(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
2019 年 11 月 7 日 (07.11.2019)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2019/210671 A1

(51) 国际专利分类号:
G01R 27/28 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/114490

(22) 国际申请日: 2018 年 11 月 8 日 (08.11.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201810407639.X 2018年5月2日 (02.05.2018) CN

(71) 申请人: 上海交通大学 (**SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY**) [CN/CN]; 中国上海市东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。

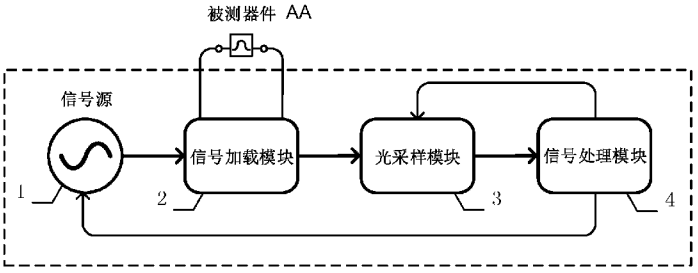
(72) 发明人: 吴龟灵 (**WU, Guiling**); 中国上海市东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。 丁玟 (**DING, Min**); 中国上海市东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。 金钲韬 (**JIN, Zheng Tao**); 中国上海市东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。 陈建平 (**CHEN, Jianping**); 中国上海市闵行区东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。

(74) 代理人: 上海恒慧知识产权代理事务所（特殊普通合伙） (**SHANGHAI HENGHUI INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY**); 中国上海市徐汇区宜山路801号金陵商务广场A座504室张宁展, Shanghai 200233 (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(54) **Title:** MICROWAVE PHOTON VECTOR NETWORK ANALYZING DEVICE AND MEASURING METHOD FOR MICROWAVE COMPONENT SCATTERING PARAMETER

(54) 发明名称: 微波光子矢量网络分析装置及微波器件散射参数的测量方法



1 SIGNAL SOURCE
2 SIGNAL LOADING MODULE
3 OPTICAL SAMPLING MODULE
4 SIGNAL PROCESSING MODULE
AA TESTED COMPONENT

图 1

(57) **Abstract:** A microwave photon vector network analyzing device and a measuring method for a microwave component scattering parameter. The device comprises a microwave source (1). Provided sequentially in a signal output direction of the microwave source (1) are a signal loading module (2), an optical sampling module (3), and a signal processing module (4). An output end of the signal processing module (4) is connected respectively to a control end of the microwave source (1) and that of the optical sampling module (3). Either test port of the signal loading module (2) is connected to either end of a component to be tested. The device is capable of direct sampling of and frequency conversion with respect to a microwave signal, obviates a superheterodyne structure and/or a direct conversion structure in a conventional network analyzing instrument, thus simplifying system structure while increasing the range of measurement frequencies and avoiding problems such as mirror interference, and reducing system complexity, costs, and power consumption.

WO 2019/210671 A1

[见续页]

(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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：一种微波光子矢量网络分析装置及微波器件散射参数的测量方法，装置包括微波源（1），沿该微波源（1）的信号输出方向依次是信号加载模块（2）、光采样模块（3）和信号处理模块（4），该信号处理模块（4）的输出端分别与该微波源（1）和光采样模块（3）的控制端相连；该信号加载模块（2）的两个测试端口与待测器件的两端相连。该装置能对微波信号直接采样与变频，抛弃了传统网络分析仪中的超外差结构和/或直接变频结构，在提高测量频率范围、避免镜像干扰等问题的同时，简化了系统的结构，降低了系统的复杂度、成本和功耗等。

微波光子矢量网络分析装置及微波器件散射参数的测量方法

技术领域

本发明涉及光信息处理技术，特别是一种微波光子矢量网络分析装置及微波器件散射参数的测量方法。

背景技术

矢量网络分析装置是电子以及通信等领域的基本测试仪器。主要用于测量微波端口网络的散射参数，即 S 参数。现代微波矢量网络分析装置在诸多方面都有了较大的提升。但由于幅相接收机带宽有限，无法对高频信号直接获取，在测量微波器件时，通常要采用外差和/或直接变频的方式实现高频部分信号的接收。外差方式接收采用混频原理，为了实现镜像抑制、本振隔离及高灵敏度接收，需要采用多级混频结构、选频特性好的滤波器与锁相单元。这种架构结构复杂的，大量分离元件降低了集成度，使得价格、尺寸、重量和功耗大大增加。直接变频技术直接将接收到的信号变频为基带信号，省略了镜像抑制滤波器以及中频滤波器，使系统的体积、功耗等有所下降。但又引入了 I/Q 平衡、LO 泄漏和直流失调、带内谐波、1/f 噪声等问题（参见 Mirabbasi S, Martin K. Classical and modern receiver architectures[J]. Communications Magazine IEEE, 2000, 38(11):132-139.）。

光子器件比电子器件具有大带宽、高精度、低抖动等优势。微波光子学技术结合了光子学与电子学两者的优势，具备突破传统微波测量与信号处理“电子瓶颈”的巨大潜力，引起了广泛的关注。目前，已提出多种基于光子学技术的微波测量与信号处理方案，如微波无源测向（Pan S, Yao J. Photonics-Based Broadband Microwave Measurement[J]. Journal of Lightwave Technology, 2017, 35(16):3498-3513.）、微波光子滤波器（Qi C, Pei L, Guo L, et al. Microwave photonic filter[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2009, 33(3):83-87.）、光模数转换（Su F, Wu G, Ye L, et al. Effects of the photonic

sampling pulse width and the photodetection bandwidth on the channel response of photonic ADCs[J]. Optics Express, 2016, 24(2):924.）等。Frankel M Y 等提出了一种基于外部电光采样的超宽带矢量网络分析装置(Frankel M Y, Whitaker J F, Mourou G A, et al. Ultrahigh-bandwidth vector network analyzer based on external electro-optic sampling[J]. Solid-State Electronics, 1992, 35(3):325-332.)，采用飞秒级的光脉冲控制高速光电导开关产生的 ps 级的电脉冲作为激励信号，经过时域电光采样获得被测微波器件的冲激响应，并通过傅里叶变换得到频域特性。但该方法中所需的傅里叶变换计算复杂且精度受到窗函数的影响，从而限制了其在高精度测量下的应用。

发明内容

针对上述现有技术的不足，本发明提供一种微波光子矢量网络分析装置及微波器件散射参数的测量方法，该仪器利用光采样技术，实现对微波信号直接采样与变频，抛弃了传统网络分析仪中的超外差结构和/或直接变频结构，在提高测量频率范围、避免镜像干扰等问题的同时，简化了系统的结构，降低了系统的复杂度、成本和功耗等。

本发明的技术解决方案如下：

一种微波光子矢量网络分析装置，其特点在于，包括微波源，沿该微波源的信号输出方向依次是信号加载模块、光采样模块和信号处理模块，所述的信号处理模块的输出端分别与所述的微波源和光采样模块的控制端相连；所述的信号加载模块的两个测试端口与待测器件的两端相连。

所述的微波光子矢量网络分析装置有两种具体结构：

所述的微波光子矢量网络分析装置之一的具体结构如下：

所述的信号加载模块包括功分器、微波开关、第一定向耦合器和第二定向耦合器，所述的光采样模块包括光脉冲序列发生器、光耦合器、参考支路调制器、第一测试支路调制器、第二测试支路调制器、光电探测模块、电模数转换模块和同步模块；

所述的功分器的输入端与所述的微波源的输出端相连，所述的功分器有两个输出端：一个输出端与所述的微波开关的输入端相连，该微波开关分为 2 个输出端：第①输出端与第一定向耦合器的输入端相连，第一定向耦合器的一个输出端为所述的信号加载模块的测试端口一，与待测微波器件的一端相连，第一定向耦合器的另一输出端与所述的第一测试支路调制器的射频输入端相连；所述的微波开关的第②输出端与所述的第二定向耦合器的输入端相连，第二定向耦合器的一个输出端为所述的信号加载模块的测试端口二，与待测微波器件的另一端相连，第二定向耦合器的另一输出端与所述的第二测试支路调制器的射频输入端相连；所述的功分器的另一输出端与所述的的参考支路调制器的射频输入端口相连；

所述的光脉冲序列发生器的输出端与所述的光耦合器的输入端相连，该光耦合器的三个输出端分别与所述的参考支路调制器、第一测试支路调制器、第二测试支路调制器的输入端相连，三路调制器的输出端各与所述的光电探测模块中的一个光电探测器的输入端相连，该光电探测模块中的每一光电探测器与所述的电模数转换模块中的一个电模数转换器相连，三个电模数转换器的输出端与所述的信号处理模块的输入端相连，所述的信号处理模块的两个输出端分别与所述的光脉冲序列发生器的控制端、微波源的控制端相连，使所述的光脉冲序列发生器产生周期性光脉冲序列，单个光脉冲时域外形的傅立叶带宽大于测量的微波频率范围，光脉冲序列的周期由信号处理模块配置，使光脉冲序列的重复频率不为微波源输出信号频率的整数倍；所述的同步模块分别与所述的光脉冲序列发生器及电模数转换模块相连，使光脉冲序列发生器与电模数转换模块同步，以保证电模数转换模块采样率与光脉冲序列发生器输出脉冲序列的重复频率相同。

所述的微波光子矢量网络分析装置之二的具体结构如下：

所述的信号加载模块包括：微波开关、第一功分器、第一定向耦合器、第二功分器、第二定向耦合器；所述的光采样模块包括光脉冲序列发生器、光耦合器、第一参考支路调制器、第一测试支路调制器、第二测试支路调制器、第二参考支路调制器、光电探测模块、电模数转换模块和同步模块；

所述的微波开关的输入端与所述的微波源的微波输出端相连，该微波开关分为2个输出端：第①输出端与第一功分器的输入端相连，第一功分器的输出分为两路：一路输出与第一定向耦合器的输入端相连，第一定向耦合器的一个输出端为

所述的信号加载模块的测试端口一，与待测微波器件的一端相连，第一定向耦合器的另一输出端与所述的第一测试支路调制器的射频输入端相连，第一功分器的另一路输出端与第一参考支路调制器的射频输入端相连；所述的微波开关的第②输出端与第二功分器输入端相连，第二功分器的输出分为两路：一路输出与第二定向耦合器的输入端相连，第二定向耦合器的一个输出端为所述的信号加载模块的测试端口二，与待测微波器件的另一端相连，第二定向耦合器的另一路输出端与所述的第二测试支路调制器的射频输入端相连，第二功分器的另一个输出端与所述的第二参考支路调制器的射频输入端相连；

所述的光脉冲序列发生器与所述的光耦合器的输入端相连，该光耦合器分为四个输出端，分别与所述的第一参考支路调制器、第一测试支路调制器、第二测试支路调制器、第二参考支路调制器的输入端相连，四路调制器的输出端各与所述的光电探测模块中的一个光电探测器的输入端相连，所述的光电探测模块中的每一光电探测器与所述的电模数转换模块中的一个电模数转换器相连，各电模数转换器的输出端与所述的信号处理模块相连，所述的信号处理模块与所述的微波源和光脉冲序列发生器的控制端相连，在所述的信号处理模块的控制下，所述的光脉冲序列发生器产生周期性光脉冲序列，单个光脉冲时域外形的傅立叶带宽大于测量的微波频率范围，光脉冲序列的周期由信号处理模块配置，使光脉冲序列的重复频率不为微波源输出信号频率的整数倍，所述的同步模块分别与光脉冲序列发生器及电模数转换模块相连，使光脉冲序列发生器与电模数转换模块同步，以保证电模数转换模块采样率与光脉冲序列发生器输出脉冲序列的重复频率相同。

利用所述的微波光子矢量网络分析装置之一对微波器件散射参数的测试方法，其特征在于，该方法包括以下步骤：

1）设定测试频率范围为 f_M～f_N，分辨率为Δf，令 $f_i=f_M$；

2）将被测微波器件的两个端口分别连接到信号加载模块的测试端口一和测试端口二之间；

3）所述的信号处理模块指令微波源产生频率 f_i的单频信号，该单频信号被功分器分为两路：一路输入光采样模块的参考支路调制器的射频输入端口；另一路加载到所述的微波开关输入端；

4）所述的微波开关切换至第①输出端，将输入的信号经所述的第一定向耦合器加载到待测微波器件的一个端口上，透过待测微波器件的信号经第二定向耦合器输入所述的第二测试支路调制器的射频输入端口；被待测微波器件反射的信号，经第一定向耦合器输入所述的第一测试支路调制器的射频输入端口；

5）所述的光脉冲序列发生器输出的光脉冲序列经所述的光耦合器功分为三路，分别作为参考支路、第一测试支路、第二测试支路的采样脉冲序列；参考支路调制器对功分器输出的微波信号直接采样；第一测试支路调制器、第二测试支路调制器分别对被测器件反射和透射的信号进行采样；三路采样信号经光电探测模块、电模数转换模块得到相应的数字化采样结果送入所述的信号处理模块；

6)所述的信号处理模块计算第一测试支路的信号幅度 A_{11},以及第一测试支路信号与参考支路信号的相位差 θ_{11},得到待测微波器件在该频点的 S11 参数：$A_{11}\exp(j\theta_{11})$，其中 j 为虚数单位；

7）所述的信号处理模块计算第二测试支路信号的幅度 A_{21}，以及第二测试支路的信号与参考支路信号的相位差 θ_{21}，得到待测微波器件在该频点 S21 参数，该参数可以表示为 $A_{21}\exp(j\theta_{21})$，其中 j 为虚数单位；

8）将所述的微波开关切换至第②输出端，将输入的信号经第二定向耦合器加载到待测微波器件的另一端口上，透过待测微波器件的信号经第一定向耦合器输入所述的第一测试支路调制器的射频输入端口；被待测微波器件反射的信号，经第二定向耦合器输入所述的第二测试支路调制器的射频输入端口；

9）所述的光脉冲序列发生器输出的光脉冲序列经所述的光耦合器功分为三路，分别作为参考支路、第一测试支路、第二测试支路的采样脉冲序列；参考支路调制器对功分器输出的微波信号直接采样；第一测试支路调制器、第二测试支路调制器分别对被测器件透射和反射的信号进行采样；三路采样信号经光电探测模块、电模数转换模块得到相应的数字化采样结果送入所述的信号处理模块；

10)所述的信号处理模块计算第一测试支路的信号幅度 A_{12}，以及第一测试支路的信号与参考支路信号的相位差 θ_{12}，得到待测微波器件在该频点 S12 参数，该参数可以表示为 $A_{12}\exp(j\theta_{12})$，其中 j 为虚数单位；

11)所述的信号处理模块计算第二测试支路的信号的幅度 A_{22}，以及第二测试支路的信号与参考支路信号的相位差 θ_{22}，得到待测微波器件在该频点 S22 参数，该参数可以表示为 $A_{22}\exp(j\theta_{22})$，其中 j 为虚数单位；

12）令 $f_i=f_i+\Delta f$，当 $f_i\leq f_N$,返回步骤 3）；否则，则进入下一步；

13）根据已知的校准参数及相应的校准方法对测得的 S11、S12、S21、S22 进行校准。

利用微波光子矢量网络分析装置之二对微波器件散射参数的测试方法，其特点在于，该方法包括以下步骤：

1）设定测试频率范围为 $f_M\sim f_N$，分辨率为Δf，令 $f_i=f_M$；

2）将被测微波器件的两个端口分别连接到信号加载模块的测试端口一和测试端口二之间；

3）所述的信号处理模块指令微波源产生频率 f_i的单频信号，该信号被送入微波开关；

4）所述的微波开关切换至①侧，单频信号被第一功分器分为两路，一路输入光采样模块的第一参考支路调制器的射频输入端口；另一路加载到第一定向耦合器上；

5）所述的第一定向耦合器将输入的信号加载到被测微波器件的一个端口上，透过被测微波器件的信号输入光采样模块的第二测试支路调制器的射频输入端口；被被测微波器件反射的信号，经第一定向耦合器输入光采样模块的第二测试支路调制器的射频输入端口。

6）所述的光脉冲序列发生器输出的光脉冲序列经所述的光耦合器功分为四路，分别作为第一参考支路、第一测试支路、第二测试支路、第二参考支路的采样脉冲序列；第一参考支路调制器对第一功分器输出的微波信号直接采样；第一测试支路调制器、第二测试支路调制器分别对被测器件反射和透射的信号进行采样；三路采样信号经光电探测模块、电模数转换模块得到相应的数字化采样结果送入所述的信号处理模块；

7）所述的信号处理模块计算第一测试支路信号的幅度 A_{11}，以及第一测试支路的信号与第一参考支路信号的相位差 θ_{11}，得到待测微波器件在该频点 S11 参数，该参数表示为 $A_{11}\exp(j\theta_{11})$，其中 j 为虚数单位；

8）所述的信号处理模块计算第二测试支路的信号的幅度 A_{21} 以及第二测试支路的信号与第一参考支路信号的相位差 θ_{21}，得到待测微波器件在该频点 S21 参数，该参数表示为 $A_{21}\exp(j\theta_{21})$，其中 j 为虚数单位；

9）所述的微波开关切换至②侧，单频信号被第二功分器分为两路，一路输入光采样模块的第二参考支路调制器的射频输入端口；另一路加载到第二定向耦合器上；

10）所述的光脉冲序列发生器输出的光脉冲序列经所述的光耦合器功分为四路，分别作为第一参考支路、第一测试支路、第二测试支路、第二参考支路的采样脉冲序列；参考支路调制器二对第二功分器输出的微波信号直接采样；第一测试支路调制器、第二测试支路调制器分别对被测器件透射和反射的信号进行采样；三路采样信号经光电探测模块、电模数转换模块得到相应的数字化的采样结果送入所述的信号处理模块；

11)所述的信号处理模块计算第一测试支路的信号的幅度 A_{12}，以及第一测试支路的信号与第二参考支路信号的相位差 θ_{12},得到待测微波器件在该频点S12参数，该参数表示为 $A_{12}\exp(j\theta_{12})$，其中 j 为虚数单位；

12)所述的信号处理模块计算第二测试支路的信号的幅度 A_{22}，以及第二测试支路的信号与第二参考支路端口信号的相位差 θ_{22}，得到待测微波器件在该频点 S22 参数，该参数表示为 $A_{22}\exp(j\theta_{22})$，其中 j 为虚数单位；

13）令 $f_i=f_i+\Delta f$，当 $f_i\leq f_N$,返回步骤 3）；否则，则进入下一步；

14）根据已知的校准参数及相应的校准方法对测得的 S11、S12、S21、S22 进行校准。

与现有技术相比，本发明有以下优点：

1） 本发明利用光子采样技术，无需使用外差结构或直接变频结构接收信号，抛弃了混频器、锁相环以及滤波器等器件，可有效降低系统的复杂性、尺寸、重量、功耗等，提高了系统带宽，扩大了测试频率范围，并且不存在镜像抑制、I/Q 平衡、LO 泄漏和直流失调等问题。

2） 利用成熟商用的光电子器件，具有成本较低、实现相对简单、易于集成的特点。

附图说明

图 1 为本发明微波光子矢量网络分析装置的结构示意图。

图 2 为本发明微波光子矢量网络分析装置实施例 1 的结构示意图。

图 3 为本发明微波光子矢量网络分析装置实施例 2 的结构示意图。

具体实施方式

下面结合附图 2、3 给出本发明的两个最佳实施例。本最佳实施例以本发明的技术方案为前提进行实施，给出了详细的实施方式和过程，但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

实施例 1：

请参见图 2，图 2 为本发明微波光子矢量网络分析装置实施例 1 的结构示意图。由图可见，本实施例微波光子矢量网络分析装置，包括微波源 1，沿该微波源 1 的信号输出方向依次是信号加载模块 2、光采样模块 3 和信号处理模块 4，所述的信号处理模块 4 的输出端分别与所述的微波源 1 和光采样模块 3 的控制端相连；所述的信号加载模块 2 的两个测试端口与待测器件的两端相连。

所述的信号加载模块 2 包括功分器 2-1、微波开关 2-2、第一定向耦合器 2-3 和第二定向耦合器 2-4，所述的光采样模块 3 包括光脉冲序列发生器 3-1、光耦合器 3-2、参考支路调制器 3-3、第一测试支路调制器 3-4、第二测试支路调制器 3-5、光电探测模块 3-6、电模数转换模块 3-7 和同步模块 3-8；

所述的功分器 2-1 的输入端与所述的微波源 1 的输出端相连，所述的功分器 2-1 有两个输出端：一个输出端与所述的微波开关 2-2 的输入端相连，该微波开关 2-2 分为 2 个输出端①②：第①输出端与第一定向耦合器 2-3 的输入端相连，第一定向耦合器 2-3 的一个输出端为所述的信号加载模块 2 的测试端口一，与待测微波器件的一端相连，第一定向耦合器 2-3 的另一输出端与所述的第一测试支路调制器 3-4 的射频输入端相连；所述的微波开关 2-2 的第②输出端与所述的第二定向耦合器 2-4 的输入端相连，第二定向耦合器 2-4 的一个输出端为所述的信号加载模块 2 的测试端口二，与待测微波器件的另一端相连，第二定向耦合器 2-4 的另一输出端

与所述的第二测试支路调制器 3-5 的射频输入端相连；所述的功分器 2-1 的另一输出端与所述的的参考支路调制器 3-3 的射频输入端口相连；

所述的光脉冲序列发生器 3-1 的输出端与所述的光耦合器 3-2 的输入端相连，该光耦合器 3-2 的三个输出端分别与所述的参考支路调制器 3-3、第一测试支路调制器 3-4、第二测试支路调制器 3-5 的输入端相连，三路调制器的输出端各与所述的光电探测模块 3-6 中的一个光电探测器的输入端相连，该光电探测模块 3-6 中的每一光电探测器与所述的电模数转换模块 3-7 中的一个电模数转换器相连，三个电模数转换器的输出端与所述的信号处理模块 4 的输入端相连，所述的信号处理模块 4 的两个输出端分别与所述的光脉冲序列发生器 3-1 的控制端、微波源 1 的控制端相连，使所述的光脉冲序列发生器 3-1 产生周期性光脉冲序列，单个光脉冲时域外形的傅立叶带宽大于测量的微波频率范围，光脉冲序列的周期由信号处理模块 4 配置，使光脉冲序列的重复频率不为微波源 1 输出信号频率的整数倍；所述的同步模块 3-8 分别与所述的光脉冲序列发生器 3-1 及电模数转换模块 3-7 相连，使光脉冲序列发生器 3-1 与电模数转换模块 3-7 同步，以保证电模数转换模块 3-7 采样率与光脉冲序列发生器 3-1 输出脉冲序列的重复频率相同。

本实施例的测试过程包括以下步骤：

1） 设定测试频率范围为 f_M～f_N，分辨率为Δf，令 $f_i=f_M$；

2） 将被测微波器件的两个端口分别连接到信号加载模块 2 的测试端口一和测试端口二之间；

3） 所述的信号处理模块 4 指令微波源 1 产生频率 f_i 的单频信号，该单频信号被功分器 2-1 分为两路：一路输入光采样模块 3 的参考支路调制器 3-3 的射频输入端口；另一路加载到所述的微波开关 2-2 输入端；

4） 所述的微波开关 2-2 切换至第①输出端，将输入的信号经所述的定向耦合器一 2-3 加载到待测微波器件的一个端口上，透过待测微波器件的信号经定向耦合器二 2-4 输入所述的第二测试支路调制器 3-5 的射频输入端口；被待测微波器件反射的信号，经第一定向耦合器 2-3 输入所述的第一测试支路调制器 3-4 的射频输入端口；

5） 所述的锁模激光器 3-1 输出的光脉冲序列经所述的光耦合器 3-2 分为三路，分别作为参考支路、第一测试支路、第二测试支路的采样脉冲序列；参考支

路调制器 3-3 对功分器 2-1 输出的微波信号直接采样；第一测试支路调制器 3-4、第二测试支路调制器3-5分别对被测器件反射和透射的信号进行采样；三路采样信号经光电探测模块 3-6、电模数转换模块 3-7 得到相应的数字化采样结果送入所述的信号处理模块 4；

6) 所述的信号处理模块 4 计算第一测试支路信号的幅度 A_{11},以及第一测试支路信号与参考支路信号的相位差 θ_{11},从而得到待测微波器件在该频点的 S11 参数：$A_{11}\exp(j\theta_{11})$，其中 j 为虚数单位；

7) 所述的信号处理模块 4 计算第二测试支路信号的幅度 A_{21}，以及第二测试支路信号与参考支路信号的相位差 θ_{21}，从而得到待测微波器件在该频点 S21 参数，该参数可以表示为 $A_{21}\exp(j\theta_{21})$，其中 j 为虚数单位；

8) 将所述的微波开关 2-2 切换至第②输出端，将输入的信号经定向耦合器二 2-4 加载到待测微波器件的另一端口上，透过待测微波器件的信号经定向耦合器一 2-3 输入所述的第一测试支路调制器 3-3 的射频输入端口；被待测微波器件反射的信号，经定向耦合器二 2-3 输入所述的第二测试支路调制器 3-4 的射频输入端口；

9) 所述的光脉冲序列发生器 3-1 输出的光脉冲序列经所述的光耦合器 3-2 功分为三路，分别作为参考支路、第一测试支路、第二测试支路的采样脉冲序列；参考支路调制器 3-3 对功分器 2-1 输出的微波信号直接采样；第一测试支路调制器 3-4、第二测试支路调制器3-5分别对被测器件透射/反射的信号进行采样；三路采样信号经光电探测模块 3-6、电模数转换模块 3-7 得到相应的数字化的采样结果送入所述的信号处理模块 4；

10) 所述的信号处理模块 4 计算第一测试支路信号的幅度 A_{12}，以及第一测试支路信号与参考支路信号的相位差 θ_{12}，从而得到待测微波器件在该频点 S12 参数，该参数可以表示为 $A_{12}\exp(j\theta_{12})$，其中 j 为虚数单位；

11) 所述的信号处理模块 4 计算第二测试支路的信号的幅度 A_{22}，以及第二测试支路的信号与参考支路信号的相位差 θ_{22}，得到待测微波器件在该频点 S22 参数，该参数可以表示为 $A_{22}\exp(j\theta_{22})$，其中 j 为虚数单位；

12) 令 $f_i=f_i+\Delta f$，当 $f_i\leq f_N$,返回步骤 3）；否则，则进入下一步；

13) 根据已知的校准参数及相应的校准方法对测得的S11、S12、S21、S22进行校准。

实施例 2：

系统结构如图 3 所示，该系统依次包括：微波源 1、信号加载模块 2、光采样模块 3 和信号处理模块 4。其中，信号加载模块 2 包括：微波开关 2-1、第一功分器 2-2、第一定向耦合器 2-3、第二定向耦合器 2-4、第二功分器 2-5。光采样模块 3 包括：锁模激光器 3-1、光耦合器 3-2、第一参考支路调制器 3-3、第一测试支路调制器 3-4、第二测试支路调制器 3-5、第二参考支路调制器 3-9、光电探测模块 3-6、电模数转换模块 3-7、 同步模块 3-8。

本实施例的测试过程包括以下步骤：

1） 设定测试频率范围为 f_M～f_N，分辨率为Δf，令 $f_i=f_M$；

2） 将被测微波器件的两个端口分别连接到信号加载模块 2 的测试端口一和测试端口二之间；

3） 所述的信号处理模块 4 指令微波源 1 产生频率 f_i的单频信号，该信号被送入微波开关 2-1。

4） 所述的微波开关 2-1 切换至①侧，单频信号被第一功分器 2-2 分为两路，一路输入光采样模块 3 的第一参考支路调制器 3-3 的射频输入端口；另一路加载到第一定向耦合器 2-3 上；

5） 所述的第一定向耦合器 2-3 将输入的信号加载到被测微波器件的一个端口上，透过被测微波器件的信号输入光采样模块 3 的第二测试支路调制器 3-5 的射频输入端口；被被测微波器件反射的信号，经第一定向耦合器 2-3 输入光采样模块 3 的第二测试支路调制器 3-4 的射频输入端口；

6） 所述的锁模激光器 3-1 输出的光脉冲序列经所述的光耦合器 3-2 功分为四路，分别作为第一参考支路、第一测试支路、第二测试支路、第二参考支路的采样脉冲序列；第一参考支路调制器 3-3 对第一功分器 2-2 输出的微波信号直接采样；第一测试支路调制器 3-4、第二测试支路调制器 3-5 分别对被测器件反射和透射的信号进行采样；三路采样信号经光电探测模块 3-7、电模数转换模块 3-8 得到相应的数字化采样结果送入所述的信号处理模块 4；

7） 所述的信号处理模块 4 计算第一测试支路的信号的幅度 A_{11}，以及第一测试支路的信号与第一参考支路信号的相位差 θ_{11}，从而得到待测微波器件在该频点 S11 参数，该参数可以表示为 $A_{11}\exp(j\theta_{11})$，其中 j 为虚数单位；

8) 所述的信号处理模块 4 计算第二测试支路的信号的幅度 A_{21} 以及第二测试支路的信号与第一参考支路信号的相位差 θ_{21}，从而得到待测微波器件在该频点 S21 参数，该参数可以表示为 $A_{21}\exp(j\theta_{21})$，其中 j 为虚数单位；

9) 所述的微波开关 2-1 切换至②侧，单频信号被第二功分器 2-4 分为两路，一路输入光采样模块 3 的第二参考支路调制器 3-9 的射频输入端口；另一路加载到定向耦合器二 2-5 上；

10) 所述的锁模激光器 3-1 输出的光脉冲序列经所述的光耦合器 3-2 功分为四路，分别作为第一参考支路、第一测试支路、第二测试支路、第二参考支路的采样脉冲序列；参考支路调制器二 3-6 对第二功分器 2-4 输出的微波信号直接采样；第一测试支路调制器 3-4、第二测试支路调制器 3-5 分别对被测器件透射和反射的信号进行采样；三路采样信号经光电探测模块 3-7、电模数转换模块 3-8 得到相应的数字化采样结果送入所述的信号处理模块 4；

11) 所述的信号处理模块 4 计算第一测试支路的信号的幅度 A_{12}，以及第一测试支路的信号与第二参考支路信号的相位差 θ_{12}，从而得到待测微波器件在该频点 S12 参数，该参数可以表示为 $A_{12}\exp(j\theta_{12})$，其中 j 为虚数单位；

12) 所述的信号处理模块 4 计算第二测试支路的信号的幅度 A_{22}，以及第二测试支路的信号与第二参考支路端口信号的相位差 θ_{22}，从而得到待测微波器件在该频点 S22 参数，该参数可以表示为 $A_{22}\exp(j\theta_{22})$，其中 j 为虚数单位；

13) 令 $f_i=f_i+\Delta f$，当 $f_i\leq f_N$，返回步骤 3）；否则，则进入下一步；

14) 根据已知的校准参数及相应的校准方法对测得的S11、S12、S21、S22进行校准。

实验表明，本发明利用光子采样技术，无需使用外差结构或直接变频结构接收信号，抛弃了混频器、锁相环以及滤波器等器件，可有效降低系统的复杂性、尺寸、重量、功耗等，提高了系统带宽，扩大了测试频率范围，并且不存在镜像抑制、I/Q 平衡、LO 泄漏和直流失调等问题。本发明具有成本较低、实现相对简单、易于集成的特点。

权 利 要 求 书

1、一种微波光子矢量网络分析装置，其特征在于，包括微波源（1），沿该微波源（1）的信号输出方向依次是信号加载模块（2）、光采样模块（3）和信号处理模块（4），所述的信号处理模块（4）的输出端分别与所述的微波源（1）和光采样模块（3）的控制端相连；所述的信号加载模块（2）的两个测试端口与待测器件的两端相连。

2、根据权利要求 1 所述的微波光子矢量网络分析装置，其特征在于：所述的信号加载模块（2）包括功分器（2-1）、微波开关（2-2）、第一定向耦合器（2-3）和第二定向耦合器（2-4），所述的光采样模块（3）包括光脉冲序列发生器（3-1）、光耦合器（3-2）、参考支路调制器（3-3）、第一测试支路调制器（3-4）、第二测试支路调制器（3-5）、光电探测模块（3-6）、电模数转换模块（3-7）和同步模块（3-8）；

所述的功分器（2-1）的输入端与所述的微波源（1）的输出端相连，所述的功分器（2-1）有两个输出端：一个输出端与所述的微波开关（2-2）的输入端相连，该微波开关（2-2）分为 2 个输出端（①②）：第①输出端与第一定向耦合器（2-3）的输入端相连，第一定向耦合器（2-3）的一个输出端为所述的信号加载模块（2）的测试端口一，与待测微波器件的一端相连，第一定向耦合器（2-3）的另一输出端与所述的第一测试支路调制器（3-4）的射频输入端相连；所述的微波开关（2-2）的第②输出端与所述的第二定向耦合器（2-4）的输入端相连，第二定向耦合器（2-4）的一个输出端为所述的信号加载模块（2）的测试端口二，与待测微波器件的另一端相连，第二定向耦合器（2-4）的另一输出端与所述的第二测试支路调制器（3-5）的射频输入端相连；所述的功分器（2-1）的另一输出端与所述的的参考支路调制器（3-3）的射频输入端口相连；

所述的光脉冲序列发生器（3-1）的输出端与所述的光耦合器（3-2）的输入端相连，该光耦合器（3-2）的三个输出端分别与所述的参考支路调制器（3-3）、第一测试支路调制器（3-4）、第二测试支路调制器（3-5）的输入端相连，三路调制器的输出端各与所述的光电探测模块（3-6）中的一个光电探测器的输入端相连，该光电探测模块（3-6）中的每一光电探测器与所述的电模数转换模块（3-7）中的一个电模数转换器相连，三个电模数转换器的输出端与所述的信号处理模块（4）

的输入端相连，所述的信号处理模块（4）的两个输出端分别与所述的光脉冲序列发生器（3-1）的控制端、微波源（1）的控制端相连，使所述的光脉冲序列发生器（3-1）产生周期性光脉冲序列，单个光脉冲时域外形的傅立叶带宽大于测量的微波频率范围，光脉冲序列的周期由信号处理模块（4）配置，使光脉冲序列的重复频率不为微波源（1）输出信号频率的整数倍；所述的同步模块（3-8）分别与所述的光脉冲序列发生器（3-1）及电模数转换模块（3-7）相连，使光脉冲序列发生器（3-1）与电模数转换模块（3-7）同步，以保证电模数转换模块（3-7）采样率与光脉冲序列发生器（3-1）输出脉冲序列的重复频率相同。

3、根据权利要求 1 所述的微波光子矢量网络分析装置，其特征在于，所述的信号加载模块（2）包括：微波开关（2-1）、第一功分器（2-2）、第一定向耦合器（2-3）、第二功分器（2-5）、第二定向耦合器（2-4）；所述的光采样模块（3）包括光脉冲序列发生器（3-1）、光耦合器（3-2）、第一参考支路调制器（3-3）、第一测试支路调制器（3-4）、第二测试支路调制器（3-5）、第二参考支路调制器（3-9）、光电探测模块（3-6）、电模数转换模块（3-7）和同步模块（3-8）；

所述的微波开关（2-1）的输入端与所述的微波源（1）的微波输出端相连，该微波开关（2-1）分为 2 个输出端（①②）：第①输出端与第一功分器（2-2）的输入端相连，第一功分器（2-2）的输出分为两路：一路输出与第一定向耦合器（2-3）的输入端相连，第一定向耦合器（2-3）的一个输出端为所述的信号加载模块（2）测试端口一，与待测微波器件的一端相连，第一定向耦合器（2-3）的另一输出端与所述的第一测试支路调制器（3-4）的射频输入端相连，第一功分器（2-2）的另一路输出端与第一参考支路调制器（3-3）的射频输入端相连；所述的微波开关（2-1）的第②输出端与第二功分器（2-5）输入端相连，第二功分器（2-5）的输出分为两路：一路输出与第二定向耦合器（2-4）的输入端相连，第二定向耦合器（2-4）的一个输出端为所述的信号加载模块（2）的测试端口二，与待测微波器件的另一端相连，第二定向耦合器（2-4）的另一路输出端与所述的第二测试支路调制器（3-5）的射频输入端相连，第二功分器（2-5）的另一个输出端与所述的第二参考支路调制器（3-9）的射频输入端相连；

所述的光脉冲序列发生器（3-1）与所述的光耦合器（3-2）的输入端相连，该光耦合器（3-2）分为四个输出端，分别与所述的第一参考支路调制器（3-3）、第

一测试支路调制器(3-4)、第二测试支路调制器(3-5)、第二参考支路调制器(3-9)的输入端相连，四路调制器的输出端各与所述的光电探测模块（3-6）中的一个光电探测器的输入端相连，所述的光电探测模块（3-6）中的每一光电探测器与所述的电模数转换模块（3-7）中的一个电模数转换器相连，各电模数转换器的输出端与所述的信号处理模块（4）相连，所述的信号处理模块（4）与所述的微波源（1）和光脉冲序列发生器(3-1)的控制端相连，在所述的信号处理模块(4)的控制下，所述的光脉冲序列发生器（3-1）调整输出脉冲序列的周期（所述的光脉冲序列发生器（3-1）产生周期性光脉冲序列，单个光脉冲时域外形的傅立叶带宽大于测量的微波频率范围，光脉冲序列的周期由信号处理模块（4）配置，使光脉冲序列的重复频率不为微波源（1）输出信号频率的整数倍，所述的同步模块（3-8）分别与光脉冲序列发生器(3-1)及电模数转换模块(3-7)相连，使光脉冲序列发生器(3-1)与电模数转换模块（3-7）同步，以保证电模数转换模块（3-7）采样率与光脉冲序列发生器（3-1）输出脉冲序列的重复频率相同。

4、利用权利要求 2 所述的微波光子矢量网络分析装置对微波器件散射参数的测试方法，其特征在于，该方法包括以下步骤：

1) 设定测试频率范围为 f_M～f_N，分辨率为Δf，令 $f_i=f_M$;

2) 将被测微波器件的两个端口分别连接到信号加载模块(2)的测试端口一和测试端口二之间;

3) 所述的信号处理模块（4）指令微波源（1）产生频率 f_i的单频信号，该单频信号被功分器(2-1)分为两路：一路输入光采样模块(3)的参考支路调制器(3-3)的射频输入端口；另一路加载到所述的微波开关（2-2）输入端;

4) 所述的微波开关（2-2）切换至第①输出端，将输入的信号经所述的第一定向耦合器（2-3）加载到待测微波器件的一个端口上，透过待测微波器件的信号经第二定向耦合器（2-4）输入所述的第二测试支路调制器（3-5）的射频输入端口；被待测微波器件反射的信号，经第一定向耦合器（2-3）输入所述的第一测试支路调制器（3-4）的射频输入端口;

5) 所述的光脉冲序列发生器(3-1)输出的光脉冲序列经所述的光耦合器(3-2)功分为三路，分别作为参考支路、第一测试支路、第二测试支路的采样脉冲序列；参考支路调制器（3-3）对功分器（2-1）输出的微波信号直接采样；第一测试支路

调制器（3-4）、第二测试支路调制器（3-5）分别对被测器件反射和透射的信号进行采样；三路采样信号经光电探测模块（3-6）、电模数转换模块（3-7）得到相应的数字化采样结果送入所述的信号处理模块（4）；

6） 所述的信号处理模块（4）计算第一测试支路的信号幅度 A_{11},以及第一测试支路信号与参考支路信号的相位差 θ_{11},得到待测微波器件在该频点的 S11 参数：$A_{11}\exp(j\theta_{11})$，其中 j 为虚数单位；

7） 所述的信号处理模块（4）计算第二测试支路信号的幅度 A_{21}，以及第二测试支路的信号与参考支路信号的相位差 θ_{21}，得到待测微波器件在该频点 S21 参数，该参数可以表示为 $A_{21}\exp(j\theta_{21})$，其中 j 为虚数单位；

8） 将所述的微波开关（2-2）切换至第②输出端，将输入的信号经第二定向耦合器（2-4）加载到待测微波器件的另一端口上，透过待测微波器件的信号经第一定向耦合器（2-3）输入所述的第一测试支路调制器（3-4）的射频输入端口；被待测微波器件反射的信号，经第二定向耦合器（2-3）输入所述的第二测试支路调制器（3-5）的射频输入端口；

9） 所述的光脉冲序列发生器(3-1)输出的光脉冲序列经所述的光耦合器(3-2)功分为三路，分别作为参考支路、第一测试支路、第二测试支路的采样脉冲序列；参考支路调制器（3-3）对功分器（2-1）输出的微波信号直接采样；第一测试支路调制器（3-4）、第二测试支路调制器（3-5）分别对被测器件透射和反射的信号进行采样；三路采样信号经光电探测模块（3-6）、电模数转换模块（3-7）得到相应的数字化采样结果送入所述的信号处理模块（4）；

10) 所述的信号处理模块（4）计算第一测试支路的信号幅度 A_{12}，以及第一测试支路的信号与参考支路信号的相位差 θ_{12}，得到待测微波器件在该频点 S12 参数，该参数可以表示为 $A_{12}\exp(j\theta_{12})$，其中 j 为虚数单位；

11) 所述的信号处理模块（4）计算第二测试支路的信号的幅度 A_{22}，以及第二测试支路的信号与参考支路信号的相位差 θ_{22},得到待测微波器件在该频点S22参数，该参数可以表示为 $A_{22}\exp(j\theta_{22})$，其中 j 为虚数单位；

12) 令 $f_i=f_i+\Delta f$，当 $f_i\leq f_N$,返回步骤 3）；否则，则进入下一步；

13) 根据已知的校准参数及相应的校准方法对测得的S11、S12、S21、S22进行校准。

5、利用权利要求 3 所述的微波光子矢量网络分析装置对微波器件散射参数的测试方法，其特征在于，该方法包括以下步骤：

1） 设定测试频率范围为 f_M～f_N，分辨率为Δf，令 $f_i=f_M$；

2） 将被测微波器件的两个端口分别连接到信号加载模块(2)的测试端口一和测试端口二之间；

3） 所述的信号处理模块（4）指令微波源（1）产生频率 f_i的单频信号，该信号被送入微波开关（2-1）；

4） 所述的微波开关（2-1）切换至①侧，单频信号被第一功分器（2-2）分为两路，一路输入光采样模块（3）的第一参考支路调制器（3-3）的射频输入端口；另一路加载到第一定向耦合器（2-3）上；

5） 所述的第一定向耦合器（2-3）将输入的信号加载到被测微波器件的一个端口上，透过被测微波器件的信号输入光采样模块（3）的第二测试支路调制器（3-5）的射频输入端口；被被测微波器件反射的信号，经第一定向耦合器（2-3）输入光采样模块（3）的第二测试支路调制器（3-4）的射频输入端口。

6） 所述的光脉冲序列发生器(3-1)输出的光脉冲序列经所述的光耦合器(3-2)功分为四路，分别作为第一参考支路、第一测试支路、第二测试支路、第二参考支路的采样脉冲序列；参考支路调制器一（3-3）对第一功分器（2-2）输出的微波信号直接采样；第一测试支路调制器（3-4）、第二测试支路调制器（3-5）分别对被测器件反射和透射的信号进行采样；三路采样信号经光电探测模块（3-6）、电模数转换模块（3-7）得到相应的数字化采样结果送入所述的信号处理模块（4）；

7） 所述的信号处理模块(4)，计算第一测试支路信号的幅度 A_{11}，以及第一测试支路的信号与第一参考支路信号的相位差 θ_{11}，得到待测微波器件在该频点 S11 参数，该参数表示为 $A_{11}\exp(j\theta_{11})$，其中 j 为虚数单位；

8） 所述的信号处理模块（4），计算第二测试支路的信号的幅度 A_{21} 以及第二测试支路的信号与第一参考支路信号的相位差 θ_{21},得到待测微波器件在该频点 S21 参数，该参数表示为 $A_{21}\exp(j\theta_{21})$，其中 j 为虚数单位；

9） 所述的微波开关（2-1）切换至②侧，单频信号被第二功分器（2-5）分为两路，一路输入光采样模块（3）的第二参考支路调制器（3-9）的射频输入端口；另一路加载到第二定向耦合器（2-4）上；

10) 所述的光脉冲序列发生器(3-1)输出的光脉冲序列经所述的光耦合器(3-2)功分为四路，分别作为第一参考支路、第一测试支路、第二测试支路、第二参考支路的采样脉冲序列；第二参考支路调制器（3-9）对第二功分器（2-5）输出的微波信号直接采样；第一测试支路调制器（3-4）、第二测试支路调制器（3-5）分别对被测器件透射和反射的信号进行采样；三路采样信号经光电探测模块（3-6）、电模数转换模块(3-7)得到相应的数字化的采样结果送入所述的信号处理模块(4)；

11) 所述的信号处理模块(4)，计算第一测试支路的信号的幅度 A_{12}，以及第一测试支路的信号与第二参考支路信号的相位差 θ_{12},得到待测微波器件在该频点 S12 参数，该参数表示为 $A_{12}\exp(j\theta_{12})$，其中 j 为虚数单位；

12) 所述的信号处理模块(4)计算第二测试支路的信号的幅度 A_{22}，以及第二测试支路的信号与第二参考支路的信号相位差 θ_{22}，得到待测微波器件在该频点 S22 参数，该参数表示为 $A_{22}\exp(j\theta_{22})$，其中 j 为虚数单位；

13) 令 $f_i=f_i+\Delta f$，当 $f_i\leq f_N$,返回步骤 3）；否则，则进入下一步；

14) 根据已知的校准参数及相应的校准方法对测得的S11、S12、S21、S22进行校准。

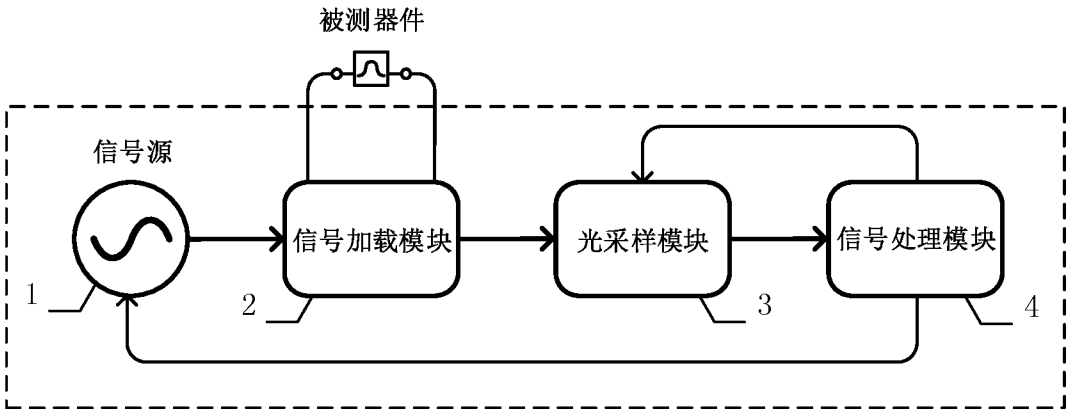

被测器件
信号源
信号加载模块
光采样模块
信号处理模块
1
2
3
4

图 1

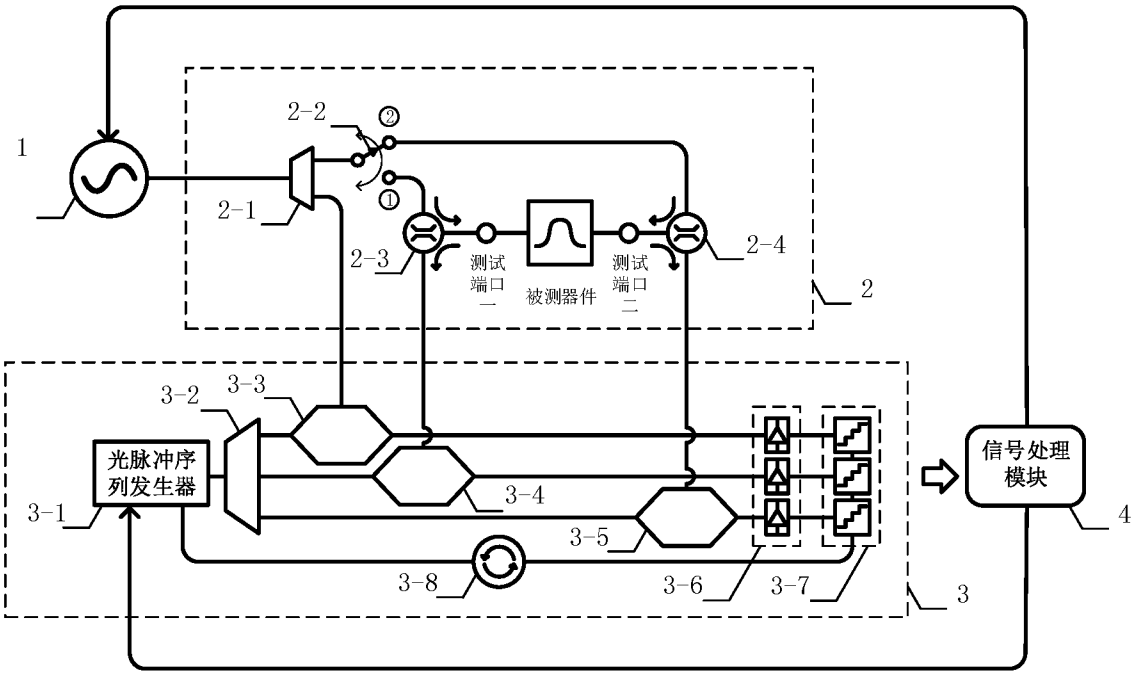
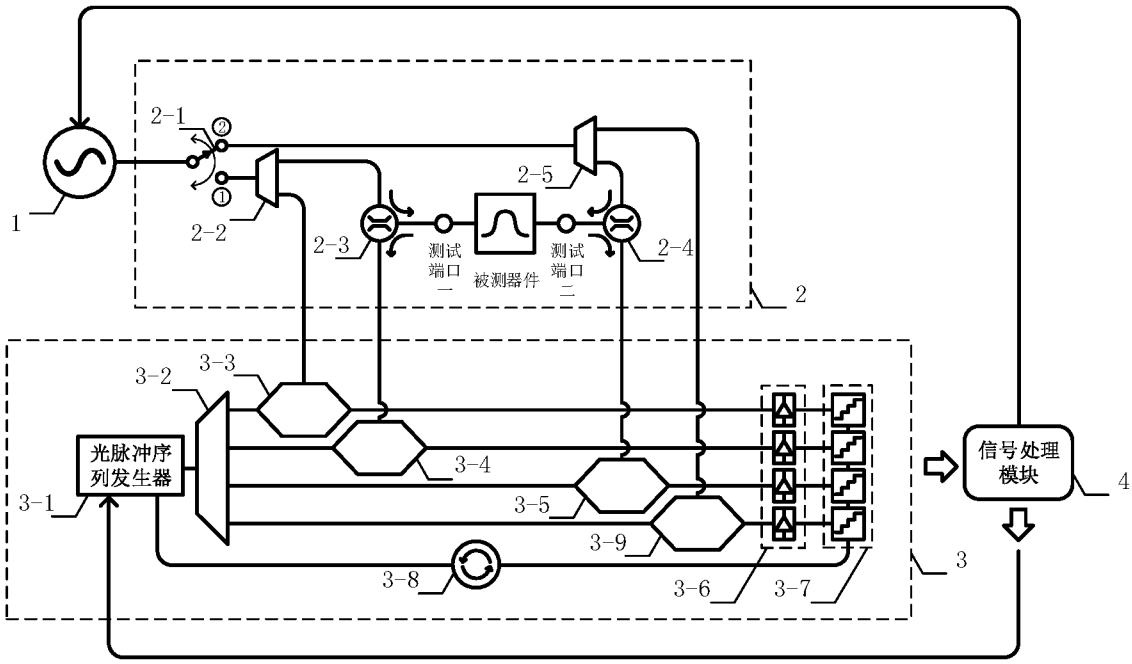

1
2-1
2-2
2-3
2-4
测试端口一
被测器件
测试端口二
2
3-1
光脉冲序列发生器
3-2
3-3
3-4
3-5
3-6
3-7
3-8
3
信号处理模块
4

图 2


1
2-1
2-2
2-3
2-4
2-5
测试端口一
被测器件
测试端口二
2
3-1
光脉冲序列发生器
3-2
3-3
3-4
3-5
3-6
3-7
3-8
3-9
3
信号处理模块
4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/114490

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 27/28(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)

G01R27/-

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: 上海交通大学/PA, (吴龟灵 OR 丁玟 OR 金钲韬 OR 陈建平)/in, 微波, 光子, 矢量, 网络, 散射, 耦合, 功分, 采样; micro w wave, photo+, vector, scatter, detect+ or measur+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 108614162 A (SHANGHAI JIAOTONG UNIVERSITY) 02 October 2018 (2018-10-02) description, paragraphs [0052]-[0087], and figures 1-3	1-5
X	CN 105547654 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 04 May 2016 (2016-05-04) description, paragraphs [0006]-[0011] and [0025], and figure 1	1
X	CN 107132027 A (INSTITUTE OF SEMICONDUCTORS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 05 September 2017 (2017-09-05) description, paragraphs [0066]-[0074], and figures 3 and 5	1
A	CN 103454542 A (THE 41ST INSTITUTE OF CHINA ELECTRONIC TECHNOLOGY GROUP CORPORATION) 18 December 2013 (2013-12-18) entire document	1-5
A	CN 103715480 A (JILIN UNIVERSITY) 09 April 2014 (2014-04-09) entire document	1-5
A	CN 104363047 A (INSTITUTE OF SEMICONDUCTORS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 18 February 2015 (2015-02-18) entire document	1-5

☑ 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
08 January 2019	**30 January 2019**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
National Intellectual Property Administration, PRC (ISA/CN) **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088** **China**	
Facsimile No. **(86-10)62019451**	Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 8184988 B2 (NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY) 22 May 2012 (2012-05-22) entire document	1-5
A	US 2016269122 A1 (ZTE CORPORATION) 15 September 2016 (2016-09-15) entire document	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2018/114490

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	108614162	A	02 October 2018	None			
CN	105547654	A	04 May 2016	CN	105547654	B	24 July 2018
CN	107132027	A	05 September 2017	None			
CN	103454542	A	18 December 2013	CN	103454542	B	27 April 2016
CN	103715480	A	09 April 2014	CN	103715480	B	02 December 2015
CN	104363047	A	18 February 2015	None			
US	8184988	B2	22 May 2012	US	2010008680	A1	14 January 2010
				TW	201019029	A	16 May 2010
				TW	I396033	B	11 May 2013
US	2016269122	A1	15 September 2016	US	9906305	B2	27 February 2018

国际检索报告

国际申请号 PCT/CN2018/114490

A. 主题的分类

G01R 27/28(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)

G01R27/-

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，EPODOC：上海交通大学/PA，(吴龟灵 OR 丁玟 OR 金钲韬 OR 陈建平)/in，微波，光子，矢量，网络，散射，耦合，功分，采样；micro w wave，photo+，vector，scatter，detect+ or measur+

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
PX	CN 108614162 A (上海交通大学) 2018年 10月 2日 (2018-10-02) 说明书第[0052]-[0087]段，附图1-3	1-5
X	CN 105547654 A (南京航空航天大学) 2016年 5月 4日 (2016-05-04) 说明书第[0006]-[0011]段、[0025]段，附图1	1
X	CN 107132027 A (中国科学院半导体研究所) 2017年 9月 5日 (2017-09-05) 说明书第[0066]-[0074]段，附图3，5	1
A	CN 103454542 A (中国电子科技集团公司第四十一研究所) 2013年 12月 18日 (2013-12-18) 全文	1-5
A	CN 103715480 A (吉林大学) 2014年 4月 9日 (2014-04-09) 全文	1-5
A	CN 104363047 A (中国科学院半导体研究所) 2015年 2月 18日 (2015-02-18) 全文	1-5
A	US 8184988 B2 (NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY) 2012年 5月 22日 (2012-05-22) 全文	1-5

☑ 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
2019年 1月 8日	2019年 1月 30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	受权官员 李鹏飞 电话号码 86-(10)-53962523

表 PCT/ISA/210 (第2页) (2015年1月)

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2018/114490

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
A	US 2016269122 A1 (ZTE CORPORATION) 2016年 9月 15日 (2016-09-15) 全文	1-5

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2018/114490

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	108614162	A	2018年 10月 2日		无		
CN	105547654	A	2016年 5月 4日	CN	105547654	B	2018年 7月 24日
CN	107132027	A	2017年 9月 5日		无		
CN	103454542	A	2013年 12月 18日	CN	103454542	B	2016年 4月 27日
CN	103715480	A	2014年 4月 9日	CN	103715480	B	2015年 12月 2日
CN	104363047	A	2015年 2月 18日		无		
US	8184988	B2	2012年 5月 22日	US	2010008680	A1	2010年 1月 14日
				TW	201019029	A	2010年 5月 16日
				TW	I396033	B	2013年 5月 11日
US	2016269122	A1	2016年 9月 15日	US	9906305	B2	2018年 2月 27日