



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114826233 A

(43) 申请公布日 2022. 07. 29

(21) 申请号 202210754299.4

(22) 申请日 2022.06.30

(71) 申请人 中国工程物理研究院流体物理研究所

地址 621000 四川省绵阳市绵山路64号

(72) 发明人 王凌云 袁建强 刘宏伟 谢卫平 栾崇彪 姜苹 李洪涛

(74) 专利代理机构 成都行之专利代理事务所 (普通合伙) 51220

专利代理师 林菲菲

(51) Int. Cl.

H03K 17/78 (2006.01)

H03K 17/795 (2006.01)

H03F 3/08 (2006.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图7页

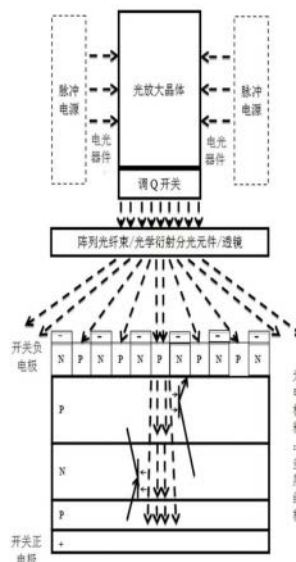
(54) 发明名称

光放大和电放大组合控制的高功率重频固态开关及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种光放大和电放大组合控制的高功率重频固态开关及方法,开关包括光脉冲单元、光放大器、光耦合器件和光电半导体结构;光电半导体结构为以光电效应材料为基底,在光电效应材料上制作多层掺杂结构;光脉冲单元用于向光放大器输出光脉冲信号;光放大器用于将光脉冲信号放大;光耦合器件用于将放大后的光脉冲信号整形扩散成阵列光脉冲信号输出至光电半导体结构;光电效应材料在光脉冲信号照射下产生光生载流子,光生载流子在多层掺杂结构中进行光致线性模式放大和/或场致非线性模式放大,实现高功率放大导通。本发明采用光放大和电放大结合控制的方式,使得开关器件获得高电压、大电流、快导通速度、高电荷转移量等优点。

CN 114826233 A



1. 一种光放大和电放大组合控制的高功率重频固态开关,其特征在于,包括:光脉冲单元、光放大器件、光耦合器件和光电半导体结构;

其中,所述光电半导体结构为以光电效应材料为基底,在光电效应材料上制作多层掺杂结构,以形成多个PNP结构和NPN结构,且PNP结构和NPN结构均没有电接触的基极;

所述光脉冲单元用于向所述光放大器件输出光脉冲信号;

所述光放大器件用于将所述光脉冲信号放大;

所述光耦合器件用于将放大后的光脉冲信号整形扩散成阵列光脉冲信号输出至所述光电半导体结构;

所述光电效应材料在光脉冲信号照射下产生光生载流子,光生载流子在多层掺杂结构中进行光致线性模式放大和/或场致非线性模式放大,实现高功率放大导通。

2. 根据权利要求1所述的一种光放大和电放大组合控制的高功率重频固态开关,其特征在于,所述光脉冲单元包括脉冲电源和电光转换器件;

所述脉冲电源用于将供电电源转换为高功率电源;

所述电光转换器件将高功率电源转换为光脉冲信号。

3. 根据权利要求2所述的一种光放大和电放大组合控制的高功率重频固态开关,其特征在于,所述脉冲电源为激光电源。

4. 根据权利要求2所述的一种光放大和电放大组合控制的高功率重频固态开关,其特征在于,所述电光转换器件为气体介质器件或固体介质器件。

5. 根据权利要求2所述的一种光放大和电放大组合控制的高功率重频固态开关,其特征在于,所述电光转换器件为氙灯或激光二极管。

6. 根据权利要求1所述的一种光放大和电放大组合控制的高功率重频固态开关,其特征在于,所述光放大器件为光放大晶体或光放大光纤。

7. 根据权利要求1所述的一种光放大和电放大组合控制的高功率重频固态开关,其特征在于,所述光耦合器为光学衍射分光元件、光学透镜或阵列光纤束。

8. 根据权利要求1所述的一种光放大和电放大组合控制的高功率重频固态开关,其特征在于,所述光电效应材料为硅、砷化镓、碳化硅或氮化镓。

9. 基于权利要求1-8任一项所述的一种光放大和电放大组合控制的高功率重频固态开关的工作方法,其特征在于,该方法包括:

将供电转换为光脉冲信号输出;

对光脉冲信号进行放大;

将放大后的光脉冲信号整形扩散成阵列光脉冲信号;

阵列光脉冲信号照射到光电效应材料中,产生光生载流子;

光生载流子在多层掺杂结构中进行光致线性模式放大和/或场致非线性模式放大,实现高功率放大导通。

10. 根据权利要求9所述的工作方法,其特征在于,光生载流子在多层掺杂结构中进行光致线性模式放大和/或场致非线性模式放大,具体包括:

开关导通初期,进行光致线性模式放大导通;

开关导通中期,进行光致线性模式和场致非线性模式混合放大导通;

开关导通后期,进行场致非线性模式放大导通;

所述光致线性模式放大导通为阵列光脉冲信号直接照射PNP结构的N区和NPN结构的P区,在对应区域进行快速放大导通;

所述场致非线性模式放大导通为已建立的正反馈机制在电场作用下,快速扩散导通。

光放大和电放大组合控制的高功率重频固态开关及方法

技术领域

[0001] 本发明属于高功率半导体开关技术领域,具体涉及一种光放大和电放大组合控制的高功率重频固态开关及方法。

背景技术

[0002] 在现有高功率开关技术中,可同时具备高电压、大电流、快导通速度、高电荷转移量、精确延迟时间能力的开关,只有气体类的开关,如氢闸流管、真空火花开关、气体开关等,但由于该类开关均有寿命限制,无法实现免维护使用;并且由于气体类开关的工作机制因素,开关有自击穿概率存在,即可能会发生偶发性自击导通的情况。

[0003] 已有的功率半导体开关技术中,开关器件无法同时具备高电压、大电流、快导通速度、高电荷转移量、精确延迟时间能力。目前比较常见的功率半导体开关器件包括IGBT、MOSFET、MCT、SGTO,难以同时实现峰值功率数十兆瓦(MW)时,电流变化率(di/dt)达到上百千安每微秒(kA/ μ s)。

[0004] 而砷化镓与碳化硅光导开关无法实现高电荷转移量等,电流也受到限制,一般难以突破10kA,导致脉冲宽度限制在百ns量级。硅光导开关可支持宽脉宽,但难以耐受长期加载直流电压。

发明内容

[0005] 为了克服现有开关技术存在的局限性,本发明提供了一种光放大和电放大组合控制的高功率重频固态开关。本发明采用光放大和电放大结合控制的方式,将开关器件的功率放大倍数进行多次交替,最后实现高功率放大倍数,使得开关器件获得高电压、大电流、快导通速度、高电荷转移量和精确延迟时间的优点。

[0006] 本发明通过下述技术方案实现:

一种光放大和电放大组合控制的高功率重频固态开关,包括:光脉冲单元、光放大器、光耦合器件和光电半导体结构;

其中,所述光电半导体结构为以光电效应材料为基底,在光电效应材料上制作多层掺杂结构,以形成多个PNP结构和NPN结构,且PNP结构和NPN结构均没有电接触的基极;

所述光脉冲单元用于向所述光放大器输出光脉冲信号;

所述光放大器用于将所述光脉冲信号放大;

所述光耦合器件用于将放大后的光脉冲信号整形扩散成阵列光脉冲信号输出至所述光电半导体结构;

所述光电效应材料在光脉冲信号照射下产生光生载流子,光生载流子在多层掺杂结构中进行光致线性模式放大和/或场致非线性模式放大,实现高功率放大导通。

[0007] 相较于现有的开关器件,本发明提出的新型开关器件,采用光放大和电放大结合控制的方式,其克服了现有开关器件存在的局限性,具备高电压、大电流、快导通速度、高电荷转移量、精确延迟时间等特点,适用范围广。

- [0008] 作为优选实施方式,本发明的光脉冲单元包括脉冲电源和电光转换器件;
所述脉冲电源用于将供电电源转换为高功率电源;
所述电光转换器件将高功率电源转换为光脉冲信号。
- [0009] 作为优选实施方式,本发明的脉冲电源为激光电源。
- [0010] 作为优选实施方式,本发明的电光转换器件为气体介质器件或固体介质器件。
- [0011] 作为优选实施方式,本发明的电光转换器件为氙灯或激光二极管。
- [0012] 作为优选实施方式,本发明的光放大器件为光放大晶体或光放大光纤。
- [0013] 作为优选实施方式,本发明的光耦合器为光学衍射分光元件、光学透镜或阵列光纤束。
- [0014] 作为优选实施方式,本发明的光电效应材料为硅、砷化镓、碳化硅或氮化镓。
- [0015] 第二方面,本发明提出了基于上述高功率重频固态开关的工作方法,该方法包括:
将供电转换为光脉冲信号输出;
对光脉冲信号进行放大;
将放大后的光脉冲信号整形扩散成阵列光脉冲信号;
阵列光脉冲信号照射到光电效应材料中,产生光生载流子;
光生载流子在多层掺杂结构中进行光致线性模式放大和/或场致非线性模式放大,实现高功率放大导通。
- [0016] 作为优选实施方式,本发明的光生载流子在多层掺杂结构中进行光致线性模式放大和/或场致非线性模式放大,具体包括:
开关导通初期,进行光致线性模式放大导通;
开关导通中期,进行光致线性模式和场致非线性模式混合放大导通;
开关导通后期,进行场致非线性模式放大导通;
所述光致线性模式放大导通为阵列光脉冲信号直接照射PNP结构的N区和NPN结构的P区,在对应区域进行快速放大导通;
所述场致非线性模式放大导通为已建立的正反馈机制在电场作用下,快速扩散导通。
- [0017] 本发明具有如下的优点和有益效果:
本发明提供的高功率重频固态开关是一种用于高功率脉冲产生的新型开关器件,能够获得高电压、大电流、快前沿、高重复频率的脉冲输出。
- [0018] 本发明提供的高功率重频固态开关器件的工作电压可达到0~30kV,工作电流可达到0~200kA,电流变化率(di/dt)超过400kA/ μ s,重复频率可达到0~10kHz。
- [0019] 本发明提供的高功率重频固态开关器件特别适用于大电流快前沿的脉冲功率产生中,可替代气体开关、气体触发管、氢闸流管、灭火花开关、串联MOSFET、FID、SOS、PCSS光导开关等。

附图说明

[0020] 此处所说明的附图用来提供对本发明实施例的进一步理解,构成本申请的一部分,并不构成对本发明实施例的限定。在附图中:

图1为本发明实施例的开关原理框图。

- [0021] 图2为本发明实施例的开关工作流程示意图。
- [0022] 图3为本发明实施例的开关工作流程示例一。
- [0023] 图4为本发明实施例的开关工作流程示例二。
- [0024] 图5为本发明实施例的开关示例一的测试效果图。
- [0025] 图6为本发明实施例的开关示例二的测试效果图。
- [0026] 图7为本发明实施例的开关示例三的测试效果图。

具体实施方式

[0027] 在下文中,可在本发明的各种实施例中使用的术语“包括”或“可包括”指示所发明的功能、操作或元件的存在,并且不限制一个或更多个功能、操作或元件的增加。此外,如在本发明的各种实施例中所使用,术语“包括”、“具有”及其同源词仅意在表示特定特征、数字、步骤、操作、元件、组件或前述项的组合,并且不应被理解为首先排除一个或更多个其它特征、数字、步骤、操作、元件、组件或前述项的组合的存在或增加一个或更多个特征、数字、步骤、操作、元件、组件或前述项的组合的可能性。

[0028] 在本发明的各种实施例中,表述“或”或“A或/和B中的至少一个”包括同时列出的文字的任何组合或所有组合。例如,表述“A或B”或“A或/和B中的至少一个”可包括A、可包括B或可包括A和B二者。

[0029] 在本发明的各种实施例中使用的表述(诸如“第一”、“第二”等)可修饰在各种实施例中的各种组成元件,不过可不限制相应组成元件。例如,以上表述并不限制所述元件的顺序和/或重要性。以上表述仅用于将一个元件与其它元件区别开的目的。例如,第一用户装置和第二用户装置指示不同用户装置,尽管二者都是用户装置。例如,在不脱离本发明的各种实施例的范围的情况下,第一元件可被称为第二元件,同样地,第二元件也可被称为第一元件。

[0030] 应注意到:如果描述将一个组成元件“连接”到另一组成元件,则可将第一组成元件直接连接到第二组成元件,并且可在第一组成元件和第二组成元件之间“连接”第三组成元件。相反地,当将一个组成元件“直接连接”到另一组成元件时,可理解为在第一组成元件和第二组成元件之间不存在第三组成元件。

[0031] 在本发明的各种实施例中使用的术语仅用于描述特定实施例的目的并且并非意在限制本发明的各种实施例。如在此所使用,单数形式意在也包括复数形式,除非上下文清楚地另有指示。除非另有限定,否则在这里使用的所有术语(包括技术术语和科学术语)具有与本发明的各种实施例所属领域普通技术人员通常理解的含义相同的含义。所述术语(诸如在一般使用的词典中限定的术语)将被解释为具有与在相关技术领域中的语境含义相同的含义并且将不被解释为具有理想化的含义或过于正式的含义,除非在本发明的各种实施例中被清楚地限定。

[0032] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,下面结合实施例和附图,对本发明作进一步的详细说明,本发明的示意性实施方式及其说明仅用于解释本发明,并不作为对本发明的限定。

[0033] 实施例1

为了解决现有开关器件存在的局限性,例如,气体开关器件存在重复频率不足、可

靠性较低、寿命较短等缺点,功率半导体开关器件存在导通速度较慢等缺陷,光导开关器件存在电流较小、电荷转移量小等缺陷。本实施例提供了一种光放大和电放大组合控制的高功率重频固态开关,其采用光放电和电放大结合控制的方式,能够将器件的功率放大倍数进行多次交替放大,最后实现高功率放大倍数,使得开关器件获得高电压、大电流、快导通速度、高电荷转移量、精确延迟时间的优点。

[0034] 如图1所示,本实施例的高功率重频固态开关主要包括脉冲电源、电光转换器件、光放大器、光耦合器件和光电半导体结构。

[0035] 其中,脉冲电源用于提供高功率电源。其可以是高压预燃类电源、也可以是恒流低压电源、也可以是激光电源等,将供电转换为更高的功率,实现初始的电功率放大。本发明实施例中图示以激光电源为例,但不对此进行限制。

[0036] 电光转换器件用于将脉冲电源输出的初始电功率转换为光脉冲信号。其可以是气体介质类器件、也可以是固体介质类器件等;例如,氙灯、激光二极管等,将初始的电功率转换为光,一般为高能级的光脉冲。

[0037] 光放大器用于将电光转换器件输出的光脉冲信号进行放大。其可以是光放大晶体,也可以是光放大光纤等;将光脉冲信号进行压缩放大,之后以主动或被动调Q方式输出。本发明实施例中图示以光放大晶体为例进行说明,但不对此进行限制。

[0038] 光耦合器对光放大器输出的光脉冲信号进行整形或者直接自然扩散成特定的光斑形状,一般扩散成多个光斑,形成大面积光斑阵列,以空间耦合或光纤耦合的方式进行输出。光耦合器可以是阵列光纤束、光学衍射分光元件、透镜等。

[0039] 光电半导体结构为多元胞多门级结构,其基底为光电效应材料,光电效应材料可以是硅材料,也可以是砷化镓、碳化硅、氮化镓等材料,光耦合器件输出的阵列光脉冲照射光电效应材料,在多个光电效应区域,大面积、多结深产生光生载流子,并且具有一定的浓度,达到直接光致线性放大导通模式。

[0040] 在光电效应材料上制作有多层掺杂结构,以形成多个NPN结构和PNP结构,也可以称之为P-N-P-N结构,与传统功率半导体器件不同的是,该多层掺杂结构中的NPN结构与PNP结构均没有电接触的基极。光耦合器件耦合输出的阵列光脉冲信号可直接照射到NPN结构与PNP结构的P区与N区,在对应区域进行直接快速放大,这一过程可描述为光致线性放大导通模式;当光脉冲逐渐消失过程中,在外加电场作用下,光生载流子与已建立的正反馈机制共同作用,使器件维持导通,光生载流子进一步扩散;当光脉冲完全消失后,光直接生产的载流子消失后,建立起来的正反馈机制在电场的作用下,载流子向周边区域输运,形成大面积完全导通,放大倍数得以维持,导通电阻进一步减小,这一过程可描述为场致非线性放大导通模式。整个过程经历早期的光致线性放大导通模式、晚期的场致非线性放大导通模式以及中期的混合放大导通模式。

[0041] 如图2所示,本实施例的高功率重频固态开关的工作过程具体为:

将供电转换为一个高电压、大电流脉冲;

通过电光转换器件将电功率转换为光脉冲信号;

光脉冲信号在光放大器中进行放大,产生放大的光功率;

放大后的光经光耦合器器件耦合输出,照射光电效应材料,产生初始浓度较高的光生载流子,将光功率转换至电功率;

光生载流子在P-N-P-N结构中进行光致线性放大导通模式和/或场致线性放大导通模式,获得更高的电功率。

[0042] 本实施例的高功率重频固态开关能够实现全新的工作机制:

开关导通初期,高电流变化率(di/dt)阶段,光致线性放大导通模式:基于前级光放大的基础,光脉冲直接照射光电效应材料,产生快速的光电效应,形成大量均匀分布的光生载流子,进入光致线性放大导通模式。

[0043] 开关导通后期,大电流持续导通阶段,场致非线性模式:基于已有的光生载流子分布,在高电场的作用下,迅速扩散倍增,大面积均匀导通,进入场致非线性放大导通模式。

[0044] 开关导通中期,光致线性放大导通模式与场致非线性放大导通模式共同作用,使开关具有更高的功率放大倍数。

[0045] 本发明实施例提出的高功率重频固态开关相较于现有开关器件,具备如下表1所示的特性。

[0046] 表1

优点/特性	高电 流变 化率	高重 复频 率	长 寿 命	大 电 流	高 电 压	高电 荷转 移量	精确 延迟 时间	抗强 电磁 干扰
本发明实施例提出的新型开关器件	+	+	+	+	+	+	+	+
IGBT	-	+	+	+	+	+	-	-
MOSFET	+	+	+	-	-	+	-	-
MCT	+	-	+	+	+	+	+	-
SGTO	+	-	+	+	+	+	+	-
光导开关	+	+	+	-	+	-	+	+
气体开关	+	-	-	+	+	-	+	+
氢气闸流管	+	+	-	+	+	-	+	+
真空火花开关	+	+	-	+	+	-	+	+
气体触发管	+	-	-	+	+	-	-	+

注:表1中,“+”表示具备该特性,“-”表示不具备该特性或者受限制。

[0047] 由表1可知,本发明实施例提出的高功率重频固态开关既具备光导开关的光电隔离、快速等方面的优势,又具备SGTO类开关的高电荷转移量、大电流等优势,因此可以很好的用于加速器中部分替代传统气体闸流管、用于脉冲功率装置中部分替代气体开关、用于特种电源领域部分替代光导开关等、用于激光装置中的普克尔盒中替代传统的MOSFET串联开关、用于电磁发射与电磁焊接等需要高电流变化率(di/dt)的高功率开关等。

[0048] 实施例2

如图3所示,本实施例以激光二极管、微片放大器件、DOE+透镜为例,对上述实施例1提出的高功率重频固态开关的工作过程进行说明:

将放大后的电功率输入到激光二极管,促使激光二极管输出激光脉冲信号;

激光脉冲信号通过微片放大器件进行放大后,由DOE器件(光学衍射分光器件)进行分光,后由透镜放大形成均匀的多点光(或阵列光)输出;

多点光直接大面积照射光电半导体结构,直接快速光电效应,在光电效应材料中产生初始较高的光生载流子,开关器件进入初始导通状态,即光致线性放大导通模式;随着光脉冲逐渐消失,光生载流子与已建立的正反馈机制在电场加载下共同作用,使器件维持导通,光生载流子进一步扩散,开关器件进入中期导通状态,此时为光致线性放大导通与场致非线性放大导通共同作用,即混合放大导通模式;当光脉冲完全消失后,光直接产生的载流子消失,建立起来的正反馈机制在电场的作用下,载流子向周边区域输运,形成大面积完全导通,开关进入后期导通状态,即场致非线性放大导通状态。

[0049] 实施例3

如图4所示,本实施例以氙灯、YAG晶体放大器件、光纤阵列为例,对上述实施例1提出的高功率重频固态开关的工作过程进行说明:

将放大后的电功率输入到氙灯,促使氙灯输出激光脉冲信号;

激光脉冲信号通过YAG晶体放大器件进行放大后,由光纤阵列进行分光后进行多点耦合放大输出;

多点光直接大面积照射光电半导体结构,直接快速光电效应,在光电效应材料中产生初始较高的光生载流子,开关器件进入初始导通状态,即光致线性放大导通模式;随着光脉冲逐渐消失,光生载流子与已建立的正反馈机制在电场加载下共同作用,使器件维持导通,光生载流子进一步扩散,开关器件进入中期导通状态,此时为光致线性放大导通与场致非线性放大导通共同作用,即混合放大导通模式;当光脉冲完全消失后,光直接产生的载流子消失,建立起来的正反馈机制在电场的作用下,载流子向周边区域输运,形成大面积完全导通,开关进入后期导通状态,即场致非线性放大导通状态。

[0050] 实施例4

本实施例对上述实施例1提出的高功率重频固态开关进行了测试,其典型参数测试结果如图5-图7所示。

[0051] 图5所示为高功率重频固态开关在光电半导体结构直径为12mm左右的测试结果,其中,虚线为电放大后的电流波形(阴极测试),单位为A;实线为开关加载的电压波形(阳极测试),单位为V;横坐标为时间,单位为ns。根据附图可知:

本实施例的高功率重频固态开关在约12mm直径结构上,采用典型参数测试,获得了约8kA电流,18ns的电流前沿(包含回路电感等),输出电流变化率(di/dt)达到400kA/ μ s

以上,单个器件峰值功率大于40MW(如图5中所示,峰值电流约8.11kA,峰值电压约5.15kV,则峰值功率约为41.77MW)。

[0052] 图6所示为另一示例的高功率重频固态开关在光电半导体结构直径为12mm左右的测试结果,其中,虚线为电放大后的电流波形(阴极测试),单位为A;实线为开关加载的电压波形(阴极测试),单位为V;横坐标为时间,单位为 μs 。根据附图知:

本实施例的高功率重频固态开关在约12mm直径结构上,采用典型参数测试,获得了约4.43kA电流,36.7ns的电流前沿,输出电流变化率(di/dt)达到120kA/ μs 以上(受到测试回路的限制),峰值功率达到20MW以上(如图6所示,峰值电流约4.43kA,峰值电压为4.65kV,则峰值功率约20.60MW),脉冲宽度为5 μs 。

[0053] 图7所示为高功率重频固态开关在光电半导体结构直径为38mm左右的测试结果,其中,虚线为电放大后的电流波形(阴极测试),单位为A;实线为开关加载的电压波形(阳极测试),单位为V;横坐标为时间,单位为 μs 。根据附图可知:

本实施例的高功率重频固态开关在约38mm直径结构上,采用典型参数测试,获得了约43kA电流,1.12 μs 的电流前沿,输出电流变化率(di/dt)达到38kA/ μs 以上(受到测试回路的限制),峰值功率达到200MW以上(如图7所示,峰值电流约43.4kA,峰值电压约5.11kV,峰值功率约221.77MW),脉冲宽度为16 μs 。

[0054] 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限定本发明的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

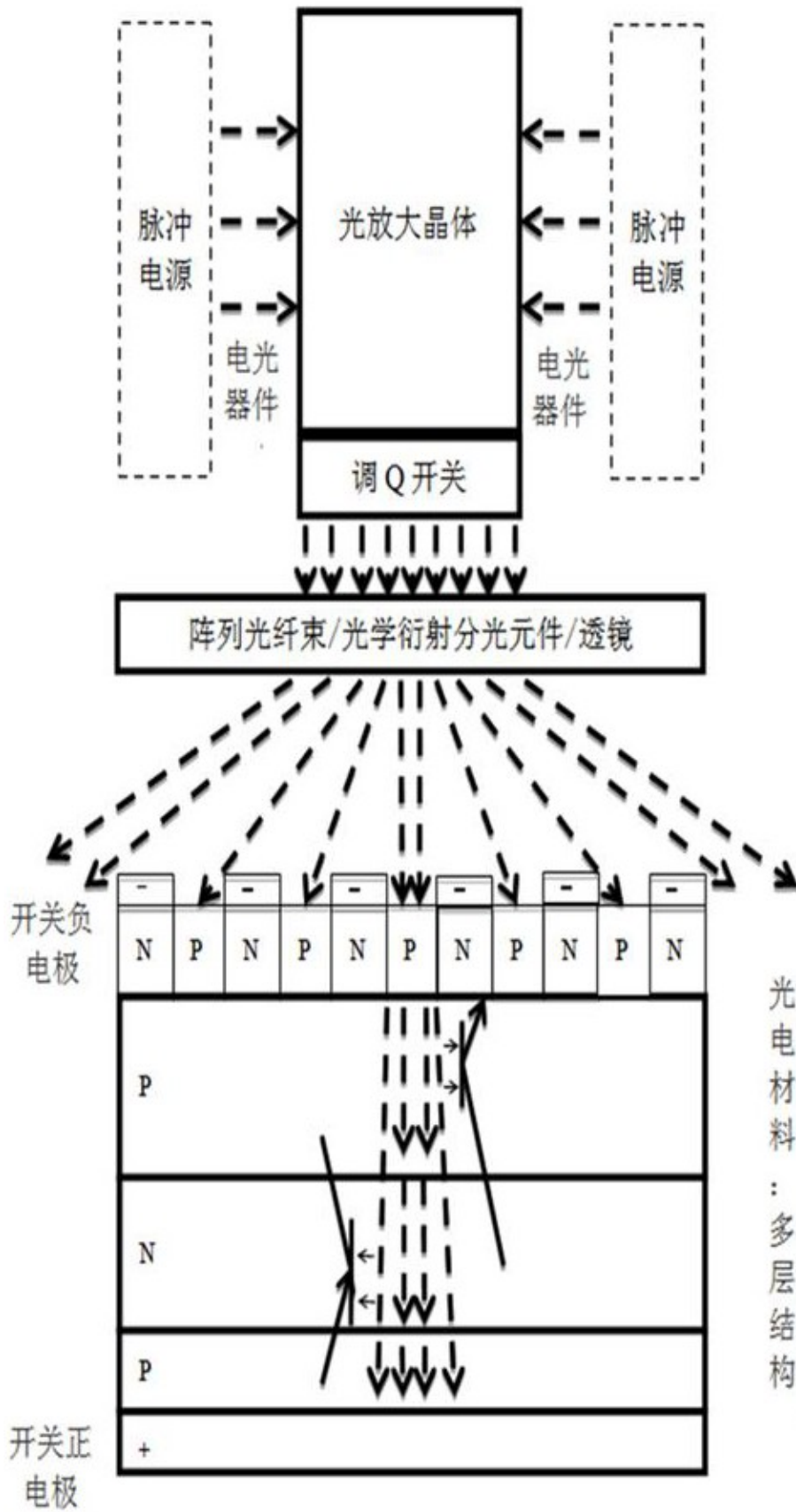


图1

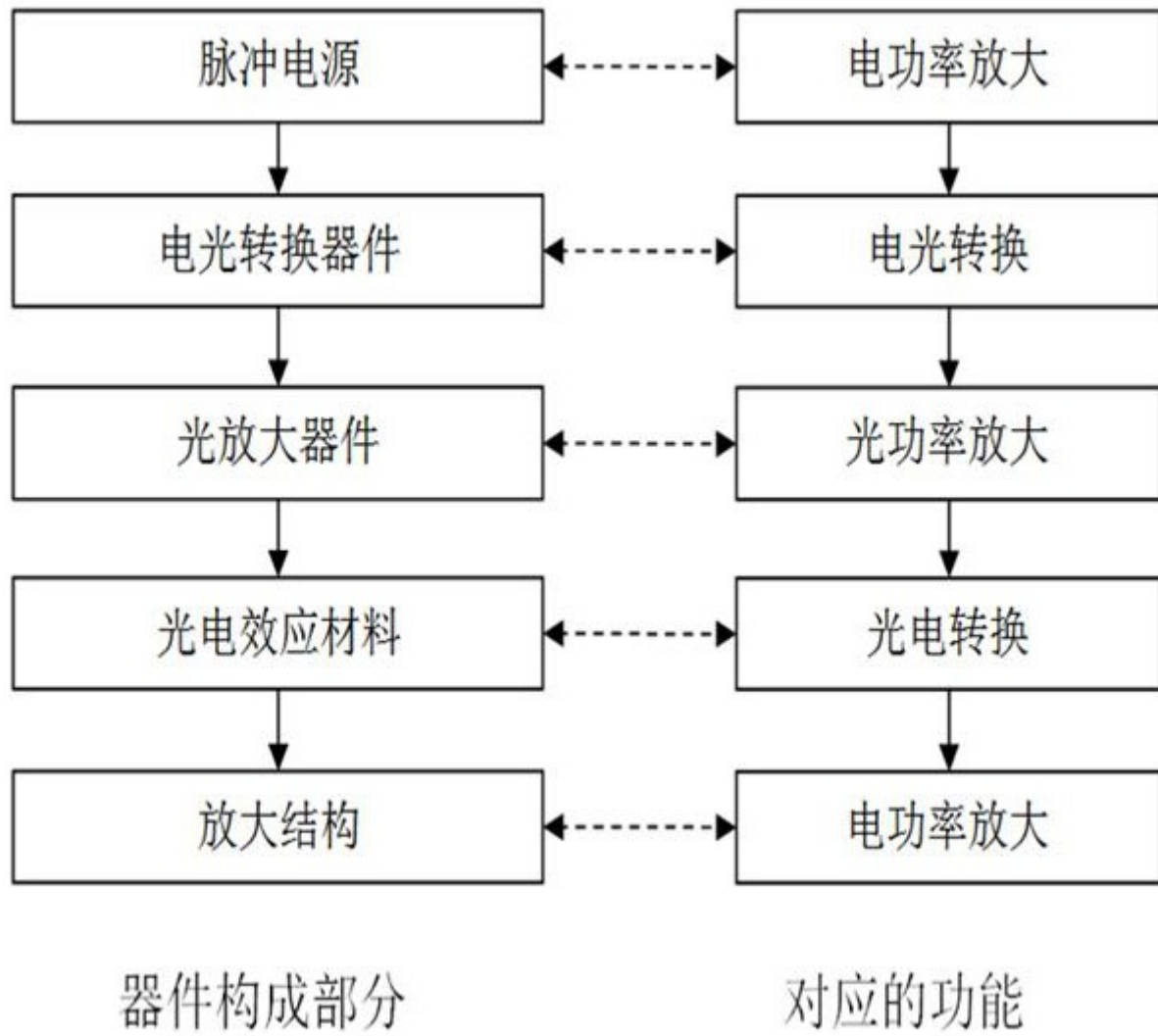


图2

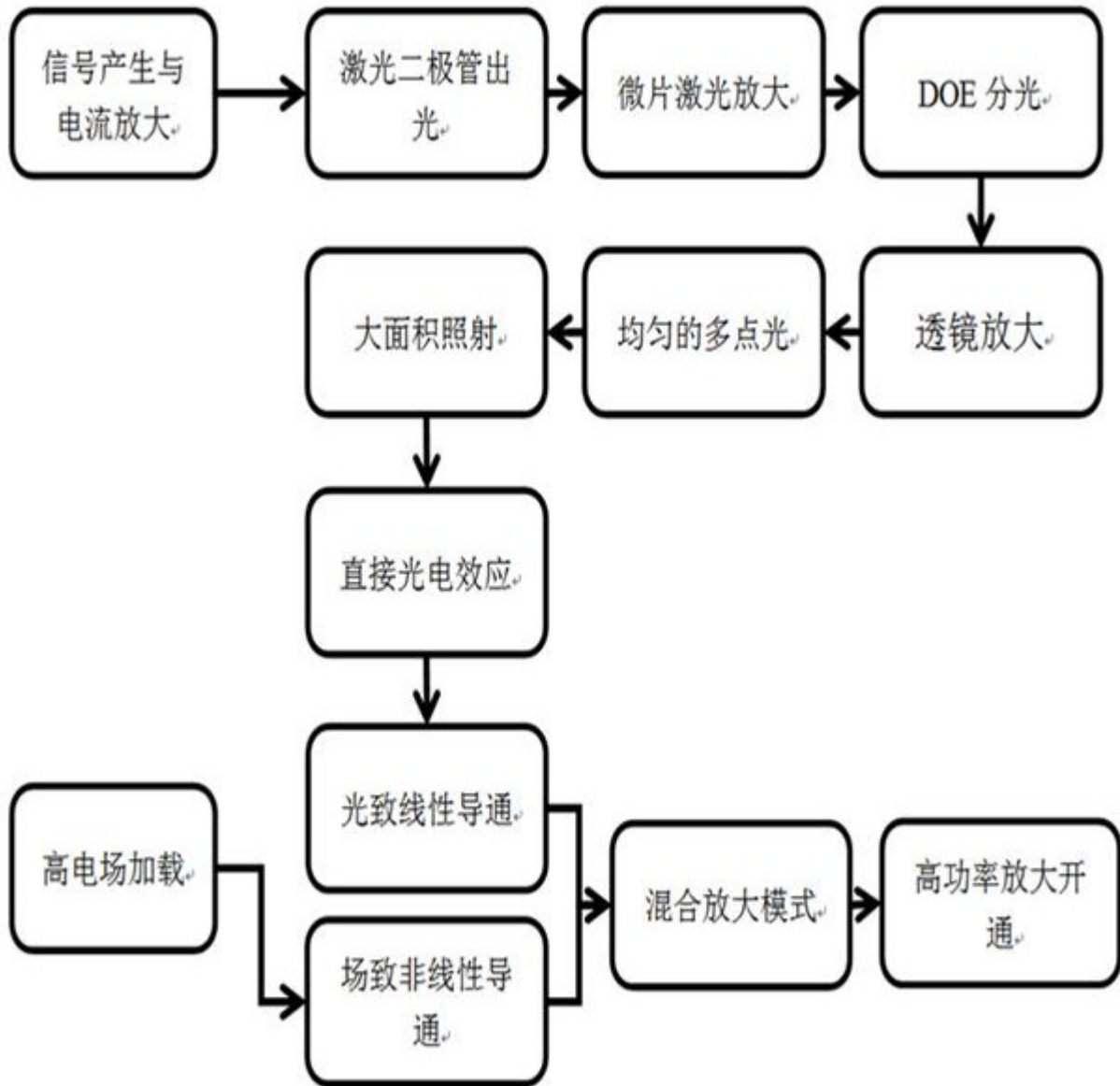


图3

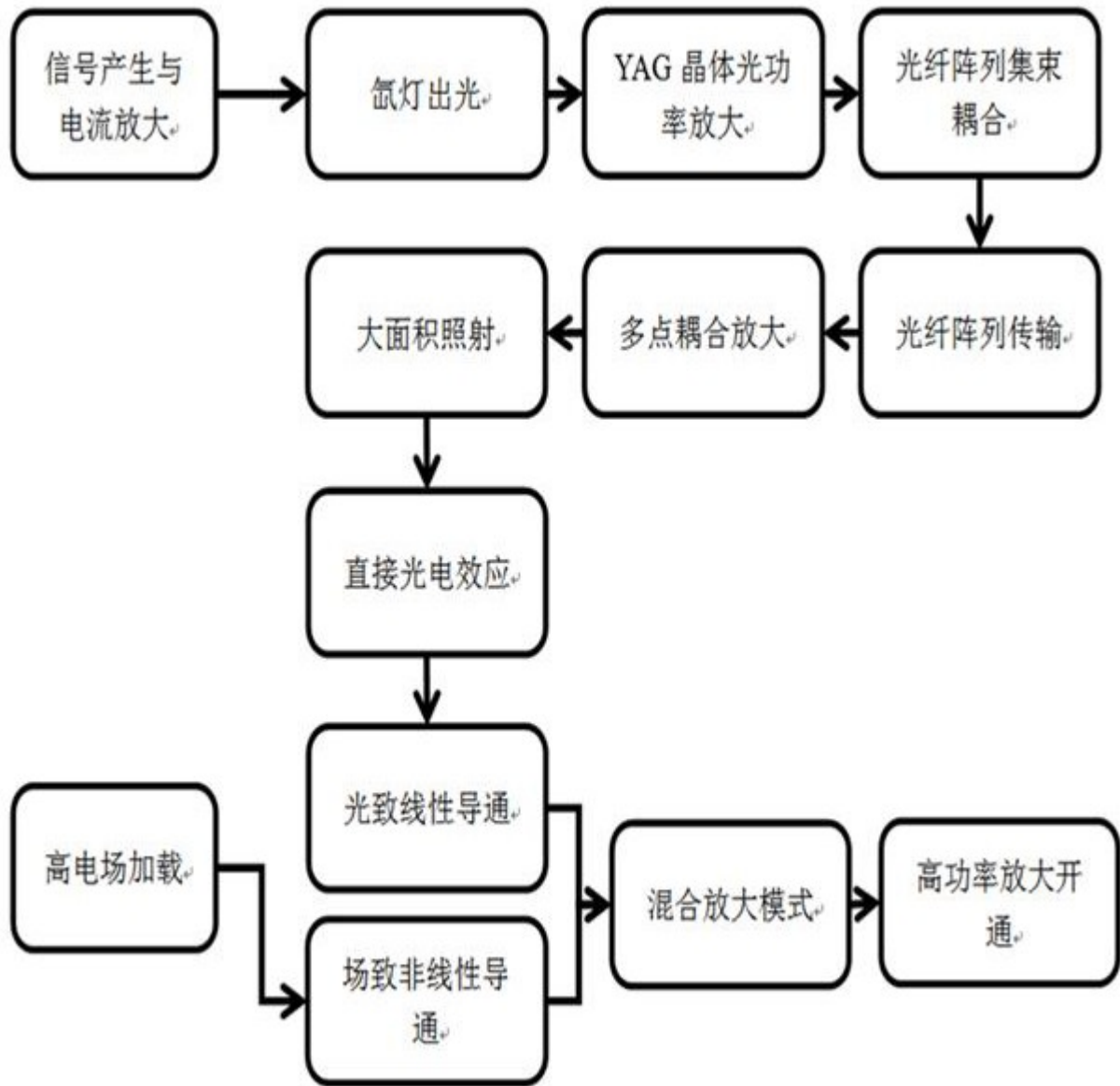


图4

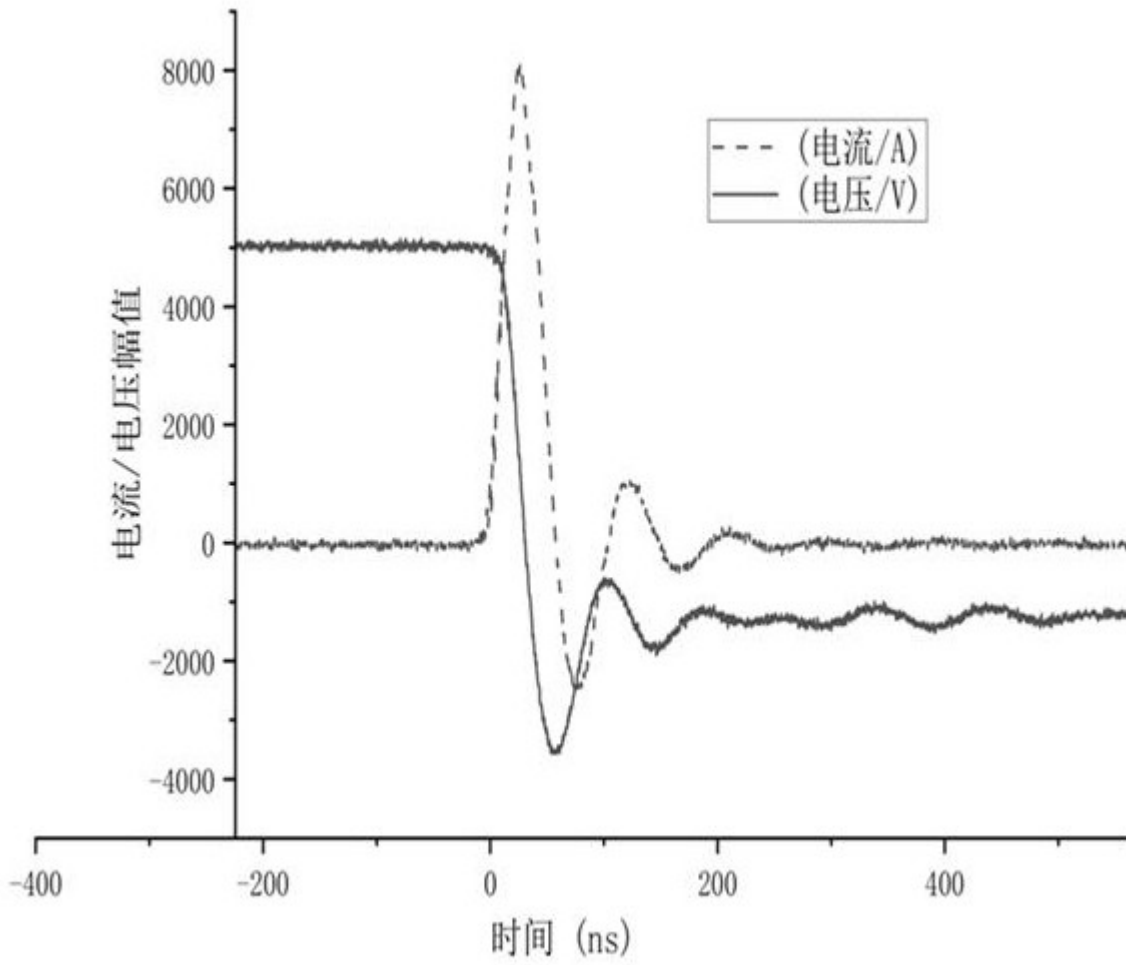


图5

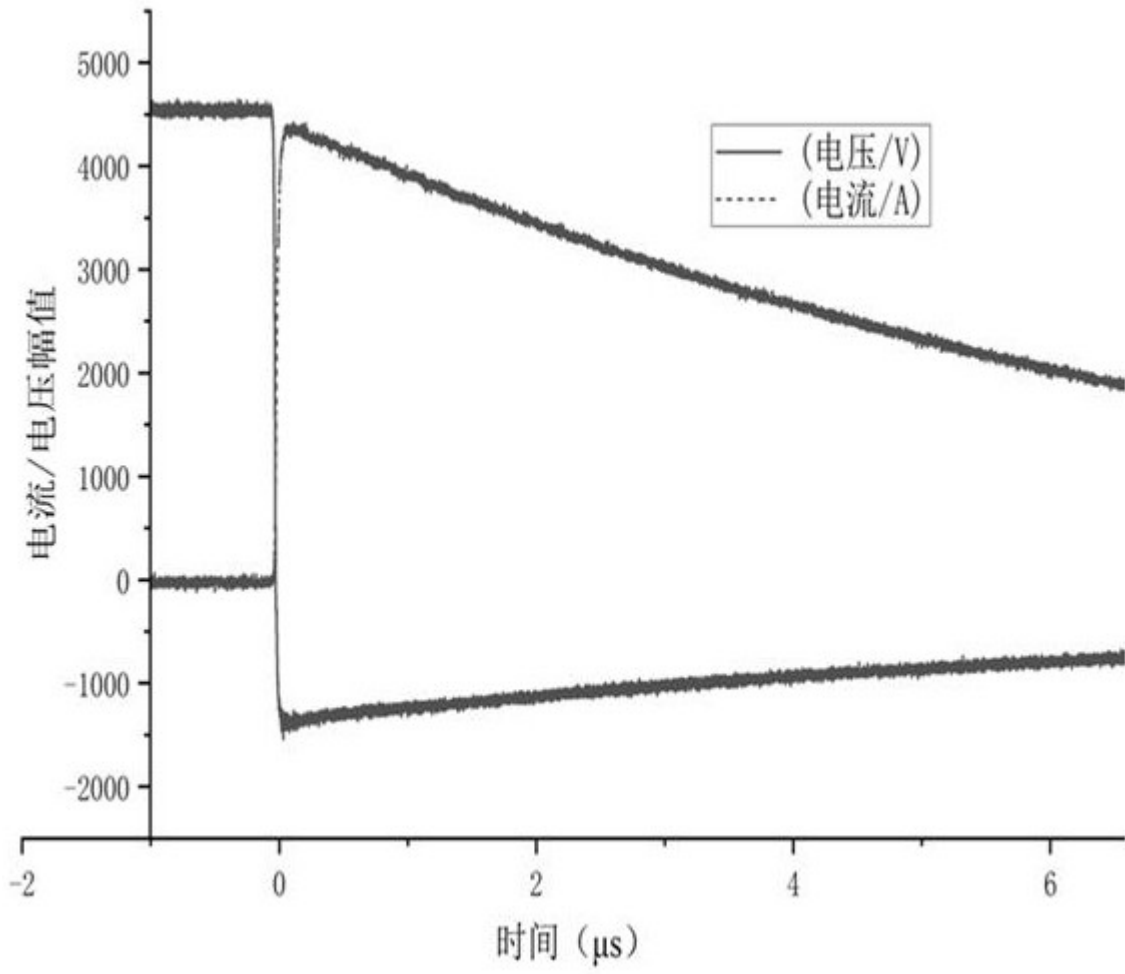


图6

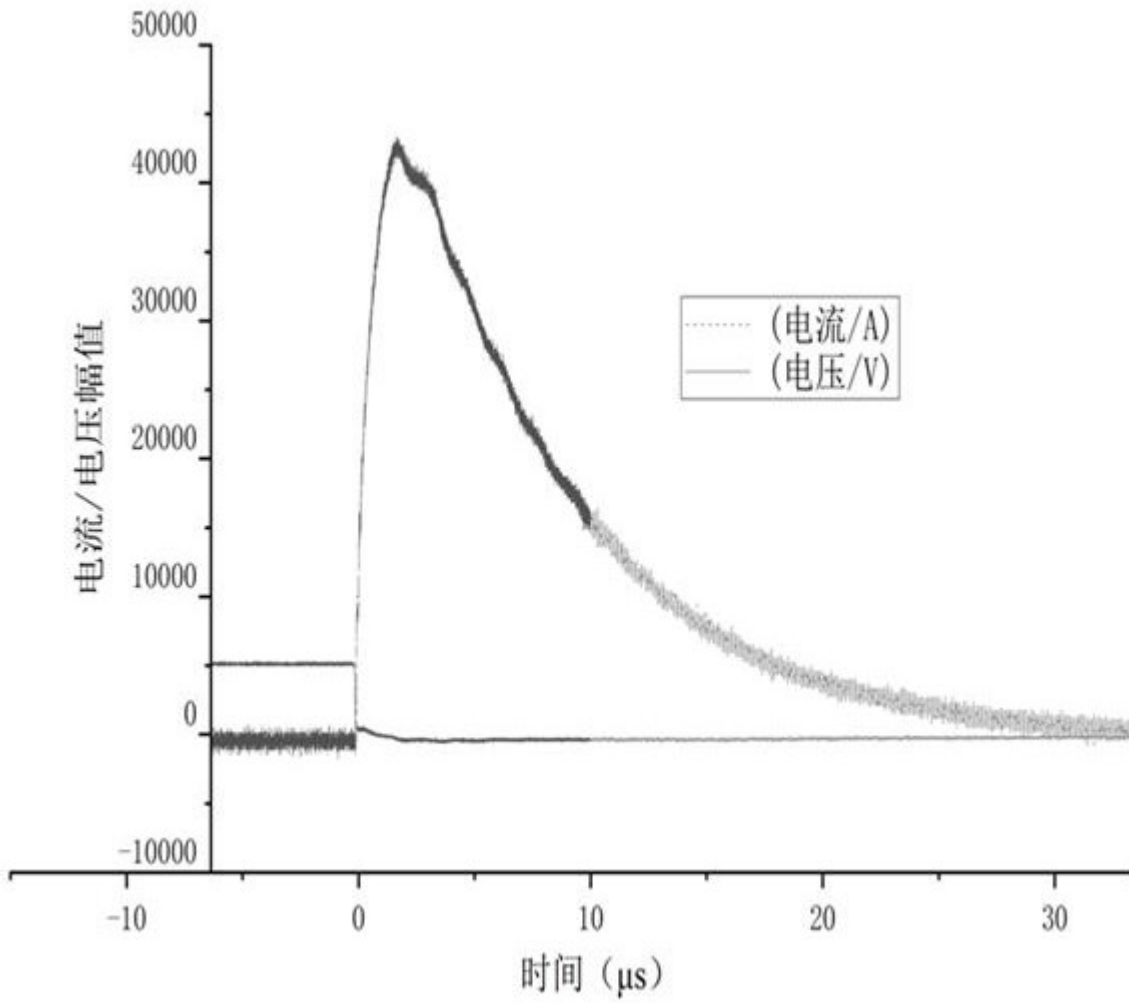


图7