(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2014 年 7 月 10 日 (10.07.2014)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2014/106351 A1

(51) 国际专利分类号:
G06G 7/60 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2013/070245

(22) 国际申请日: 2013 年 1 月 9 日 (09.01.2013)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201310001461.6 2013 年 1 月 4 日 (04.01.2013) CN

(71) 申请人: 华中科技大学 (HUA ZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。

(72) 发明人: 缪向水 (MIAO, Xiangshui); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 李祎 (LI, Yi); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 钟应鹏 (ZHONG, Yingpeng); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 许磊 (XU, Lei); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 孙华军 (SUN, Huajun); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。

(74) 代理人: 华中科技大学专利中心 (PATENT AGENCY CENTER OF HUST); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号东一楼 340, Hubei 430074 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:
— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

(54) Title: UNIT, DEVICE AND METHOD FOR SIMULATING NEURONE AND NEURONAL SYNAPSE OF BIONT

(54) 发明名称 : 一种模拟生物神经元和神经突触的单元、装置及方法

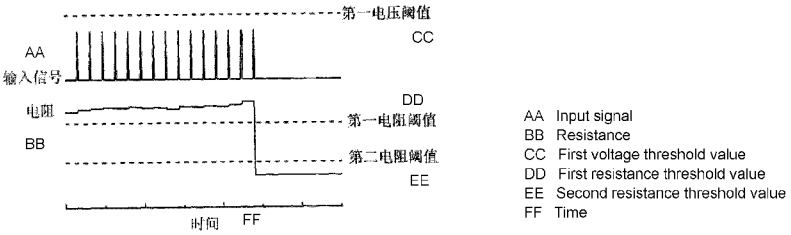


图 2（c）/Fig. 2（c）

(57) Abstract: Disclosed are a unit, device and method for simulating a neurone and neuronal synapse of a biont based on a chalcogenide compound. The unit comprises a first electrode layer, a functional material layer and a second electrode layer. When simulating a neurone, a device accepts the stimulation of one or more electrical pulses, the resistance of the functional material layer changes to a low impedance state from a high impedance state, and the simulated neurone changes to an excited state from a resting state, so that the functions of threshold value excitation and energy accumulation excitation are achieved; when simulating a neuronal synapse, the electrical conductance of the functional material layer of the device changes gradually according to input signals, so as to achieve the function of the weighting adjustment of the synapse; and the synapse weighting thereof is changed according to the time difference between signals input at the two ends, so as to achieve the function of spike timing-dependent synapse plasticity (STDP). The present invention can provide basic components forming an artificial neural network.

(57) 摘要: 本发明公开了一种基于硫系化合物的模拟生物神经元和神经突触的单元、装置及方法，该单元包括第一电极层、功能材料层和第二电极层。模拟神经元时，器件接受一个或多个电脉冲刺激，功能材料层的电阻从高阻态转变为低阻态，模拟神经元从一个静息态转变到激发态，实现阈值激发和能量累积激发功能。模拟神经突触时，器件功能材料层的电导能根据输入信号渐变，实现突触权重调节功能；以及根据两端输入信号的时间差改变其突触权重，实现脉冲时间依赖突触可塑性 STDP 功能。本发明能提供构成人工神经网络的基本元器件。

WO 2014/106351 A1

一种模拟生物神经元和神经突触的单元、装置及方法

【技术领域】

本发明属于微电子器件技术领域，更具体地，涉及一种模拟生物神经元和神经突触的单元、装置及方法。

【背景技术】

基于冯诺依曼架构的传统计算机中，处理器与存储器是分立的，以总线连接。这样的架构存在所谓的“冯诺依曼瓶颈”，难以适应信息呈爆炸式增长的信息技术飞速发展的当今时代。

相比于冯诺依曼计算机，人脑神经信息活动具有大规模并行、分布式存储与处理、自组织、自适应和自学习的特征。传统的人工神经网络、神经形态工程学等领域的研究人员也一直致力于利用非线性电路、FPGA、VLSI 等手段来模拟神经元电触发、突触可塑性等神经元突触的基本生物电特性以及更高级的模式识别、智能控制等认知功能。在这些方法中，仅模拟一个神经元、一个突触、一个学习模块就需要数十个晶体管、电容、加法器。然而，人的大脑中包括了多达~10^{11} 个神经元以及~10^{15} 个突触，神经元、突触之间的连接更是混沌的、无比复杂的。这种传统的神经形态工程办法对于模拟人类大脑，即使是小鼠大脑都是无能为力的，IBM 利用“蓝色基因”超级计算机使用了 147456 个处理器架构神经元网络来模拟猫的大脑皮层认知功能。如果能在纳米器件中实现神经元的信号处理，那么模拟整个大脑所需器件集成起来的芯片尺寸、功耗才能在可实现范围之内。

构建神经网络涉及神经元和神经突触设计和制备。中国发明名称为：模拟生物神经元信息处理机制的信息处理方法及装置，公开号为 CN101770560A 的专利申请文件中所示的装置是基于 CMOS 集成电路，用多个晶体管构成一个神经元，集成密度不高，而且不涉及具有学习能力的神经突触功能。中国发明名称为：仿神经元突触结构的柔性三极管，公开

号为 CN1670963A 的专利申请文件中所示的装置模拟神经元突触的结构，并没有实现神经元、神经突触的功能。

【发明内容】

针对现有技术的缺陷，本发明的目的在于提供能同时模拟生物神经元的功能和生物神经突触的功能的一种模拟神经元和神经突触的单元。

为实现上述目的，本发明提供了一种模拟生物神经元和神经突触的单元，包括第一电极层、与所述第一电极层连接的功能材料层，与所述功能材料层连接的第二电极层；所述第一电极层用于模拟突触后，所述第二电极层用于模拟突触前，所述功能材料层的材料为硫系化合物，所述功能材料层的电导用于模拟突触权重；通过给所述第一电极层施加第二脉冲信号来模拟突触后刺激，通过给所述第二电极层施加第一脉冲信号来模拟突触前刺激；所述功能材料层的电阻用于模拟生物神经元的激发态或静息态。

更进一步地，所述第一电极层用于接收外部的第二脉冲信号，所述第二电极层用于接收外部的第一脉冲信号；当所述第一脉冲信号的幅值与所述第二脉冲信号的幅值之间的差值为正或负时，所述功能材料层的电导发生改变实现了生物神经突触的突触权重调节功能的模拟；当所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为正或负时，所述功能材料层的电导发生改变实现了生物神经突触的脉冲时间依赖突触可塑性功能的模拟；当所述功能材料层的电阻从高阻态转换为低阻态实现了生物神经元阈值激发功能的模拟；当所述功能材料层的电阻从低阻态转变为高阻态实现了生物神经元从激发态恢复到静息态功能的模拟；当所述功能材料层的电阻从高阻态转变为低阻态的转变率增加实现了生物神经元的能量累积激发功能的模拟。

更进一步地，所述第一电极层和所述第二电极层的材料均为惰性导电金属。

更进一步地，所述第一电极层、所述功能材料层和所述第二电极层构

成三明治叠层结构、T 型结构、I 型结构或金字塔型结构。

本发明还提供了一种模拟生物神经元和神经突触的装置，包括多个阵列排布的神经突触单元以及与所述神经突触单元连接的控制器，所述神经突触单元为上述的单元。

更进一步地，所述控制器用于给所述第一电极层施加第二脉冲信号，给所述第二电极层施加第一脉冲信号，并控制所述第一脉冲信号幅值与所述第二脉冲信号幅值之间的差值为正或负，并通过控制所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的幅值大小来控制脉冲数目。

本发明还提供了一种模拟生物神经元和神经突触的方法，包括下述步骤：

在第一电极层上施加第二脉冲信号，在第二电极层上施加第一脉冲信号；

通过控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号使得所述功能材料层的电阻为高阻态转换为低阻态并模拟了生物神经元的阈值激发功能；

通过控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号使得所述功能材料层的电阻从低阻态恢复为高阻态并模拟了生物神经元从激发态恢复到静息态的功能；

通过控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的幅值大小来改变所述功能材料层的电阻从高阻态转变为低阻态所需的脉冲数目并模拟了生物神经元的能量累积激发功能；

通过控制所述第一脉冲信号的幅值与所述第二脉冲信号的幅值之间的差值的正或负来调节所述功能材料层的电导的变化并模拟生物神经突触的突触权重调节功能；

通过控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为正或负来调节所述功能材料层的电导的变化并模拟生物神经突触的脉冲时间依赖突触可塑性功能。

更进一步地，所述模拟生物神经元的阈值激发功能具体为：当所述功能材料层的电阻的阻值大于第一电阻阈值模拟了生物神经元的静息态功能；当所述功能材料层的电阻的阻值小于第二电阻阈值时，模拟了生物神经元的激发态功能。

更进一步地，所述模拟生物神经元的阈值激发功能步骤具体为：

通过控制所述第一脉冲信号的幅值与所述第二脉冲信号的幅值之间的差值大于第一电压阈值且小于第二电压阈值，使得所述功能材料层的电阻从高阻态转变为低阻态，模拟了生物神经元从静息态转变成激发态功能；

通过控制所述第一脉冲信号的幅值与所述第二脉冲信号的幅值之间的差值大于第二电压阈值，使得所述功能材料层的电阻从低阻态恢复为高阻态，模拟了生物神经元从激发态恢复到静息态功能。

更进一步地，所述模拟生物神经元的能量累积激发功能步骤具体为：

通过控制所述第一脉冲信号的幅值与所述第二脉冲信号的幅值之间的差值小于第一电压阈值，使得所述功能材料层的电阻保持高阻态；并通过减小所述第一脉冲信号的幅值与所述第二脉冲信号的幅值控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的脉冲数目增加，使得所述功能材料层的电阻从所述高阻态下降至所述第二电阻阈值，模拟了生物神经元的能量累积激发功能。

更进一步地，所述模拟生物神经突触的突触权重调节功能步骤具体为：

通过控制所述第一脉冲信号的幅值与所述第二脉冲信号的幅值之间的差值为正，使得所述功能材料层的电导减小，模拟了生物神经突触的突触权重下降功能；

通过控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的差值为负，使得所述功能材料层的电导增大，模拟了生物神经突触的突触权重上升功能。

更进一步地，所述模拟生物神经突触的突触权重调节功能步骤还包括：

通过控制所述第一脉冲信号的幅值与所述第二脉冲信号的幅值之间的

正差值的幅值增强，使得所述功能材料层的电导减小得越慢，模拟了生物神经突触的突触权重下降得越慢的功能；

通过控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的负差值的幅值增强，使得所述功能材料层的电导的增大得越快，模拟了生物神经突触的突触权重上升得越快的功能。

更进一步地，所述模拟生物神经突触的脉冲时间依赖突触可塑性功能步骤包括：

控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的时间差大于零并调整所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的形状，使得所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为负，所述功能材料层的电导增大，模拟了生物神经突触的突触权重增大的功能；

控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的时间差小于零并调整所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的形状，使得所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为正，所述功能材料层的电导减小，模拟了生物神经突触的突触权重较小的功能。

更进一步地，所述模拟生物神经突触的脉冲时间依赖突触可塑性功能步骤包括：

控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的时间差大于零并调整所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的形状，使得所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为正，所述功能材料层的电导减小，模拟了生物神经突触的突触权重减小的功能；

控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的时间差小于零并调整所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的形状，使得所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为负，所述功能材料层的电导增大，模拟了生物神经突触的突触权重增大的功能。

更进一步地，所述模拟生物神经突触的脉冲时间依赖突触可塑性功能

步骤包括：

控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的时间差的绝对值小于所述第二脉冲信号宽度的四分之一并调整所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的形状，使得所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为负， 所述功能材料层的电导增大，模拟了生物神经突触的突触权重增大的功能；

控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的时间差的绝对值大于等于所述第二脉冲信号宽度的四分之一并调整所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的形状，使得所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为正，所述功能材料层的电导减小，模拟了生物神经突触的突触权重减小的功能。

更进一步地，所述模拟生物神经突触的脉冲时间依赖突触可塑性功能步骤包括：

控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的时间差的绝对值小于所述第二脉冲信号宽度的二分之一并调整所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的形状，使得所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值大于所述第一脉冲信号的峰值，所述功能材料层的电导减小，模拟了生物神经突触的突触权重减小的功能；

控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的时间差的绝对值大于等于所述第二脉冲信号宽度的二分之一并调整所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的形状，使得所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为小于等于所述第一脉冲信号的峰值，所述功能材料层的电导不变，模拟了生物神经突触的突触权重不变的功能。

本发明提供的模拟生物神经元和神经突触的单元能很好的模拟生物神经元的阈值激发功能、从激发态恢复到静息态的功能和能量累积激发功能，以及生物神经突触的突触权重调节功能和脉冲时间依赖突触可塑性功能；

且在单一器件内同时实现神经元和神经突触的功能，为构建神经网络提供功耗低、尺寸小的基本元件。

【附图说明】

图 1 是本发明实施例提供的模拟生物神经元和神经突触的装置的结构示意图；

图 2（a）是本发明实施例 1 提供的模拟生物神经元和神经突触的单元的结构示意图；

图 2（b）是本发明实施例 1 提供的模拟生物神经元受激发和恢复静息测试；

图 2（c）、图 2（d）是本发明实施例 1 提供的模拟生物神经元受多个阈值下刺激受激发测试；

图 2（e）是本发明实施例 1 提供的模拟生物神经突触权重调节测试；

图 2（f）、图 2（g）是本发明实施例 1 提供的模拟生物神经突触奇对称Ⅰ型 STDP 功能测试；

图 2（h）、图 2（i）是本发明实施例 1 提供的模拟生物神经突触奇对称Ⅱ型 STDP 功能测试；

图 2（j）、图 2（k）是本发明实施例 1 提供的模拟生物神经突触偶对称Ⅰ STDP 功能测试；

图 2（l）、图 2（m）是本发明实施例 1 提供的模拟生物神经突触偶对称Ⅱ型 STDP 功能测试；

图 3（a）本发明实施例 2 提供的模拟生物神经元和神经突触的单元的结构示意图；

图 3（b）本发明实施例 2 提供的模拟生物神经元受激发和恢复静息测试；

图 3（c）本发明实施例 2 提供的模拟生物神经突触权重调节测试；

图 4（a）本发明实施例 3 提供的模拟生物神经元和神经突触单元的结

构示意图；

图 4（b）本发明实施例 3 提供的模拟神经元受激发和恢复静息测试；

图 4（c）本发明实施例 3 提供的模拟神经突触权重调节测试。

【具体实施方式】

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

本发明提供了一种基于硫系化合物的纳米器件，能够作为人工神经元以及人工神经突触应用于人工神经网络电路或认知存储技术。该器件作为人工神经元作用时，能模拟实现生物神经元的阈值激发功能；作为人工神经突触作用时，能模拟实现生物神经突触的突触可塑性调节功能。

硫系化合物作为一种存储介质，能够在外界施加的光脉冲、电脉冲作用下，在非晶态与晶态之间可逆转变，两态间的反射率差异和电阻率差异用于存储“0”和“1”，已被广泛成熟地研究于应用于相变光盘和相变随机存储器，具有非挥发性、操作速度快、功耗小、可靠性高和易于与 COMS 电路集成等优点。非晶态的硫系化合物所具有的能量累积阈值相变特性可以用来模拟神经元的阈值激发特性类似；硫系化合物随电脉冲刺激的阻值渐变特性又可以用来模拟神经突触的权重调节。

本发明的神经元器件能模拟生物神经元的功能，包括(1)该神经元能对多种不同的输入作出相应的响应；(2)对于超过阈值（0.5~3V）的输入，该神经元能受激发；(3)对于不超过阈值的输入，当多个不超过阈值的输入累积超过阈值时，该神经元能受激发；(4)该神经元能从激发态恢复到静息态。同时还能模拟生物神经突触的功能，包括(1)能调节突触的权重；(2)突触权重可根据突触前后脉冲的时间差改变，即实现脉冲时间依赖的可塑性(STDP)功能。

本发明实施例提供的模拟生物神经元和神经突触的单元包括第一电极

层、与所述第一电极层连接的功能材料层，与所述功能材料层连接的第二电极层；所述第一电极层用于模拟突触前，所述第二电极层用于模拟突触后，所述功能材料层的电导用于模拟突触权重；通过给所述第一电极层施加第二脉冲信号来模拟突触前刺激，通过给所述第二电极层施加第一脉冲信号来模拟突触后刺激；所述第一电极层用于接收外部的第二脉冲信号，所述第二电极层用于接收外部的第一脉冲信号；当所述第二脉冲信号的幅值与所述第一脉冲信号的幅值之间的差值为正或负时，所述功能材料层的电导发生改变实现了生物神经突触的突触权重调节功能的模拟；当所述第二脉冲信号与所述第一脉冲信号之间的信号差峰值为正或负时，所述功能材料层的电导发生改变实现了生物神经突触的脉冲时间依赖突触可塑性（STDP）功能的模拟；当所述功能材料层的电阻为高阻态或低阻态实现了生物神经元的阈值激发功能的模拟；当所述功能材料层的电阻从高阻态转变为低阻态或从低阻态恢复为高阻态实现了生物神经元从激发态恢复到静息态功能的模拟；当所述功能材料层的电阻从高阻态转变为低阻态的转变率增加实现了生物神经元的能量累积激发功能的模拟。

作为本发明的一个实施例，第一电极层和第二电极层的材料均为惰性导电金属，如铂（Pt）、钛钨（TiW）和钽（Ta）等；功能材料层的材料为硫系化合物，如 $Ge_2Sb_2Te_5$、Sb_2Te_3、GeTe、BiTe 和 AgInSbTe 等。由第一电极层、功能材料层和第二电极层构成的单元可以为三明治叠层结构、T 型结构、I 型结构或金字塔型结构。

在本发明实施例中，该神经元器件为一两端电阻器件，应该至少具有一个（高电阻态）静息态和一个（低电阻态）激发态。当该神经元从静息态转变为激发态时，通过该神经元器件的电流迅速增大，该神经元器件被激发。该神经元器件能一直保持高电阻，处于静息态，直到被施加一个能量足够大、超过阈值的电信号输入，该神经元转变到激发态。该神经元处于静息态，当被施加一个能量不超过阈值的电信号时，该神经元仍然保持

在静息态；当若干个如此的电信号作用于该神经元后，能量积累达到阈值，该神经元从静息态转变为激发态，电阻明显下降。该神经元处于在静息态，当被施加一系列能量相同，但均不超过阈值的电信号时，单个电信号能量越小，该神经元从静息态转变到激发态所需的电信号个数越多。该神经元器件能实现生物神经元的阈值激发功能，和能量累积激发功能。该神经突触器件具有多个阻态，其电阻值根据通过它的电流的方向而改变，正向电流使其电阻上升，反向电流使其电阻下降。但当电流小于一定阈值时，其电阻不发生变化。可以通过设计突触前后脉冲信号，实现四种STDP(spike-timing dependent plasticity 刺激时间依赖突触可塑性)功能。该神经突触器件能实现生物神经突触的权重调节功能和 STDP 功能。

在本发明实施例中，神经突触器件的第二电极是突触前，第一电极是突触后。施加在突触前的刺激信号为突触前刺激，施加在突触后的刺激信号为突触后刺激。Δt 为前后突触刺激的时间差，当前突触刺激先于后突触刺激，Δt>0；当前突触刺激后于后突出，Δt<0。突触权重 W=1/R，R 为神经突触器件的电阻，ΔW 为刺激作用前后，突触权重的改变量。

图 1 示出了本发明实施例提供的模拟生物神经元和神经突触的装置的结构，该装置包括多个阵列排布的神经突触单元以及与所述神经突触单元连接的控制器，神经突触单元为上述的单元，控制器用于给第一电极层施加第二脉冲信号，给第二电极层施加第一脉冲信号，并控制第二脉冲信号幅值与所述第一脉冲信号幅值之间的差值为正或负，控制第二脉冲信号与所述第一脉冲信号之间的信号差峰值为正或负；并控制第二脉冲信号和第一脉冲信号的脉冲数目。

为了更进一步地说明本发明实施例提供的模拟生物神经元和神经突触的单元，现以具体实例并结合附图详述如下：

图 2（a）示出了本发明实施例 1 提供的模拟生物神经元和神经突触的单元的结构；参考图 2（a），本发明提供的神经元器件包括第一电极 101、

第二电极 103 和第一电极 101 和第二电极 103 之间硫系化合物材料 102。第一电极 101 和硫系化合物材料 102、硫系化合物材料 102 和第二电极 103 形成电接触。其中第一电极 101 和第二电极 103 为钛钨（TiW），硫系化合物材料 102 为锗锑碲（$Ge_2Sb_2Te_5$）。

图 2（b）是示出根据本实施例的测试，实现神经元的阈值激发功能，以及从激发态恢复到静息态的功能。其中输入信号施加在第二电极 103 上，第一电极 101 接地，电阻 202 为第一电极 101 与第二电极 103 之间的电阻。

参考图 2（b），神经元器件的电阻至少包括两个态，第一个是非晶态高阻态，其电阻值大于第一电阻阈值（100kΩ），模拟神经元的静息态；第一个是晶态低阻态，其电阻值小于第二电阻阈值（10kΩ），模拟神经元的激发态。当输入的脉冲信号超过第一电压阈值（1V）而低于第二电压阈值（2V），如脉冲信号 201，电阻从高阻态转变成低阻态；当输入的脉冲信号超过第二阈值，如脉冲信号 202，电阻从低阻态转变成高阻态。神经元器件受到超过阈值的刺激，从静息态（高阻态）转变成激发态（低阻态），并且能从激发态（低阻态）恢复到静息态（高阻态），实现生物神经元阈值激发功能，和恢复静息态的功能。

图 2（c）和图 2（d）是示出根据本实施例的另一测试，实现神经元的能量积累激发功能。其中输入信号施加在第二电极 103 上，第一电极 101 接地，电阻为第一电极 101 与第二电极 103 之间的电阻。参考图 2（c），神经元器件原本处于静息态（高阻态），其电阻值大于第一电阻阈值。当输入的脉冲信号小于第一电压阈值时，神经元器件的电阻不会明显变化，能维持在高阻态。当小于第一电压阈值的脉冲信号达到一定数目后，神经元器件的电阻迅速下降至小于第二电阻阈值的低阻态，即能模拟神经元被激发。参考图 2（d），当输入的脉冲信号进一步减小时，使神经元器件从高阻态转变成低阻态所需的脉冲数目增加。实现生物神经元的能量累积激发功能。

图 2（e）是示出根据本实施例的另一测试，实现神经突触的突触权重

调节功能。其中输入信号施加在第二电极 103 上，第一电极 101 接地，电阻为第一电极 101 与第二电极 103 之间的电阻。参考图 2（e），表示神经突触权重的电阻有多个电阻值，能随输入信号而改变。当输入脉冲信号为正，电阻增大；当输入脉冲信号为负，电阻减小。正脉冲信号幅值越大，电阻越大；负脉冲信号越小，电阻越小。电阻增大即突触权重减小，电阻减小即突触权重增大。实现生物神经突触的突触权重调节功能。

图 2（f）和图 2（g）是示出根据本实施例的另一测试，实现神经突触奇对称 I 型 STDP 功能。其中突触前刺激信号施加在第二电极 103 上，突触后刺激信号施加在第一电极 101 上，突触前后信号差为第二电极 103 与第一电极 101 之间的信号差。参考图 2（f），当 $\Delta t>0$，突触前刺激与突触后刺激之差的峰值 301 为负，在此组突触前后刺激作用下，神经突触器件的电阻下降，突触权重上升。当 $\Delta t<0$，突触前刺激与突触后刺激之差的峰值 302 为正，在此组突触前后刺激作用下，神经突触器件的电阻上升，突触权重下降。参考图图 2（g），在突触前后刺激的共同作用下，当 $\Delta t>0$ 时，器件电阻下降，突触权重上升，$\Delta W>0$，并且 ΔW 随 Δt 指数衰减；当 $\Delta t<0$ 时，器件电阻上升，突触权重下降，$\Delta W<0$，并且 ΔW 随 Δt 指数衰减。实现生物神经突触奇对称 I 型 STDP 功能。

图 2（h）和图 2（i）是示出根据本实施例的另一测试，实现神经突触的奇对称 II 型 STDP 功能。其中突触前刺激信号施加在第二电极 103 上，突触后刺激信号施加在第一电极 101 上，突触前后信号差为第二电极 103 与第一电极 101 之间的信号差。参考图 2（h），当 $\Delta t>0$，突触前刺激与突触后刺激之差的峰值 303 为正，在此组突触前后刺激作用下，神经突触器件的电阻上升，突触权重下降。当 $\Delta t<0$，突触前刺激与突触后刺激之差的峰值 304 为负，在此组突触前后刺激作用下，神经突触器件的电阻下降，突触权重上升。参考图图 2（i），在突触前后刺激的共同作用下，当 $\Delta t>0$ 时，器件电阻上升，突触权重下降，$\Delta W<0$，并且 ΔW 随 Δt 指数衰减；当

Δt<0 时，器件电阻下降，突触权重上升，ΔW>0，并且 ΔW 随 Δt 指数衰减。实现生物神经突触的奇对称 II 型 STDP 功能。

图 2（j）和图 2（k）是示出根据本实施例的另一测试，实现神经突触的偶对称 I 型 STDP 功能。其中突触前刺激信号施加在第二电极 103 上，突触后刺激信号施加在第一电极 101 上，突触前后信号差为第二电极 103 与第一电极 101 之间的信号差。参考图 2（j），当 Δt 较大（Δt 的绝对值大于突触后刺激脉冲宽度的一半），突触前刺激与突触后刺激之差的峰值 305 为正，在此组突触前后刺激作用下，神经突触器件的电阻上升，突触权重下降。当 Δt 较小（Δt 的绝对值小于等于突触后刺激脉冲宽度的一半），突触前刺激与突触后刺激之差的峰值 306 为正，在此组突触前后刺激作用下，神经突触器件的电阻下降，突触权重上升。参考图图 2（k），在突触前后刺激的共同作用下，当 Δt 较大时时，器件电阻上升，突触权重下降，ΔW<0；当 Δt 较小时，器件电阻下降，突触权重上升，ΔW>0。并且 ΔW 随 Δt 呈垂直平移正态分布。实现生物神经突触偶对称 I 型 STDP 功能。

图 2（l）和图 2（m）是示出根据本实施例的另一测试，实现神经突触的偶对称 II 型 STDP 功能。其中突触前刺激信号施加在第二电极 103 上，突触后刺激信号施加在第一电极 101 上，突触前后信号差为第二电极 103 与第一电极 101 之间的信号差。参考图 2（l），当 Δt 较大（Δt 的绝对值大于突触后刺激脉冲宽度的四分之一），突触前刺激与突触后刺激之差的峰值 307 小于突触前刺激脉冲峰值的 1.5 倍，在此组突触前后刺激作用下，神经突触器件的电阻不变，突触权重不变。当 Δt 较小（Δt 的绝对值小于等于突触后刺激脉冲宽度的四分之一），突触前刺激与突触后刺激之差的峰值 308 大于突触前刺激脉冲峰值的 1.5 倍，在此组突触前后刺激作用下，神经突触器件的电阻上升，突触权重下降。参考图图 2（m），在突触前后刺激的共同作用下，当 Δt 较大时时，器件电阻不变，突触权重不变；当 Δt 较小时，器件电阻上升，突触权重下降，ΔW<0。并且 ΔW 随 Δt 呈负向正态分布。

实现生物神经突触偶对称Ⅱ型 STDP 功能。

图 3（a）示出了本发明实施例 2 提供的模拟生物神经元和神经突触的单元的结构；参考图 3（a），本发明的神经元器件包括第一电极 101、第二电极 103、绝缘层 104 和第一电极 101 和第二电极 103 之间硫系化合物材料 102 第一电极 101 和硫系化合物材料 102、硫系化合物材料 102 和第二电极 103 形成电接触。其中第一电极 101 和第二电极 103 为铂（Pt），硫系化合物材料 102 为碲化锗（GeTe），绝缘层 104 材料为二氧化硅（SiO_2）。器件结构呈 T 型。

图 3（b）是示出根据实施例 2 的测试，实现神经元的阈值激发功能，以及从激发态恢复到静息态的功能。其中输入信号施加在第二电极 103 上，第一电极 101 接地，电阻 202 为第一电极 101 与第二电极 103 之间的电阻。参考图 3（b），神经元器件的电阻至少包括两个态，第一个是非晶态高阻态，其电阻值大于第一电阻阈值（110kΩ），模拟神经元的静息态；第一个是晶态低阻态，其电阻值小于第二电阻阈值（11kΩ），模拟神经元的激发态。当输入的脉冲信号超过第一电压阈值（1.2V）而低于第二电压阈值（2.5V），如脉冲信号 501，电阻从高阻态转变成低阻态；当输入的脉冲信号超过第二电压阈值，如脉冲信号 502，电阻从低阻态转变成高阻态。神经元器件受到超过阈值的刺激，从静息态（高阻态）转变成激发态（低阻态），并且能从激发态（低阻态）恢复到静息态（高阻态），实现生物神经元阈值激发功能，和恢复静息态的功能。同理，本实施例 2 也能实现神经元的能量积累激发功能，在此不再赘述。

图 3（c）是示出根据实施例 2 的另一测试，实现神经突触的突触权重调节功能。其中输入信号施加在第二电极 103 上，第一电极 101 接地，电阻为第一电极 101 与第二电极 103 之间的电阻。参考图 3（c），表示神经突触权重的电阻有多个电阻值，能随输入信号而改变。当输入脉冲信号为正，电阻增大；当输入脉冲信号为负，电阻减小。正脉冲信号幅值越大，电阻

越大；负脉冲信号越小，电阻越小。电阻增大即突触权重减小，电阻减小即突触权重增大。实现生物神经突触的突触权重调节功能。同理，本实施例也能实现神经突触的 STDP 功能，在此不再赘述。

图 4（a）示出了本发明实施例 3 提供的模拟生物神经元和神经突触的的单元的结构；参考图 4（a），本发明的神经元器件包括第一电极 101、第二电极 103、绝缘层 104 和第一电极 101 和第二电极 103 之间硫系化合物材料 102 第一电极 101 和硫系化合物材料 102、硫系化合物材料 102 和第二电极 103 形成电接触。其中第一电极 101 和第二电极 103 为钽（Ta），硫系化合物材料 102 为碲化锑（Sb_2Te_3），绝缘层 104 材料为二氧化硅（SiO_2）。器件结构呈 I 型。

图 4（b）是示出根据实施例 3 的测试，实现神经元的阈值激发功能，以及从激发态恢复到静息态的功能。其中输入信号施加在第二电极 103 上，第一电极 101 接地，电阻 202 为第一电极 101 与第二电极 103 之间的电阻。参考图 4（b），神经元器件的电阻至少包括两个态，第一个是非晶态高阻态，其电阻值大于第一电阻阈值（90kΩ），模拟神经元的静息态；第一个是晶态低阻态，其电阻值小于第二电阻阈值（9kΩ），模拟神经元的激发态。当输入的脉冲信号超过第一电压阈值（0.8V）而低于第二电压阈值（1.5V），如脉冲信号 801，电阻从高阻态转变成低阻态；当输入的脉冲信号超过第二电压阈值，如脉冲信号 802，电阻从低阻态转变成高阻态。神经元器件受到超过阈值的刺激，从静息态（高阻态）转变成激发态（低阻态），并且能从激发态（低阻态）恢复到静息态（高阻态），实现生物神经元阈值激发功能，和恢复静息态的功能。同理，本实施例也能实现神经元的能量积累激发功能，在此不再赘述。

图 4（c）是示出根据实施例 3 的另一测试，实现神经突触的突触权重调节功能。其中输入信号施加在第二电极 103 上，第一电极 101 接地，电阻为第一电极 101 与第二电极 103 之间的电阻。参考图 4（c），表示神经突

触权重的电阻有多个电阻值，能随输入信号而改变。当输入脉冲信号为正，电阻增大；当输入脉冲信号为负，电阻减小。正脉冲信号幅值越大，电阻越大；负脉冲信号越小，电阻越小。电阻增大即突触权重减小，电阻减小即突触权重增大。实现生物神经突触的突触权重调节功能。同理，本实施例也能实现神经突触的 STDP 功能，在此不再赘述。

本发明实施例提供的模拟生物神经突触的单元还可以模拟神经突触的脉冲时间依赖突触可塑性功能的其它多种 STDP 功能，在此不再一一详述。

本发明提供的单元、装置和方法均能很好的模拟生物神经元的阈值激发功能、从激发态恢复到静息态的功能和能量累积激发功能，以及生物神经突触的突触权重调节功能和脉冲时间依赖突触可塑性功能。为了节省篇幅，在此不再一一穷举。

本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求

1、一种模拟生物神经元和神经突触的单元，其特征在于，包括第一电极层、与所述第一电极层连接的功能材料层，与所述功能材料层连接的第二电极层；

所述第一电极层用于模拟突触后，所述第二电极层用于模拟突触前，所述功能材料层的材料为硫系化合物，所述功能材料层的电导用于模拟突触权重；通过给所述第一电极层施加第二脉冲信号来模拟突触后刺激，通过给所述第二电极层施加第一脉冲信号来模拟突触前刺激；所述功能材料层的电阻用于模拟生物神经元的激发态或静息态。

2、如权利要求 1 所述的单元，其特征在于，所述第一电极层用于接收外部的第二脉冲信号，所述第二电极层用于接收外部的第一脉冲信号；当所述第一脉冲信号的幅值与所述第二脉冲信号的幅值之间的差值为正或负时，所述功能材料层的电导发生改变实现了生物神经突触的突触权重调节功能的模拟；当所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为正或负时，所述功能材料层的电导发生改变实现了生物神经突触的脉冲时间依赖突触可塑性功能的模拟；当所述功能材料层的电阻从高阻态转换为低阻态实现了生物神经元阈值激发功能的模拟；当所述功能材料层的电阻从低阻态转变为高阻态实现了生物神经元从激发态恢复到静息态功能的模拟；当所述功能材料层的电阻从高阻态转变为低阻态的转变率增加实现了生物神经元的能量累积激发功能的模拟。

3、如权利要求 1 所述的单元，其特征在于，所述第一电极层和所述第二电极层的材料均为惰性导电金属。

4、如权利要求 1 所述的单元，其特征在于，所述第一电极层、所述功能材料层和所述第二电极层构成三明治叠层结构、T 型结构、I 型结构或金字塔型结构。

5、一种模拟生物神经元和神经突触的装置，包括多个阵列排布的模拟生物神经元和神经突触的单元以及与其连接的控制器，其特征在于，所述模拟生物神经元和神经突触的单元为权利要求 1-4 任一项所述的单元。

6、如权利要求 5 所述的装置，其特征在于，所述控制器用于给所述第一电极层施加第二脉冲信号，给所述第二电极层施加第一脉冲信号，并控制所述第一脉冲信号幅值与所述第二脉冲信号幅值之间的差值为正或负，并通过控制所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的幅值大小来控制脉冲数目。

7、一种模拟生物神经元和神经突触的方法，其特征在于，包括下述步骤：

在第一电极层上施加第二脉冲信号，在第二电极层上施加第一脉冲信号；

通过控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号使得所述功能材料层的电阻为高阻态转换为低阻态并模拟了生物神经元的阈值激发功能；

通过控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号使得所述功能材料层的电阻从低阻态恢复为高阻态并模拟了生物神经元从激发态恢复到静息态的功能；

通过控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的幅值大小来改变所述功能材料层的电阻从高阻态转变为低阻态所需的脉冲数目并模拟了生物神经元的能量累积激发功能；

通过控制所述第一脉冲信号的幅值与所述第二脉冲信号的幅值之间的差值的正或负来调节所述功能材料层的电导的变化并模拟生物神经突触的突触权重调节功能；

通过控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为正或负来调节所述功能材料层的电导的变化并模拟生物神经突触的脉冲时间依赖突触可塑性功能。

8、如权利要求 7 所述的方法，其特征在于，所述模拟生物神经元的阈值激发功能具体为：当所述功能材料层的电阻的阻值大于第一电阻阈值模拟了生物神经元的静息态功能；当所述功能材料层的电阻的阻值小于第二电阻阈值时，模拟了生物神经元的激发态功能。

9、如权利要求 7 或 8 所述的方法，其特征在于，所述模拟生物神经元的阈值激发功能步骤具体为：

通过控制所述第一脉冲信号的幅值与所述第二脉冲信号的幅值之间的差值大于第一电压阈值且小于第二电压阈值，使得所述功能材料层的电阻从高阻态转变为低阻态，模拟了生物神经元从静息态转变成激发态功能；

通过控制所述第一脉冲信号的幅值与所述第二脉冲信号的幅值之间的差值大于第二电压阈值，使得所述功能材料层的电阻从低阻态恢复为高阻态，模拟了生物神经元从激发态恢复到静息态功能。

10、如权利要求 7 所述的方法，其特征在于，所述模拟生物神经元的能量累积激发功能步骤具体为：

通过控制所述第一脉冲信号的幅值与所述第二脉冲信号的幅值之间的差值小于第一电压阈值，使得所述功能材料层的电阻保持高阻态；并通过减小所述第一脉冲信号的幅值与所述第二脉冲信号的幅值控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的脉冲数目增加，使得所述功能材料层的电阻从所述高阻态下降至所述第二电阻阈值，模拟了生物神经元的能量累积激发功能。

11、如权利要求 7 所述的方法，其特征在于，所述模拟生物神经突触的突触权重调节功能步骤具体为：

通过控制所述第一脉冲信号的幅值与所述第二脉冲信号的幅值之间的差值为正，使得所述功能材料层的电导减小，模拟了生物神经突触的突触权重下降功能；

通过控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的差值为负，使

得所述功能材料层的电导增大，模拟了生物神经突触的突触权重上升功能。

12、如权利要求 11 所述的方法，其特征在于，所述模拟生物神经突触的突触权重调节功能步骤还包括：

通过控制所述第一脉冲信号的幅值与所述第二脉冲信号的幅值之间的正差值的幅值增强，使得所述功能材料层的电导减小得越慢，模拟了生物神经突触的突触权重下降得越慢的功能；

通过控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的负差值的幅值增强，使得所述功能材料层的电导的增大得越快，模拟了生物神经突触的突触权重上升得越快的功能。

13、如权利要求 7 所述的方法，其特征在于，所述模拟生物神经突触的脉冲时间依赖突触可塑性功能步骤包括：

控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的时间差大于零并调整所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的形状，使得所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为负，所述功能材料层的电导增大，模拟了生物神经突触的突触权重增大的功能；

控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的时间差小于零并调整所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的形状，使得所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为正，所述功能材料层的电导减小，模拟了生物神经突触的突触权重较小的功能。

14、如权利要求 7 所述的方法，其特征在于，所述模拟生物神经突触的脉冲时间依赖突触可塑性功能步骤包括：

控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的时间差大于零并调整所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的形状，使得所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为正，所述功能材料层的电导减小，模拟了生物神经突触的突触权重减小的功能；

控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的时间差小于零并调整所

述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的形状，使得所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为负，所述功能材料层的电导增大，模拟了生物神经突触的突触权重增大的功能。

15、如权利要求 7 所述的方法，其特征在于，所述模拟生物神经突触的脉冲时间依赖突触可塑性功能步骤包括：

控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的时间差的绝对值小于所述第二脉冲信号宽度的四分之一并调整所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的形状，使得所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为负， 所述功能材料层的电导增大，模拟了生物神经突触的突触权重增大的功能；

控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的时间差的绝对值大于等于所述第二脉冲信号宽度的四分之一并调整所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的形状，使得所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为正，所述功能材料层的电导减小，模拟了生物神经突触的突触权重减小的功能。

16、如权利要求 7 所述的方法，其特征在于，所述模拟生物神经突触的脉冲时间依赖突触可塑性功能步骤包括：

控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的时间差的绝对值小于所述第二脉冲信号宽度的二分之一并调整所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的形状，使得所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值大于所述第一脉冲信号的峰值，所述功能材料层的电导减小，模拟了生物神经突触的突触权重减小的功能；

控制所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号的时间差的绝对值大于等于所述第二脉冲信号宽度的二分之一并调整所述第一脉冲信号和所述第二脉冲信号的形状，使得所述第一脉冲信号与所述第二脉冲信号之间的信号差峰值为小于等于所述第一脉冲信号的峰值，所述功能材料层的电导不变，

模拟了生物神经突触的突触权重不变的功能。

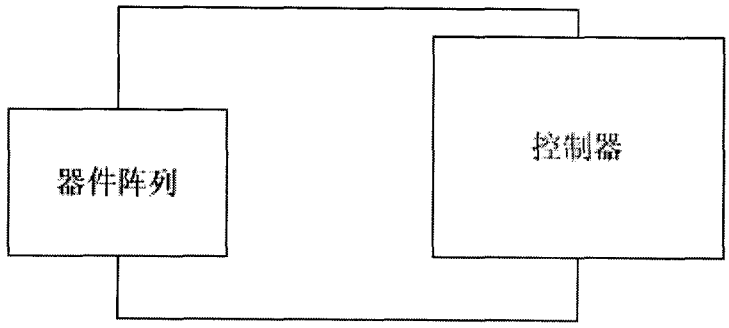

器件阵列
控制器

图 1

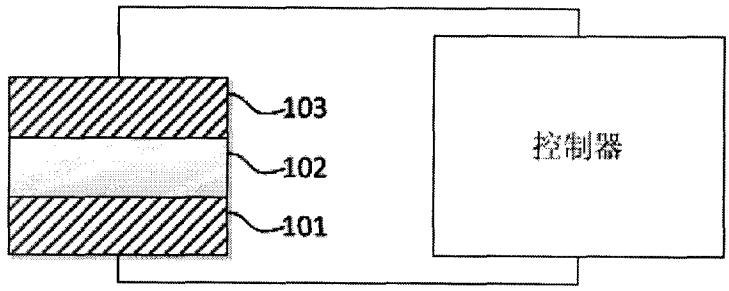

103
102
101
控制器

图 2（a）

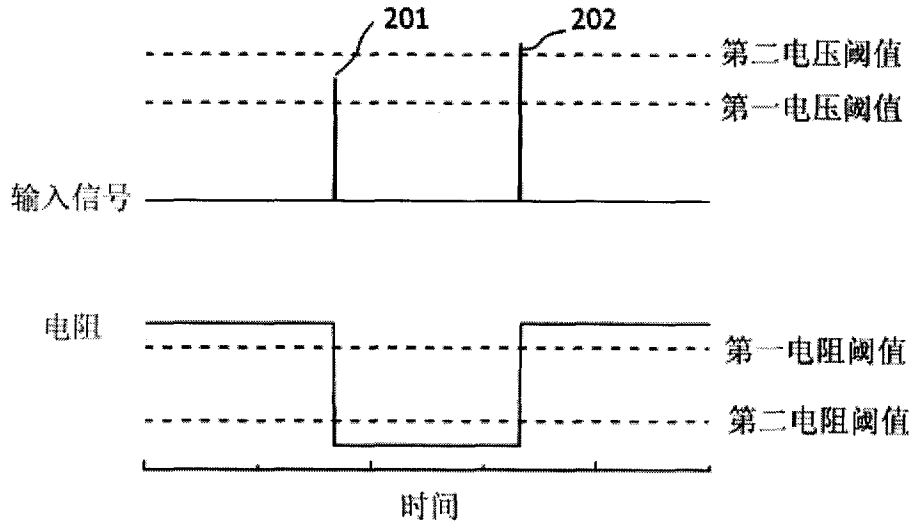

201
202
第二电压阈值
第一电压阈值
输入信号
电阻
第一电阻阈值
第二电阻阈值
时间

图 2（b）

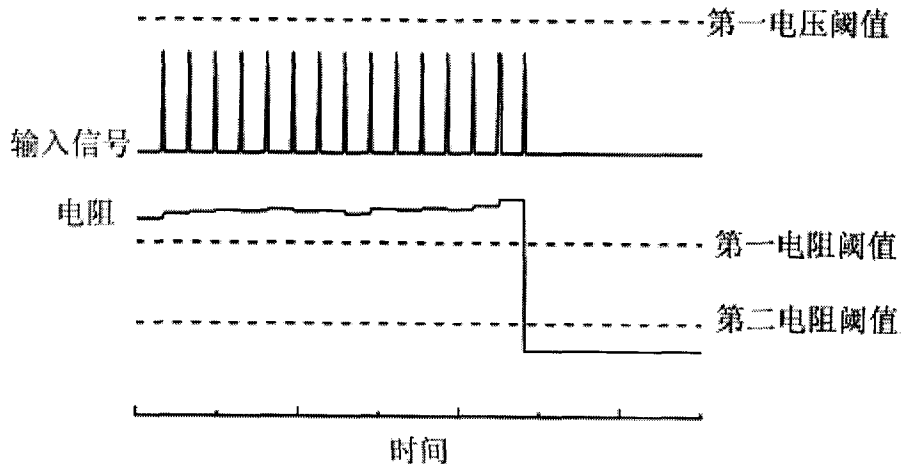

第一电压阈值
输入信号
电阻
第一电阻阈值
第二电阻阈值
时间

图 2（c）

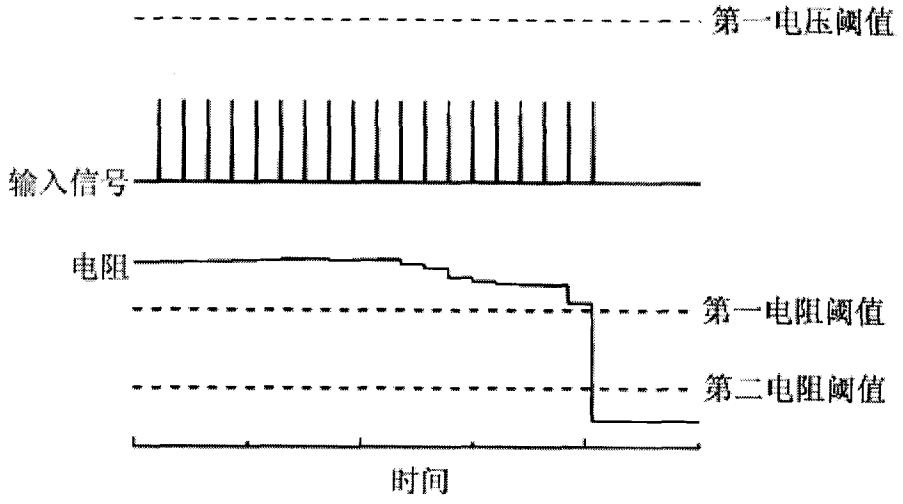

第一电压阈值
输入信号
电阻
第一电阻阈值
第二电阻阈值
时间

图 2（d）

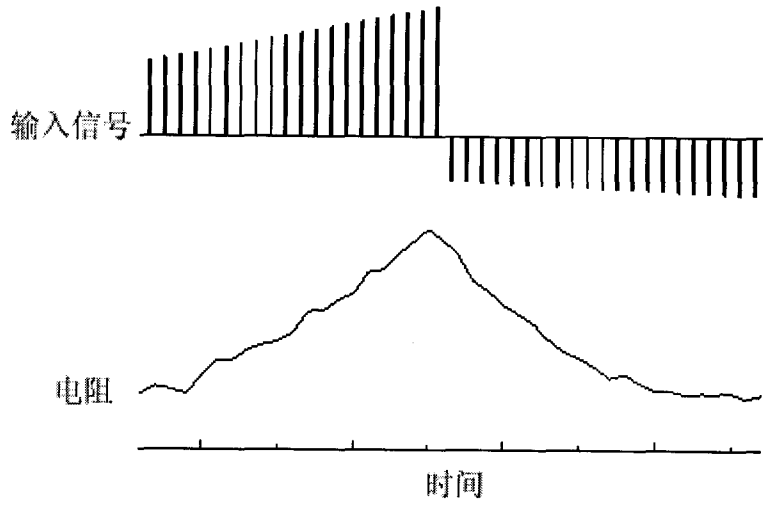


图 2（e）

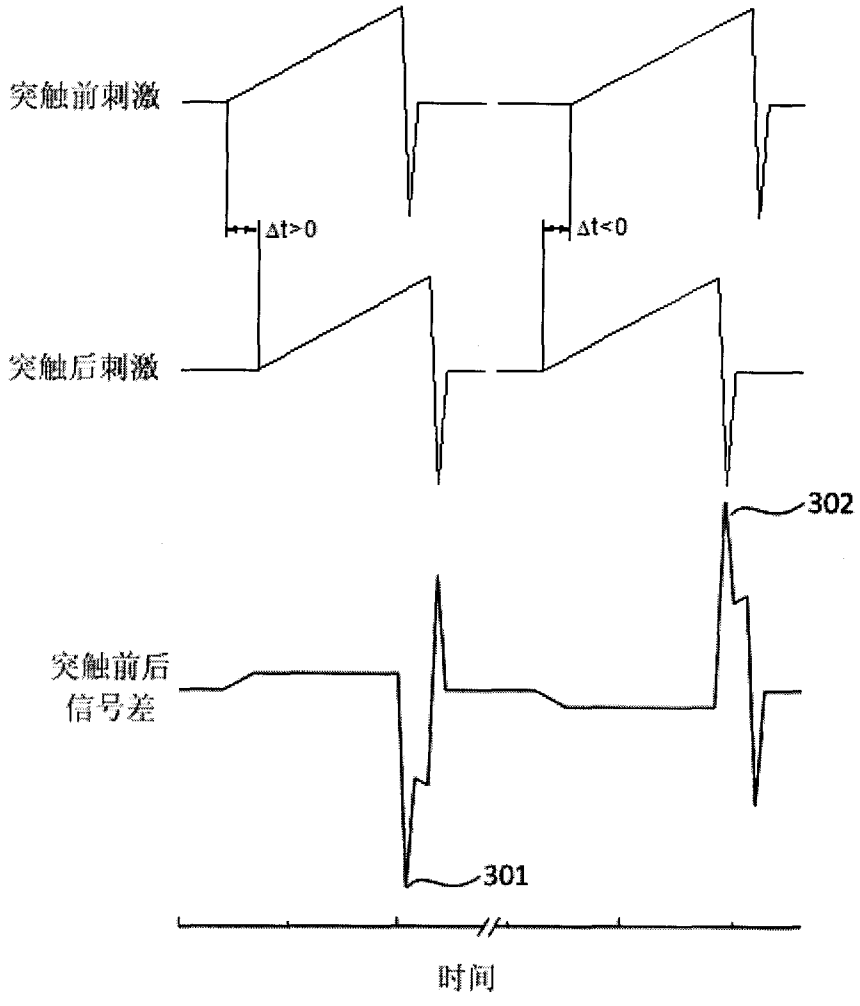


图 2（f）

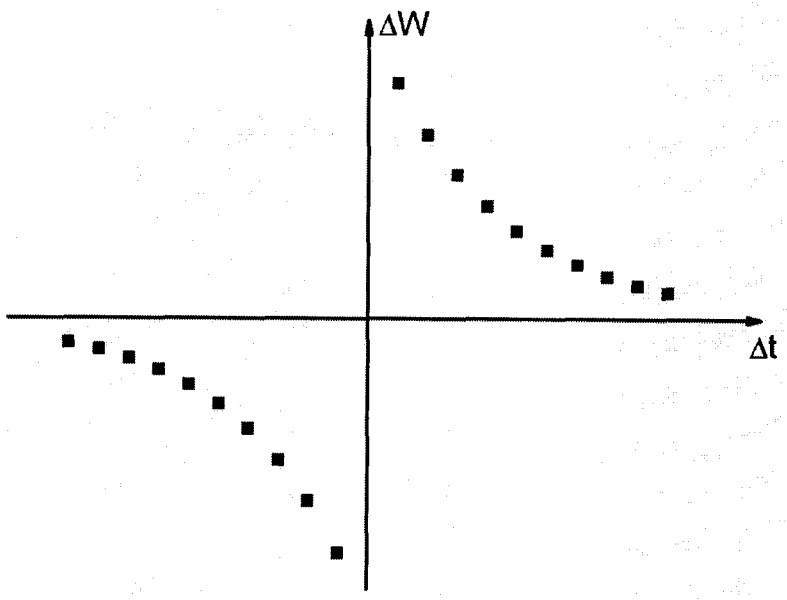


图 2（g）

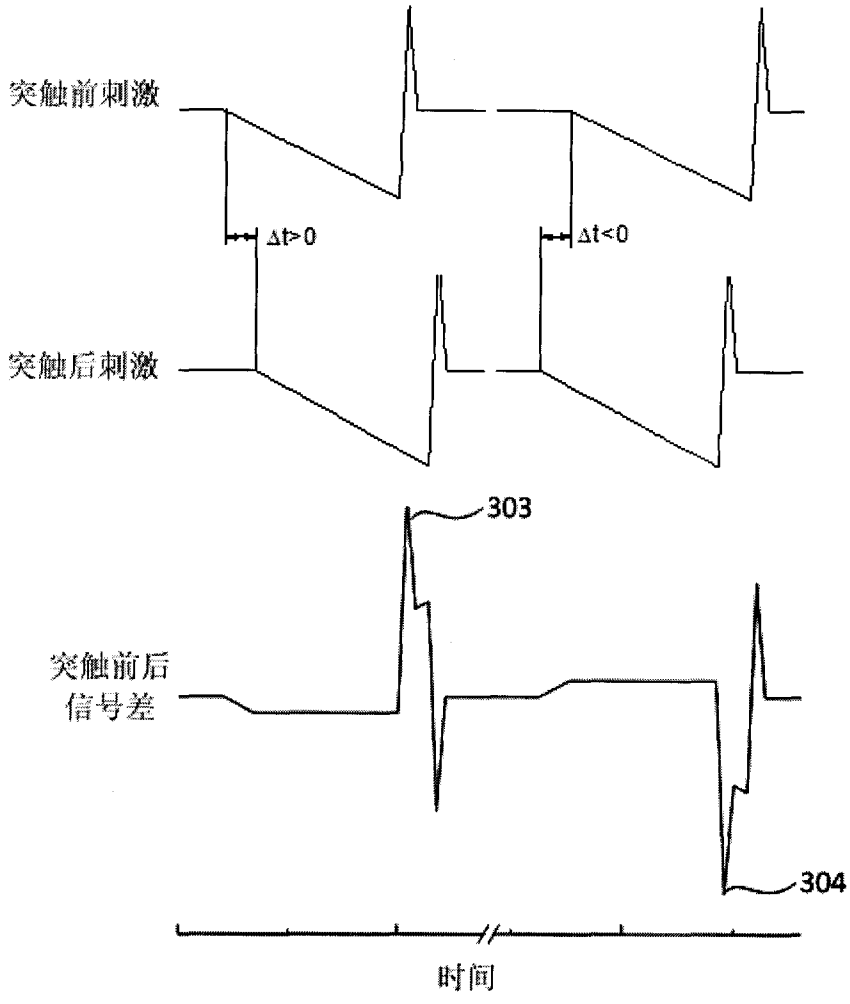


图 2（h）

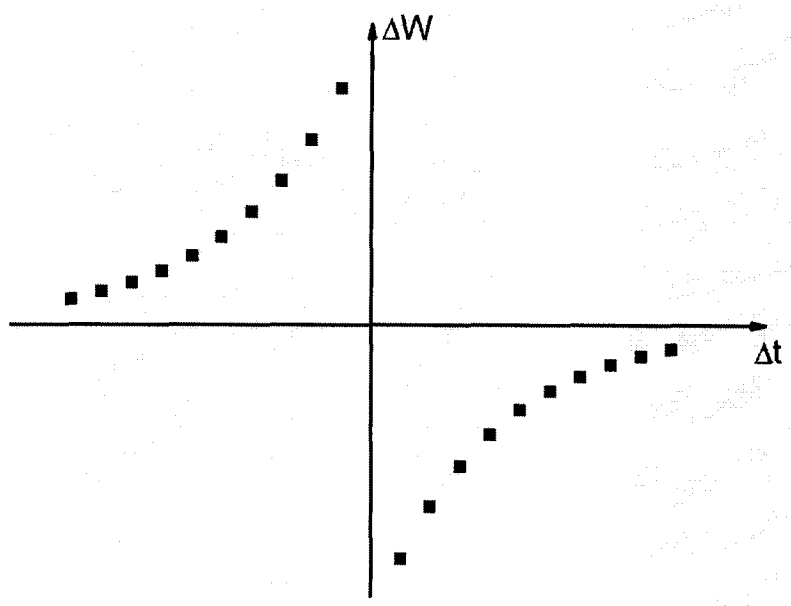


图 2（i）

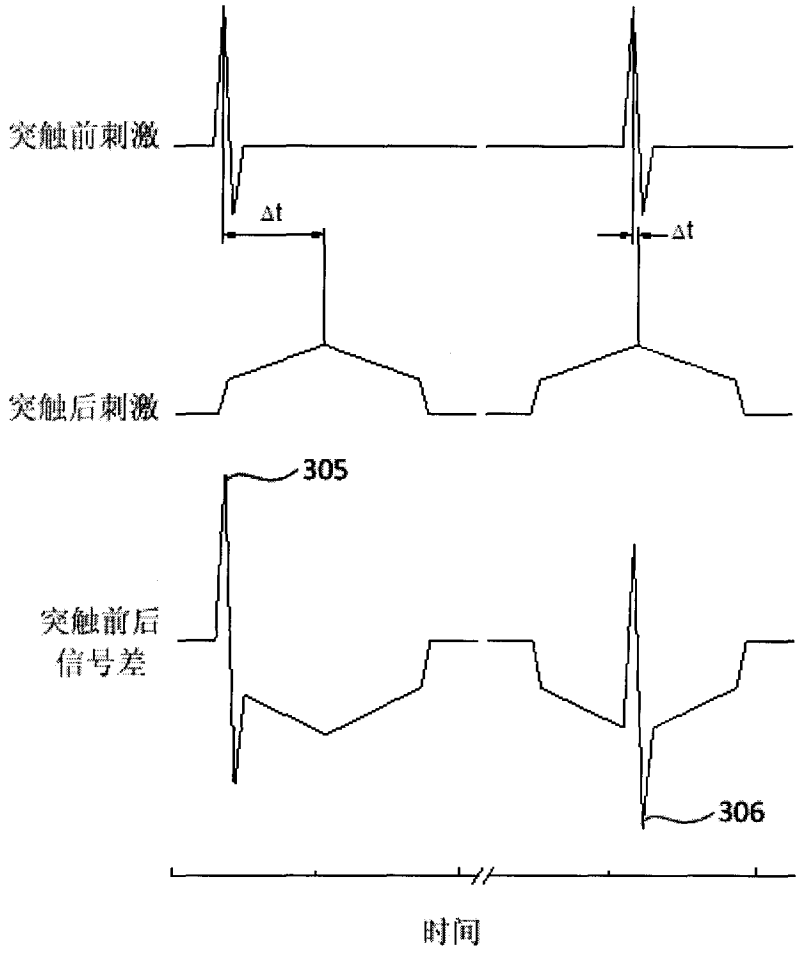


图 2（j）

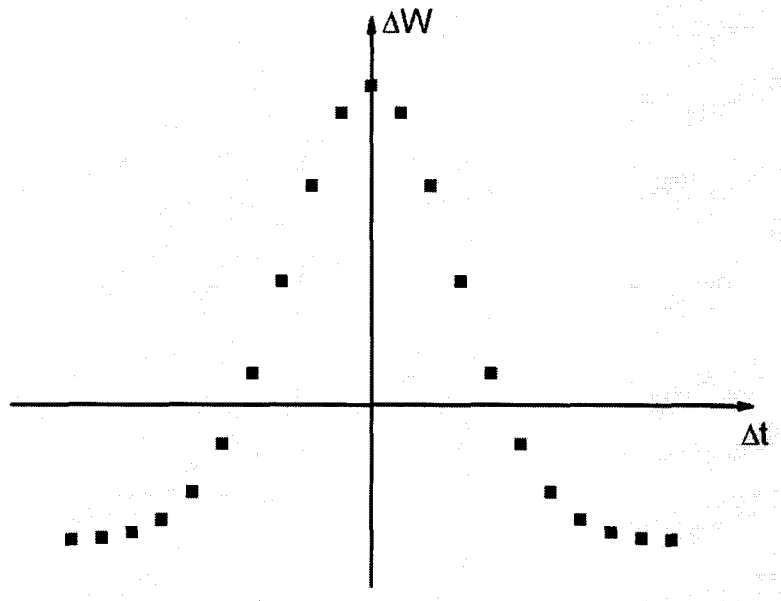


图 2（k）

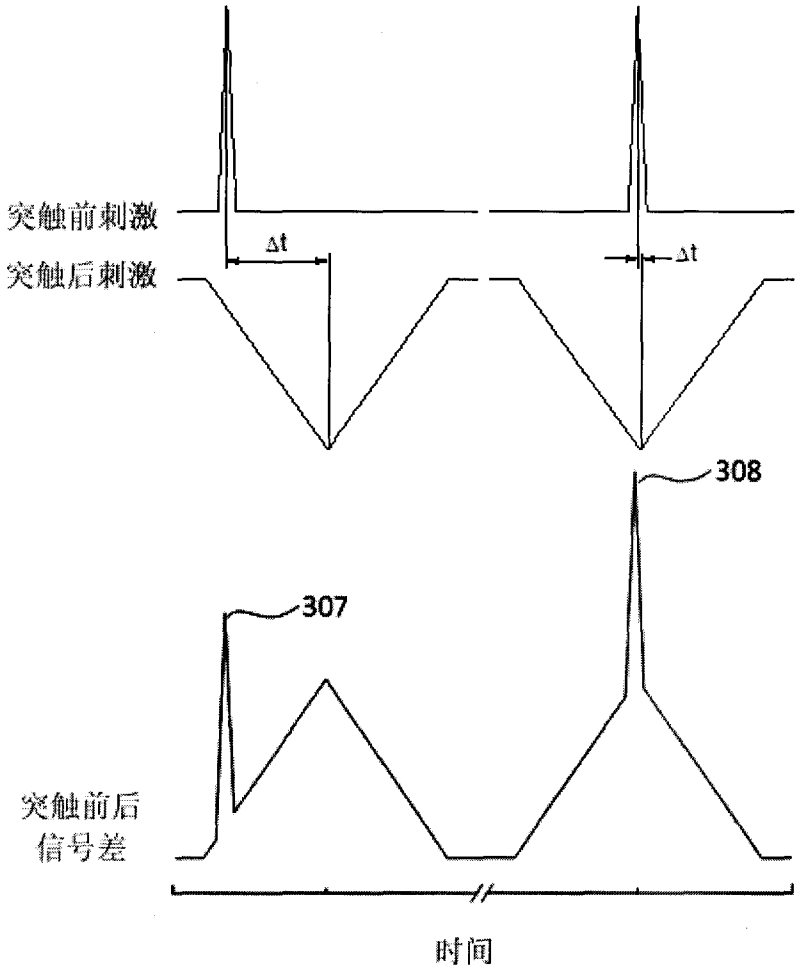


图 2（l）

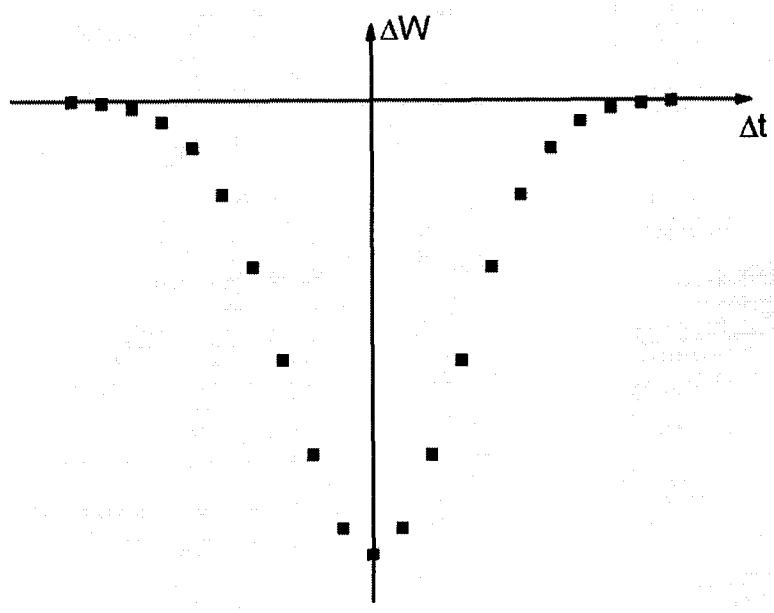

ΔW
Δt

图 2（m）

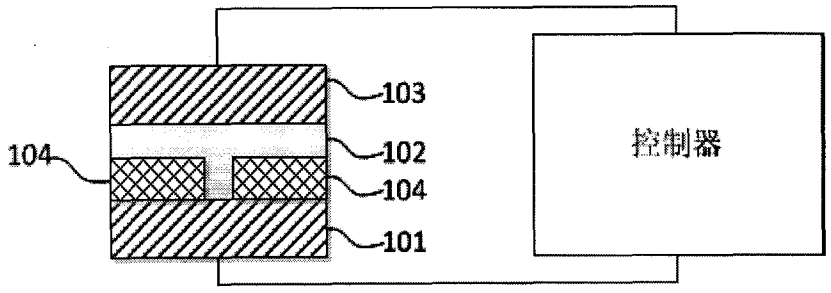

103
102
104
101
104
控制器

图 3（a）

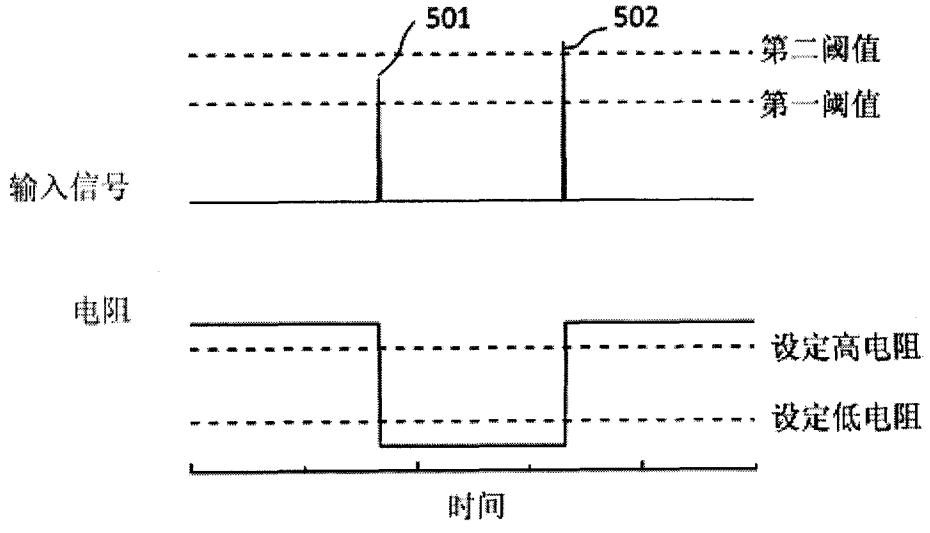

501
502
第二阈值
第一阈值
输入信号
电阻
设定高电阻
设定低电阻
时间

图 3（b）

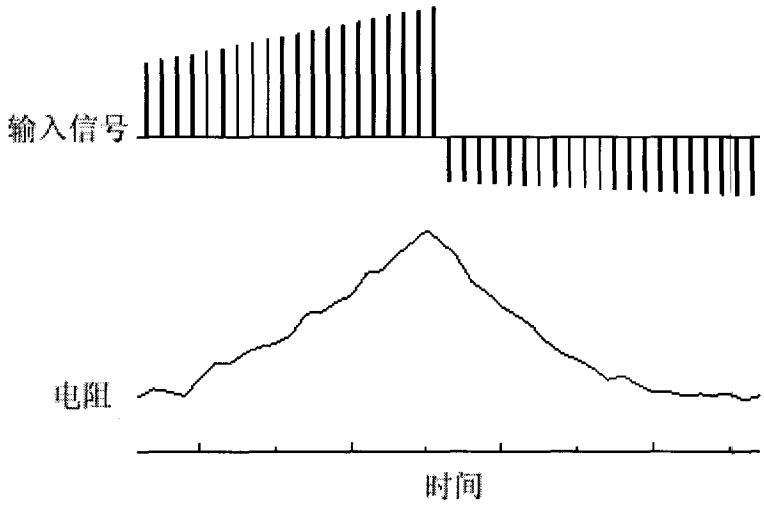

输入信号
电阻
时间

图 3（c）

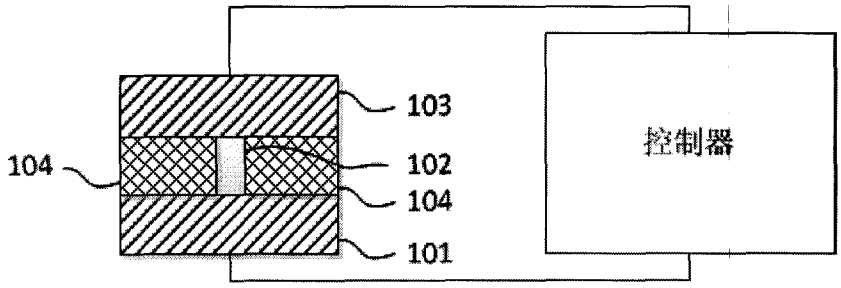

103
104
102
104
101
控制器

图 4（a）

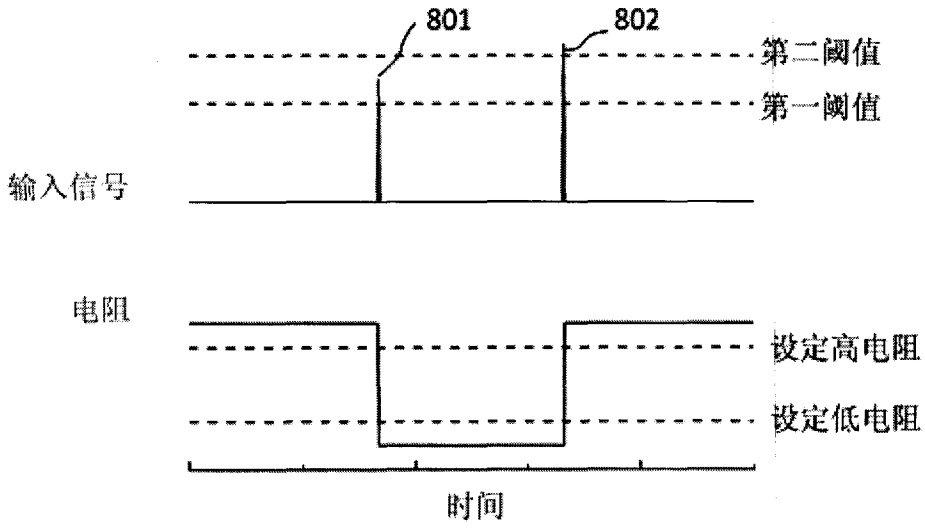

801
802
第二阈值
第一阈值
输入信号
电阻
设定高电阻
设定低电阻
时间

图 4（b）

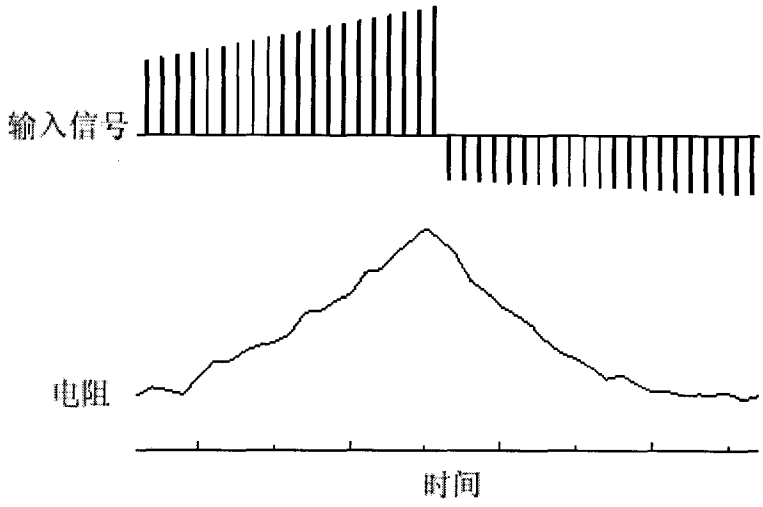


图 4（c）

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2013/070245

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06G 7/60 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G06G, H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNTXT, CNKI, USTXT, EPTXT, WOTXT, CATXT: presynaptic, postsynaptic, sulphur, neur??, pre, post, synaptic, electrode?, chalcogen

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6141241 A (ENERGY CONVERSION DEVICES INC.), 31 October 2000 (31.10.2000), description, column 5, line 11 to column 6, line 5, column 15, lines 11-19, column 17, line 60 to column 18, line 36, and column 21, lines 8-62, and figure 16	7-10
Y		1-6, 11-16
Y	US 2004153426 A1 (NUGENT, Alex), 05 August 2004 (05.08.2004), description, page 3, paragraphs 0027-0028 and 0037, page 21 paragraphs 0246 to 0251, and page 26, paragraph 0303 to page 27, paragraph 0309	1-6, 11-16
Y	CN 102185101 A (SONY CORPORATION), 14 September 2011 (14.09.2011), description, page 3, paragraphs 0036 to 0037, and page 5, paragraph 0045	3

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
04 July 2013 (04.07.2013)	**01 August 2013 (01.08.2013)**
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer **LIU, Shaopin** Telephone No.: (86-10) **62411888**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2013/070245

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
US 6141241 A	31.10.2000	WO 0062301 A1	19.10.2000
		EP 1104578 A1	06.06.2001
		KR 20010052795 A	25.06.2001
		RU 2216054 C2	10.11.2003
		DE 60037301 T2	27.11.2008
		KR 100636086 B1	18.10.2006
		DE 60037301 D1	17.01.2008
		TW 519640 B	01.02.2003
		BR 0006031 A	13.03.2001
		MX 2000011876 A1	01.11.2002
		EP 1104578 B1	05.12.2007
		AU 4081600 A	14.11.2000
		MX 221756 B	27.07.2004
		JP 2002541613 T	03.12.2002
US 2004153426 A1	05.08.2004	US 7392230 B2	24.06.2008
CN 102185101 A	14.09.2011	KR 20110085885 A	27.07.2011
		TW 201140582 A	16.11.2011
		JP 2011151085 A	04.08.2011
		US 2011175049 A1	21.07.2011

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2013/070245

A. 主题的分类

G06G 7/60 (2006.01) i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: G06G, H01L

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用）)

CNTXT, CNKI, USTXT, EPTXT, WOTXT, CATXT：神经，突触前，突触后，电极，硫，neur??, pre, post, synaptic, electrode?, chalcogen

C. 相关文件

类　型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
X	US 6141241 A（ENERGY CONVERSION DEVICES INC）31.10 月 2000（31.10.2000）说明书第 5 栏第 11 行至第 6 栏第 5 行、第 15 栏第 11 行至第 19 行、第 17 栏第 60 行至第 18 栏第 36 行、第 21 栏第 8 行至第 62 行，图 16	7-10
Y		1-6, 11-16
Y	US 2004153426 A1（NUGENT, Alex）05.8 月 2004（05.08.2004）说明书第 3 页第 0027 段至第 0028 段、第 0037 段、第 21 页第 0246 段至第 0251 段、第 26 页第 0303 段至第 27 页第 0309 段	1-6, 11-16
Y	CN 102185101 A（索尼公司）14.9 月 2011（14.09.2011）说明书第 3 页第 0036 段至第 0037 段、第 5 页第 0045 段	3

☐ 其余文件在 C 栏的续页中列出。　　☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
04.7 月 2013（04.07.2013）	**01.8 月 2013 (01.08.2013)**
ISA/CN 的名称和邮寄地址： 中华人民共和国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088 传真号：　(86-10)62019451	受权官员 刘邵频 电话号码：(86-10) **62411888**

国际检索报告

关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2013/070245

检索报告中引用的专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
US 6141241 A	31.10.2000	WO 0062301 A1	19.10.2000
		EP 1104578 A1	06.06.2001
		KR 20010052795 A	25.06.2001
		RU 2216054 C2	10.11.2003
		DE 60037301 T2	27.11.2008
		KR 100636086 B1	18.10.2006
		DE 60037301 D1	17.01.2008
		TW 519640 B	01.02.2003
		BR 0006031 A	13.03.2001
		MX 2000011876 A1	01.11.2002
		EP 1104578 B1	05.12.2007
		AU 4081600 A	14.11.2000
		MX 221756 B	27.07.2004
		JP 2002541613 T	03.12.2002
US 2004153426 A1	05.08.2004	US 7392230 B2	24.06.2008
CN 102185101 A	14.09.2011	KR 20110085885 A	27.07.2011
		TW 201140582 A	16.11.2011
		JP 2011151085 A	04.08.2011
		US 2011175049 A1	21.07.2011