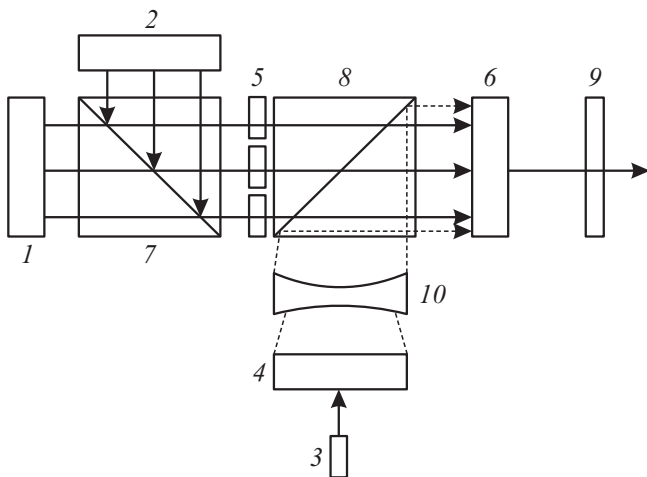


Рис. 3. Возможная схема экспериментальной установки, имитирующей работу нейрона: 1 — матрица InGaAs диодов, создающая распознаваемый образ; 2 — матрица InGaAs диодов, создающая эталонный образ; 3 — InGaAs диод накачки Eг : YAG лазера базовой накачки основного логического лазера; 4 — Eг : YAG лазер базовой накачки, который может использоваться для накачки нескольких нейристоров и их когерентной синхронизации; 5 — матрица Eг : YAG лазеров, осуществляющих нелинейное (пороговое) сложение двух входящих сигналов (элементов матриц 1 и 2); эти лазеры являются аналогами синапсов нейрона; 6 — основной логический лазер, аналог тела нейрона; 7, 8 — поляризационные кубики — линейные сумматоры сигналов; 9 — выходное зеркало; 10 — линза.

Таким образом, у квантового нейристора есть аналогия с матричным векторным процессором, а наиболее полным аналогом является голографический координатор [15]. Структура с пересекающимися нанопроводниками (рис. 1) в принципе пригодна для технического моделирования квантового нейристора. На первом этапе это может быть устройство для работы с матрицами, состоящими из нефазированных электрических или оптических сигналов. Однако в настоящее время еще не накоплено достаточно опыта для создания таких структур с оптически активными элементами.

Тем не менее базовые принципы работы квантового нейристора могут быть проверены не только на наноструктурах, но и на лазерах любого типа, например на хорошо освоенных YAG-лазерах с параллельной диодной накачкой [8]. Диоды могут обеспечить базовую накачку излучателя, создать матрицы эталонного образа и распознаваемого образа. При теоретическом анализе принципов работы такого устройства не следует пренебрегать низколежащими (фононными) энергетическими уровнями логического лазера [12,16], которые могут быть использованы для создания базовой когерентности аналогично фрелиховским биокослебаниям в живом нейроне. Конструкция прототипа квантового нейристора может быть рассчитана и теоретически обоснована. Примеры теоретических подходов и расчетов лазерных

устройств, в том числе YAG-лазеров разного назначения, приведены в работах [14,16].

В качестве примера экспериментальной установки рассмотрим возможную квантово-оптическую схему, показанную на рис. 3. В схеме (рис. 3) предлагается использовать кристаллы Eг : YAG, энергетические уровни и переходы в которых показаны на рис. 4. Базовую накачку основного кристалла нейристора 6 ниже порогового уровня P_{th} предлагается производить от такого же лазера на основной волне излучения $2.9 \mu\text{m}$. Это позволит от одного лазера базовой накачки 4 производить когерентную накачку нескольких параллельно работающих нейристоров. Для накачки этого лазера можно использовать InGaAs-диод с длиной волны 980 nm 3. Сигнал от распознаваемого образа и эталонный сигнал из памяти должны складываться нелинейно, т.е. только при их совпадении. Это свойство синапсов известно из физиологии и теории нейронных сетей [17]. Данная проблема решается применением матрицы кристаллов Eг : YAG 5, с накачкой матрицей InGaAs-диодов 1. Линеинное сложение сигналов от матриц 1 и 2 производится в поляризационных кубиках 7, 8 [8]. Размер матриц $n \times m$ зависит от технологических возможностей и сложности распознаваемых образов. Современные YAG-микролазеры при выходной мощности менее 0.1 mW могут иметь размеры, измеряемые миллиметрами.

Может производиться не только сравнение образов (фигур), но и любой совокупности сигналов, необходимых для принятия решений в системах автоматики.

Более детально структура распознавания образов мозгом изучена и описана Нобелевскими лауреатами Д. Хьюбелом и Т. Визелом [18]. В частности, они обнаружили в мозге колоночные структуры нейронов,

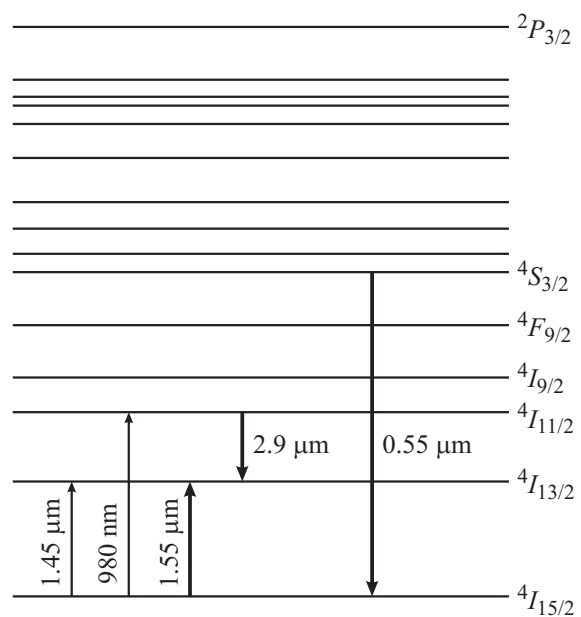


Рис. 4. Энергетические уровни и переходы в лазерном кристалле Eг : YAG (по данным www.sctic.ru).

ответственные за распознавание отдельных элементов воспринимаемых образов.

Создание квантового нейристора может быть полезно для более глубокого понимания работы мозга, развития нейросетевых компьютеров и создания искусственного интеллекта [19].

Список литературы

- [1] *Chen Y., Jung G.-Y., Ohlberg D.A.A., Li X., Stewart R.D., Jeppesen J.O., Nielsen K.A., Stoddart J.F.* // *Nanotechnology*. 2003. Vol. 14. P. 462–468.
- [2] *Borghetti J., Li Z., Straznicky J., Li X., Ohlberg D.A.A., Wu W., Stewart D.R., Williams R.S.* A hybrid nanomemristor/transistor logic circuit capable of self-programming. *PNAS (Proc. Natl. Acad. Sci. USA)*. 2009. Vol. 106. N 6. P. 1699–1703.
- [3] *Green J.E., Choi J.W., Boukai A., Bunimovich Y., Johnston-Halperin E., Delonno E., Luo Y., Sheriff B.A., Xu K., Shin Y.S., Tseng H.-R., Stoddart J.F., Heath J.R.* // *Nature*. 2007. Vol. 445. P. 414.
- [4] *Jo S.H., Chang T., Ebong I., Bhadviya B.B., Mazumder P., Lu W.* // *Nano Lett.* 2000. Vol. 10. P. 1297–1301.
- [5] *Kuzum D., Jeyasingh R.G.D., Lee B., Wong H.-S.P.* // *Nano Lett.* 2012. Vol. 12. P. 2179–2186.
- [6] *Yan H., Choe H.S., Nam S.W., Hu Y., Das S., Klemic J.F., Ellenbogen J.C., Lieber C.M.* // *Nature*. 2011. Vol. 470. P. 240–244.
- [7] *Григорьев С.Л.* // *ЖТФ*. 2002. Т. 72. Вып. 2. С. 16–19.
- [8] *Кравцов Н.В.* // *Квантовая электроника*. 2001. Т. 31. № 8. С. 661–677.
- [9] *Davidov A.S.* // *J. Theor. Biol.* 1977. Vol. 66. P. 379.
- [10] *Frohlich H.* *Biological Coherence and Response to External Stimuli* / Ed. by H. Frohlich. Springer-Verlag, 1988. P. 1–24.
- [11] *Del Giudice E., Doslia S., Milani M., Vitiello G.* *Biological Coherence and Response to External Stimuli*. Ed. by H. Frohlich. Springer-Verlag, 1988. P. 49–64.
- [12] *Stroscio M.A., Dutta M.* *Phonons in Nanostructures*. Cambridge Univ. Press, 2001.
- [13] *Trueblood K.H.* *Accurate Molecular structures. Their Determination and Importance* / Ed. by A. Domenicano, I. Hargittai. Oxford Univ. Press, 1992; Gramaccioli C.M. *ibid*; Jeffrey G.A., *ibid*.
- [14] *Ивашко А.М., Кисель В.Э., Ясюкевич А.С., Кулешов Н.В.* // *Приборы и методы измерений*. 2014. № 2. С. 17–20.
- [15] *Кухаркин Е.С.* *Электрофизика информационных систем: Учеб. пособие для вузов*. М.: Высш. школа, 2001.
- [16] *Петрушкин С.В., Самарцев В.В.* *Лазерное охлаждение твердых тел*. М.: Физматлит, 2005.
- [17] *Тарков М.С.* *Нейрокомпьютерные системы*. М.: Интернет-Ун-т инф. знаний БИНОМ, 2006.
- [18] *Hubel D.* *Eye, Brain, and Vision* / www.hubel.med.harvard.edu
- [19] *Grigor'ev S.L.* // *Int. J. Contemporary Applied Sciences*. 2016. N 9. P. 104–110.