

(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
2023 年 2 月 23 日 (23.02.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/019799 A1

(51) 国际专利分类号:
G06N 3/067 (2006.01) **G06F 17/16** (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/134194

(22) 国际申请日: 2021 年 11 月 30 日 (30.11.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202110945843.9 2021年8月18日 (18.08.2021) CN

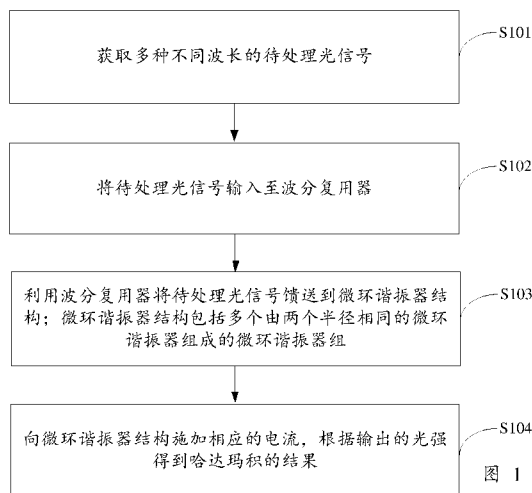
(71) 申请人: 苏州浪潮智能科技有限公司
(**INSUR SUZHOU INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.**) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市吴中区吴中经济开发区郭巷街道官浦路1号9幢, Jiangsu 215000 (CN)。

(72) 发明人: 陈静静(**CHEN, Jingjing**); 中国江苏省苏州市吴中区吴中经济开发区郭巷街道官浦路1号9幢, Jiangsu 215000 (CN)。 吴睿振(**WU, Ruizhen**); 中国江苏省苏州市吴中区吴中经济开发区郭巷街道官浦路1号9幢, Jiangsu 215000 (CN)。 黄萍(**HUANG, Ping**); 中国江苏省苏州市吴中区吴中经济开发区郭巷街道官浦路1号9幢, Jiangsu 215000 (CN)。 王凇(**WANG, Lin**); 中国江苏省苏州市吴中区吴中经济开发区郭巷街道官浦路1号9幢, Jiangsu 215000 (CN)。

(74) 代理人: 北京三聚阳光知识产权代理有限公司 (**SUNSHINE INTELLECTUAL PROPERTY INTERNATIONAL CO., LTD.**); 中国北京市海淀区海淀南路甲21号中关村知识产权大厦A座5层503, Beijing 100080 (CN)。

(54) **Title:** HADAMARD PRODUCT IMPLEMENTATION METHOD AND DEVICE, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 一种哈达玛积的实现方法、设备及存储介质



S101 Acquire optical signals to be processed of various different wavelengths
S102 Input said optical signals to a wavelength division multiplexer
S103 Feed said optical signals to a microring resonator structure using the wavelength division multiplexer, the microring resonator structure comprising multiple microring resonator groups consisting of two microring resonators having a same radius
S104 Apply a corresponding current to the microring resonator structure, and obtain a Hadamard product result according to output light intensity

图 1

(57) **Abstract:** A Hadamard product implementation method and device, and a storage medium. The method comprises: acquiring optical signals to be processed of various different wavelengths (S101); inputting said optical signals to a wavelength division multiplexer (S102); feeding said optical signals to a microring resonator structure using the wavelength division multiplexer, the microring resonator structure comprising multiple microring resonator groups consisting of two microring resonators having a same radius (S103); and applying a corresponding current to the microring resonator structure, and obtaining a Hadamard product result according to output light intensity (S104). In this way, the microring resonators are used as the basis for implementing an artificial neural network scheme, the optical signals to be processed are fed to the microring resonator structure using the wavelength division multiplexer, the effective refractive index and phase of the microring resonators can be changed by means of heating using the current, the Hadamard

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, ST, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明:

— 发明人资格(细则4.17(iv))

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

product result can be obtained according to the output light intensity of the optical signals, and then a simulation solution suitable for the Hadamard product in an optical neural network is implemented.

(57) 摘要: 一种哈达玛积的实现方法、设备及存储介质, 该方法包括: 获取多种不同波长的待处理光信号(S101); 将待处理光信号输入至波分复用器(S102); 利用波分复用器将待处理光信号馈送到微环谐振器结构; 微环谐振器结构包括多个由两个半径相同的微环谐振器组成的微环谐振器组(S103); 向微环谐振器结构施加相应的电流, 根据输出的光强得到哈达玛积的结果(S104)。这样以微环谐振器为实现人工神经网络方案的基础, 利用波分复用器将待处理光信号馈送到微环谐振器结构, 通过电流加热可以改变微环谐振器的有效折射率和相位, 根据输出的光信号的光强即可得到哈达玛积的结果, 进而实现了适用于光学神经网络中哈达玛积的模拟解决方案。

一种哈达玛积的实现方法、设备及存储介质

本申请要求在2021年8月18日提交中国专利局、申请号为202110945843.9、发明名称为“一种哈达玛积的实现方法、设备及存储介质”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及光电芯片技术领域，特别是涉及一种哈达玛积的实现方法、设备及存储介质。

背景技术

芯片是现代电子信息产业的基础和核心。随着全球化以及科技的高速发展，需要处理的数据量在急剧增加，相应的数据处理模型和算法也在不断增加，带来的结果就是对算力和功耗的要求不断提高。光子计算芯片以光子为信息的载体具有高速并行、低功耗的优势，因此被认为是未来高速、大数据量、人工智能计算处理的最具有前景的方案。

现今光子神经网络（Optical Neural Network, ONN）方面最常见的工业解决方案是设置专有器件，但是其一般只适合于解决基于卷积运算的乘加运算部分。人工神经网络（Artificial Neural Network, ANN）中虽然最大量的运算来源于卷积运算，但是在长短期记忆人工神经网络（Long Short-Term Memory, LSTM）等网络中存在大量哈达玛积（Hadamard product）的运算。

因此，如何实现神经网络中哈达玛积的模拟运算，是本领域技术人员亟待解决的技术问题。

发明内容

有鉴于此，本申请的目的在于提供一种哈达玛积的实现方法、设备及存储介质，可以利用微环谐振器结构实现适用于光学神经网络中哈达玛积的模

拟解决方案。其具体方案如下：

一种哈达玛积的实现方法，包括：

获取多种不同波长的待处理光信号；

将所述待处理光信号输入至波分复用器；

利用所述波分复用器将所述待处理光信号馈送到微环谐振器结构；所述微环谐振器结构包括多个由两个半径相同的微环谐振器组成的微环谐振器组；

向所述微环谐振器结构施加相应的电流，根据输出光强得到哈达玛积的结果。

优选地，在本申请实施例提供的上述哈达玛积的实现方法中，每个所述微环谐振器组的半径不同。

优选地，在本申请实施例提供的上述哈达玛积的实现方法中，所述待处理光信号的波长与所述微环谐振器组的半径一一对应；

所述待处理光信号的波长的种类数量与所述微环谐振器组的个数相同。

优选地，在本申请实施例提供的上述哈达玛积的实现方法中，所述微环谐振器包括一根直波导和一个微环波导。

优选地，在本申请实施例提供的上述哈达玛积的实现方法中，所述微环谐振器结构中所有的所述微环谐振器的所述直波导为同一根共用直波导；

所述共用直波导具有输入端口和直通端口。

优选地，在本申请实施例提供的上述哈达玛积的实现方法中，各所述微环谐振器组的半径沿着所述输入端口向所述直通端口的方向依次变大。

优选地，在本申请实施例提供的上述哈达玛积的实现方法中，通过所述直通端口的光强与所述输入端口的光强的传递函数在 0 和 1 之间。

优选地，在本申请实施例提供的上述哈达玛积的实现方法中，在所述向所述微环谐振器结构施加相应的电流的同时，还包括：

控制所述直通端口的光强与所述输入端口的光强的传递函数达到目标传递函数。

本申请实施例还提供了一种哈达玛积的实现设备，包括处理器和存储器，其中，所述处理器执行所述存储器中存储的计算机程序时实现如本申请实施例提供的上述哈达玛积的实现方法。

本申请实施例还提供了一种计算机可读存储介质，用于存储计算机程序，其中，所述计算机程序被处理器执行时实现如本申请实施例提供的上述哈达玛积的实现方法。

从上述技术方案可以看出，本申请所提供的一种哈达玛积的实现方法，包括：获取多种不同波长的待处理光信号；将待处理光信号输入至波分复用器；利用波分复用器将待处理光信号馈送到微环谐振器结构；微环谐振器结构包括多个由两个半径相同的微环谐振器组成的微环谐振器组；向微环谐振器结构施加相应的电流，根据输出光强得到哈达玛积的结果。

本申请以微环谐振器为实现人工神经网络方案的基础，利用波分复用器将待处理光信号馈送到微环谐振器结构，通过电流加热可以改变微环谐振器的有效折射率和相位，根据输出的光信号的光强即可得到哈达玛积的结果，进而实现了适用于光学神经网络中哈达玛积的模拟解决方案。此外，本申请还针对哈达玛积的实现方法提供了相应的设备及计算机可读存储介质，进一步使得上述方法更具有实用性，该设备及计算机可读存储介质具有相应的优点。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例或相关技术中的技术方案，下面将对实施例或相关技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据提供的附图获得其他的附图。

图 1 为本申请实施例提供的哈达玛积的实现方法的流程图；

图 2 为本申请实施例提供的微环谐振器的结果示意图；

图 3 为本申请实施例提供的微环谐振器在非谐振情况下光强分布图；

图 4 为本申请实施例提供的微环谐振器在谐振情况下光强分布图；

图 5 为本申请实施例提供的微环谐振器的传递函数随相位的变化示意图；

图 6 为本申请实施例提供的利用波分复用器和微环谐振器结构实现哈达玛积的装置结构示意图。

具体实施方式

下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

本申请提供一种哈达玛积 (Hadamard product) 的实现方法，如图 1 所示，包括以下步骤：

S101、获取多种不同波长的待处理光信号；

S102、将待处理光信号输入至波分复用器 (Wavelength Division Multiplexing, WDM)；

S103、利用波分复用器将待处理光信号馈送到微环谐振器结构；微环谐振器结构包括多个由两个半径相同的微环谐振器组成的微环谐振器组；

S104、向微环谐振器结构施加相应的电流，根据输出光强得到哈达玛积的结果。

在本申请实施例提供的上述哈达玛积的实现方法中，以微环谐振器为实现人工神经网络方案的基础，利用波分复用器将待处理光信号馈送到微环谐振器结构，通过电流加热可以改变微环谐振器的有效折射率和相位，根据输出的光信号的光强即可得到哈达玛积的结果，进而实现了适用于光学神经网络中哈达玛积的模拟解决方案。

需要说明的是，哈达玛积是一种矩阵的运算，定义设 $\mathbf{A}, \mathbf{B} \in \mathbb{C}^{m \times n}$ ，且 $\mathbf{A} = [a_{ij}]$, $\mathbf{B} = [b_{ij}]$ ， $\mathbf{A}, \mathbf{B}$ 的哈达玛积记作 $\mathbf{A} \circ \mathbf{B}$ ，计算方式如下：

$$\begin{aligned}
 \mathbf{A} \circ \mathbf{B} &= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \odot \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} a_{11}b_{11} & a_{12}b_{12} & \cdots & a_{1n}b_{1n} \\ a_{21}b_{21} & a_{22}b_{21} & \cdots & a_{2n}b_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1}b_{m1} & a_{m2}b_{m2} & \cdots & a_{mn}b_{mn} \end{bmatrix}
 \end{aligned} \quad (1)$$

哈达玛积运算就是两个同阶的矩阵，对应位置的元素相乘。

进一步地，在具体实施时，在本申请实施例提供的上述哈达玛积的实现方法中，如图2所示，微环谐振器MRR可以包括一根直波导和一个微环波导。优选地，该MRR为All-pass型的硅基MRR。图3和图4分别示出了All-pass型的MRR在非谐振以及谐振情况下光强分布图。光信号从输入端进入，当入射光的波长满足谐振条件时，该波长的光信号大部分被限制在微环中，输出端几乎无输出；如果不满足谐振条件，进入微环的光信号就会发生相消干涉输入的光波直接从直通端输出，因此微环具有最基本的滤波作用。

光在微环中传输时，受到微环的限制较强，当它满足绕微环传输一圈时产生的光程差是光信号波长的整数倍 m 这个条件时，就会发生谐振，光信号的强度会不断加强，而使其产生相互作用而加强的条件称为谐振条件，微环的谐振方程为：

$$2\pi R n_{\text{eff}} = m \lambda_i \quad (2)$$

其中， λ_i 为光信号波长， m 为光信号波长的整数倍， R 为MRR的半径， n_{eff} 为光的有效折射率，满足公式(2)的波长的光即满足谐振条件，会被限制在微环中。由谐振方程(2)可知不同的波长对应的微环半径也不同。当给MRR通过电流时会加热MRR，导致光的有效折射率 n_{eff} 的变化，使谐振波长发生漂移，从而导致被限制在微环中的光部分从直通端输出。

通过直通端的通孔出射的光的强度与进入全通谐振器MRR的输入端口的光强的传递函数的表达式如下：

$$T_n(\phi_i) = \frac{a^2 - 2ra \cos(\phi_i) + r^2}{1 - 2ra \cos(\phi_i) + (ar)^2} \quad (3)$$

其中, ϕ_i 为 MRR 的相位, r 是自耦合系数, a 定义了环和定向耦合器的传播损耗。传递函数的取值范围为 $[0,1]$ 。

当输入光信号的振幅为 E_{in} (光强为 $|E_{in}|^2$), 则通过 MRR 输出的光强为:

$$|E_{out}|^2 = T_n(\phi_i) |E_{in}|^2 \quad (4)$$

公式 (1) 中相位 ϕ_i 的表达式为:

$$\phi_i = \frac{4\pi^2 \cdot R \cdot n_{eff}}{\lambda_i} \quad (5)$$

图 5 示出了 All-pass 微环传递函数 $T_n(\phi_i)$ 随相位 ϕ_i 的变化图。

当给硅基 MRR 通过电流时会加热 MRR, 导致 n_{eff} 的变化, 从而导致相位 ϕ_i 的变化, 最终影响光强的传递函数 $T_n(\phi_i)$ 。也就是说, 当输入光信号的振幅为 E_{in} (光强为 $|E_{in}|^2$), 通过给硅基微环施加电流加热, 改变传递函数 $T_n(\phi_i)$, 从而得到想要的输出光强 $|E_{out}|^2$ 。本申请正是根据硅基 MRR 的这种性质实现了哈达玛积的计算。

在具体实施时, 在本申请实施例提供的上述哈达玛积的实现方法中, 每个微环谐振器组的半径不同。较佳地, 待处理光信号的波长与所述微环谐振器组的半径一一对应; 待处理光信号的波长的种类数量与微环谐振器组的个数相同。

下面以 $\mathbf{A} = [a_1 \ a_2 \ a_3]$, $\mathbf{B} = [b_1 \ b_2 \ b_3]$ 为例, 根据定义 $\mathbf{A}, \mathbf{B}$ 的哈达玛积为:

$$\mathbf{A} \circ \mathbf{B} = \begin{bmatrix} a_1 b_1 & a_2 b_2 & a_3 b_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

本申请根据硅基 MRR 性质及 WDM 实现了哈达玛积的计算,如图 6 所示,包含六个 MRR,其中两个为一组半径相同,半径长度分别为 R_1, R_2, R_3 。

在具体实施时, MRR 结构中所有 MRR 的直波导可以为同一根共用直波导;共用直波导具有输入端口和直通端口。通过直通端口的光强与输入端口的光强的传递函数在 0 和 1 之间。

如图 6 所示,激光器发射波长分别为 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 的光信号,为了好理解,假设三种光信号的光强都为 1。然后通过 WDM 馈送到 MRR 结构。MRR 结构由三个不同半径长度的 MRR 组组成,半径长度分别为 R_1, R_2, R_3 ,半径长度可以沿着输入端口向直通端口的方向依次变大,且满足:

$$2\pi R_i n_{eff} = m\lambda_i \quad i=1,2,3 \quad (7)$$

由公式 (5) 和公式 (7) 可知,如果不加热 MRR,此时波长分别为 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 的三种光信号都被限制在微环中,直通端没有光信号输出。如果分别向微环中加入电流,微环受热导致 n_{eff} 的变化,使得相位 ϕ_i 的变化满足:

$$T_{MRR_1}(\phi_1) = a_1, \quad T_{MRR_2}(\phi_2) = b_1$$

$$T_{MRR_3}(\phi_3) = a_2, \quad T_{MRR_4}(\phi_4) = b_2$$

$$T_{MRR_5}(\phi_5) = a_3, \quad T_{MRR_6}(\phi_6) = b_3$$

此时,从直通端通过的为 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 的光信号的光强分别为 $T_{MRR_1}(\phi_1)T_{MRR_2}(\phi_2)$, $T_{MRR_3}(\phi_3)T_{MRR_4}(\phi_4)$, $T_{MRR_5}(\phi_5)T_{MRR_6}(\phi_6)$, 即 $a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3$, 就是 $\mathbf{A}, \mathbf{B}$ 的哈达玛积的结果。

进一步地,在具体实施时,在本申请实施例提供的上述哈达玛积的实现方法中,在向微环谐振器结构施加相应的电流的同时,还包括:控制直通端

口的光强与输入端口的光强的传递函数达到目标传递函数。这样控制 MRR 结构的传递函数为目标传递函数，可以确保施加的电流值大小能准确得到所需哈达玛积的结果。

相应地，本申请实施例还公开了一种哈达玛积的实现设备，包括处理器和存储器；其中，处理器执行存储器中存储的计算机程序时实现前述实施例公开的哈达玛积的实现方法。

关于上述方法更加具体的过程可以参考前述实施例中公开的相应内容，在此不再进行赘述。

进一步地，本申请还公开了一种计算机可读存储介质，用于存储计算机程序；计算机程序被处理器执行时实现前述公开的哈达玛积的实现方法。

关于上述方法更加具体的过程可以参考前述实施例中公开的相应内容，在此不再进行赘述。

本说明书中各个实施例采用递进的方式描述，每个实施例重点说明的都是与其它实施例的不同之处，各个实施例之间相同或相似部分互相参见即可。对于实施例公开的设备、存储介质而言，由于其与实施例公开的方法相对应，所以描述的比较简单，相关之处参见方法部分说明即可。

专业人员还可以进一步意识到，结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤，能够以电子硬件、计算机软件或者二者的结合来实现，为了清楚地说明硬件和软件的可互换性，在上述说明中已经按照功能一般性地描述了各示例的组成及步骤。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行，取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能，但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

结合本文中所公开的实施例描述的方法或算法的步骤可以直接用硬件、处理器执行的软件模块，或者二者的结合来实施。软件模块可以置于随机存储器（RAM）、内存、只读存储器（ROM）、电可编程 ROM、电可擦除可

编程 ROM、寄存器、硬盘、可移动磁盘、CD-ROM、或技术领域内所公知的任意其它形式的存储介质中。

综上，本申请实施例提供一种哈达玛积的实现方法，包括：获取多种不同波长的待处理光信号；将待处理光信号输入至波分复用器；利用波分复用器将待处理光信号馈送到微环谐振器结构；微环谐振器结构包括多个由两个半径相同的微环谐振器组成的微环谐振器组；向微环谐振器结构施加相应的电流，根据输出光强得到哈达玛积的结果。这样以微环谐振器为实现人工神经网络方案的基础，利用波分复用器将待处理光信号馈送到微环谐振器结构，通过电流加热可以改变微环谐振器的有效折射率和相位，根据输出的光信号的光强即可得到哈达玛积的结果，进而实现了适用于光学神经网络中哈达玛积的模拟解决方案。此外，本申请还针对哈达玛积的实现方法提供了相应的设备及计算机可读存储介质，进一步使得上述方法更具有实用性，该设备及计算机可读存储介质具有相应的优点。

最后，还需要说明的是，在本文中，诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

以上对本申请所提供的哈达玛积的实现方法、设备及存储介质进行了详细介绍，本文中应用了具体个例对本申请的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明只是用于帮助理解本申请的方法及其核心思想；同时，对于本领域的一般技术人员，依据本申请的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处，综上所述，本说明书内容不应理解为对本申请的限制。

权 利 要 求 书

1、一种哈达玛积的实现方法，其特征在于，包括：

获取多种不同波长的待处理光信号；

将所述待处理光信号输入至波分复用器；

利用所述波分复用器将所述待处理光信号馈送到微环谐振器结构；所述微环谐振器结构包括多个由两个半径相同的微环谐振器组成的微环谐振器组；

向所述微环谐振器结构施加相应的电流，根据输出光强得到哈达玛积的结果。

2、根据权利要求1所述的哈达玛积的实现方法，其特征在于，每个所述微环谐振器组的半径不同。

3、根据权利要求2所述的哈达玛积的实现方法，其特征在于，所述待处理光信号的波长与所述微环谐振器组的半径一一对应；

所述待处理光信号的波长的种类数量与所述微环谐振器组的个数相同。

4、根据权利要求3所述的哈达玛积的实现方法，其特征在于，所述微环谐振器包括一根直波导和一个微环波导。

5、根据权利要求4所述的哈达玛积的实现方法，其特征在于，所述微环谐振器结构中所有的所述微环谐振器的所述直波导为同一根共用直波导；

所述共用直波导具有输入端口和直通端口。

6、根据权利要求5所述的哈达玛积的实现方法，其特征在于，各所述微环谐振器组的半径沿着所述输入端口向所述直通端口的方向依次变大。

7、根据权利要求6所述的哈达玛积的实现方法，其特征在于，通过所述直通端口的光强与所述输入端口的光强的传递函数在0和1之间。

8、根据权利要求7所述的哈达玛积的实现方法，其特征在于，在所述向所述微环谐振器结构施加相应的电流的同时，还包括：

控制所述直通端口的光强与所述输入端口的光强的传递函数达到目标传递函数。

9、一种哈达玛积的实现设备，其特征在于，包括处理器和存储器，其中，所述处理器执行所述存储器中存储的计算机程序时实现如权利要求1至8任一项所述的哈达玛积的实现方法。

10、一种计算机可读存储介质，其特征在于，用于存储计算机程序，其中，所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求 1 至 8 任一项所述的哈达玛积的实现方法。

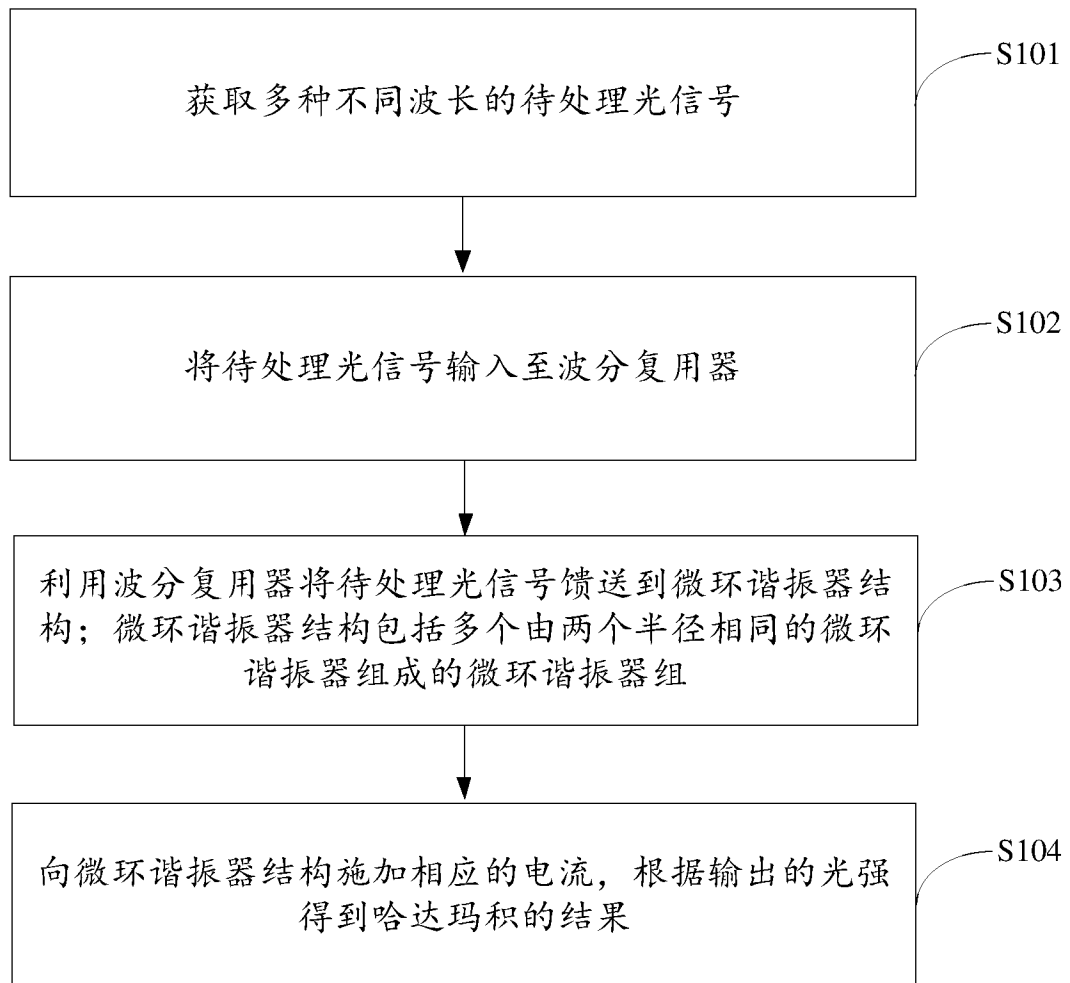


图 1

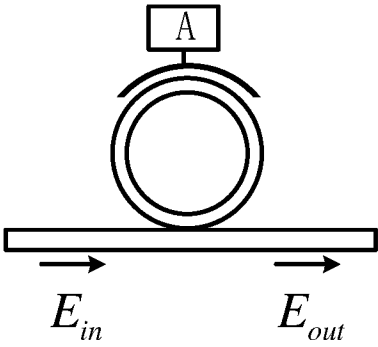


图 2

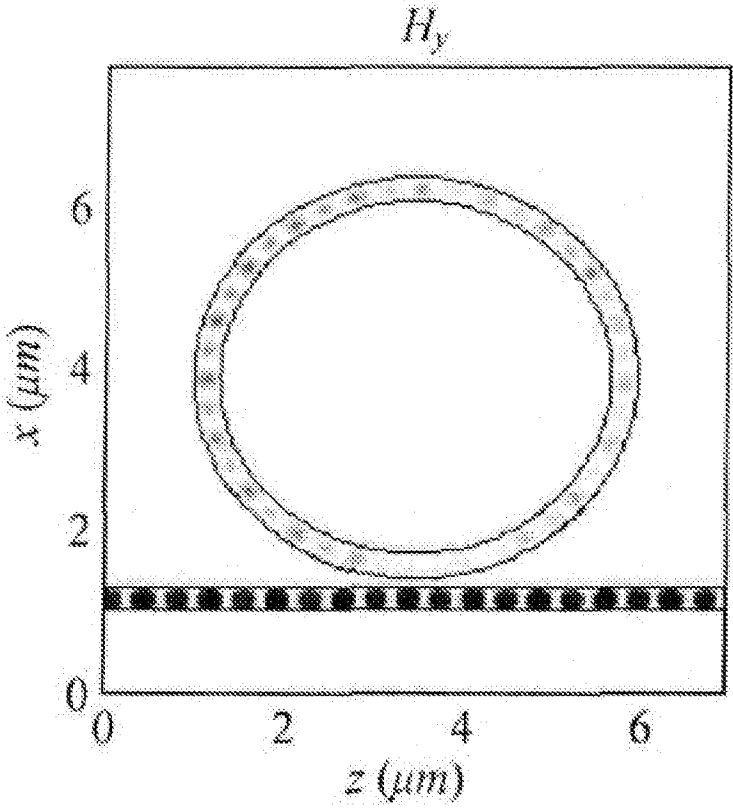


图 3

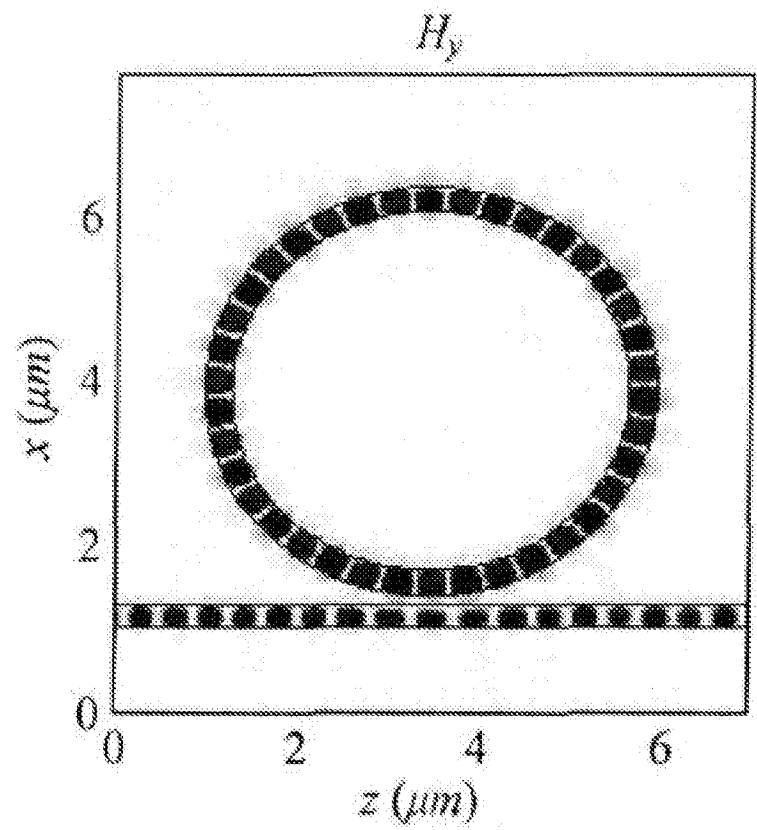


图 4

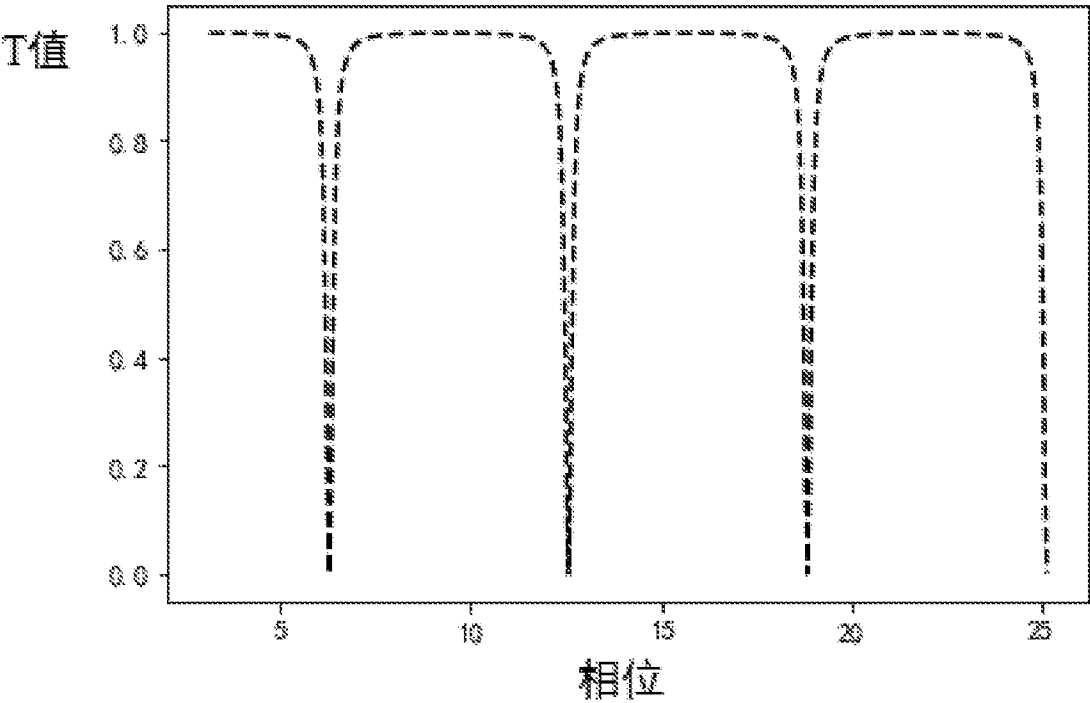


图 5

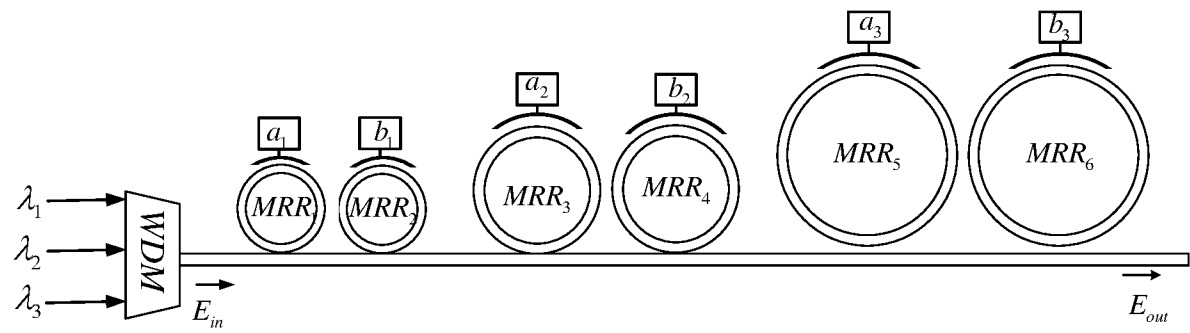


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/134194

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06N 3/067(2006.01)i; G06F 17/16(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)

G06N; G06F

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)

CNPAT; CNKI; WPI; EPODOC: 哈达玛积, 波长, 光信号, 波分复用器, 微环谐振器, 半径, 电流, 光强, hadamard, wave length, optical signal, wavelength division multiplexer, microring resonator, radius, current, light intensity

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 113392965 A (SUZHOU INSPUR INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.) 14 September 2021 (2021-09-14) claims 1-10	1-10
X	CN 109639359 A (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) 16 April 2019 (2019-04-16) description, paragraphs [0013]-[0026]	1-10
A	US 2020052792 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 13 February 2020 (2020-02-13) entire document	1-10
A	CN 113031161 A (BEIJING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS) 25 June 2021 (2021-06-25) entire document	1-10
A	CN 108616686 A (NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 02 October 2018 (2018-10-02) entire document	1-10



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

21 April 2022

Date of mailing of the international search report

13 May 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/134194

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	113392965	A	14 September 2021	None			
CN	109639359	A	16 April 2019	None			
US	2020052792	A1	13 February 2020	CN	109792297	A	21 May 2019
				WO	2018074412	A1	26 April 2018
				US	2020244369	A1	30 July 2020
				JP	6560458	B2	14 August 2019
CN	113031161	A	25 June 2021	None			
CN	108616686	A	02 October 2018	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/134194

A. 主题的分类 G06N 3/067(2006.01)i; G06F 17/16(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) G06N; G06F 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)) CNPAT;CNKI;WPI;EPDOC:哈达玛积, 波长, 光信号, 波分复用器, 微环谐振器, 半径, 电流, 光强, hadamard, wave length, optical signal, wavelength division multiplexer, microring resonator, radius, current, light intensity																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 113392965 A (苏州浪潮智能科技有限公司) 2021年9月14日 (2021 - 09 - 14) 权利要求1-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 109639359 A (上海交通大学) 2019年4月16日 (2019 - 04 - 16) 说明书第[0013]-[0026]段</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2020052792 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 2020年2月13日 (2020 - 02 - 13) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 113031161 A (北京邮电大学) 2021年6月25日 (2021 - 06 - 25) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108616686 A (南京理工大学) 2018年10月2日 (2018 - 10 - 02) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 113392965 A (苏州浪潮智能科技有限公司) 2021年9月14日 (2021 - 09 - 14) 权利要求1-10	1-10	X	CN 109639359 A (上海交通大学) 2019年4月16日 (2019 - 04 - 16) 说明书第[0013]-[0026]段	1-10	A	US 2020052792 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 2020年2月13日 (2020 - 02 - 13) 全文	1-10	A	CN 113031161 A (北京邮电大学) 2021年6月25日 (2021 - 06 - 25) 全文	1-10	A	CN 108616686 A (南京理工大学) 2018年10月2日 (2018 - 10 - 02) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
PX	CN 113392965 A (苏州浪潮智能科技有限公司) 2021年9月14日 (2021 - 09 - 14) 权利要求1-10	1-10																		
X	CN 109639359 A (上海交通大学) 2019年4月16日 (2019 - 04 - 16) 说明书第[0013]-[0026]段	1-10																		
A	US 2020052792 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 2020年2月13日 (2020 - 02 - 13) 全文	1-10																		
A	CN 113031161 A (北京邮电大学) 2021年6月25日 (2021 - 06 - 25) 全文	1-10																		
A	CN 108616686 A (南京理工大学) 2018年10月2日 (2018 - 10 - 02) 全文	1-10																		
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																				
<table border="0"> <tr> <td> * 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 </td> <td> “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 </td> </tr> </table>			* 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																
* 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 2022年4月21日		国际检索报告邮寄日期 2022年5月13日																		
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 焦月 电话号码 86-(10)-53961306																		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/134194

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	113392965	A	2021年9月14日	无	
CN	109639359	A	2019年4月16日	无	
US	2020052792	A1	2020年2月13日	CN 109792297 A	2019年5月21日
				WO 2018074412 A1	2018年4月26日
				US 2020244369 A1	2020年7月30日
				JP 6560458 B2	2019年8月14日
CN	113031161	A	2021年6月25日	无	
CN	108616686	A	2018年10月2日	无	