



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116057465 A

(43) 申请公布日 2023. 05. 02

(21) 申请号 202180054013.5

(22) 申请日 2021.09.09

(30) 优先权数据

63/076,085 2020.09.09 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.03.01

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2021/033116 2021.09.09

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/054860 JA 2022.03.17

(71) 申请人 古河电气工业株式会社

地址 日本国东京都

(72) 发明人 大越春喜 吉田顺自 稻叶悠介

木本龙也 舟桥政树 一野诚司

北条直也 高坂繁弘 杉崎隆一

尼迪特·瑟斯林卡恩萨库

珊根·阿南塔纳萨恩

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021

专利代理师 张远

(51) Int. Cl.

G02F 1/35 (2006.01)

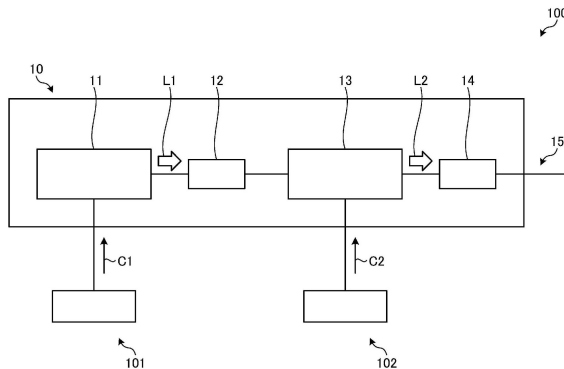
权利要求书2页 说明书11页 附图12页

(54) 发明名称

光源、光源装置、光源的驱动方法、拉曼放大器以及拉曼放大系统

(57) 摘要

提供同时抑制RIN和波动的光源、光源装置、光源的驱动方法和利用其的拉曼放大器以及拉曼放大系统。光源具备：种子光源，其输入具有给定的带的非相干的种子光；和辅助放大器，其是对从第1端面输入的所述种子光进行光放大并作为放大光从第2端面输出的半导体光放大器，所述辅助放大器对所述第1端面以及所述第2端面进行反射减少处理，并且在增益饱和和状态下动作，在所述放大光下同时抑制相对强度噪声(RIN)以及波动。



1. 一种光源,其特征在于,具备:  
种子光源,其输出具有给定的带的非相干的种子光;  
辅助放大器,其是对从第1端面输入的所述种子光进行光放大并作为放大光从第2端面输出的半导体光放大器,  
所述辅助放大器对所述第1端面以及所述第2端面进行反射减少处理,并且在增益饱和状态下动作,  
在所述放大光中同时抑制相对强度噪声(RIN)以及波动。
2. 一种光源,其特征在于,具备:  
种子光源,其输出具有给定的带的非相干的种子光;  
辅助放大器,其是对从第1端面输入的所述种子光进行光放大并作为放大光从第2端面输出的半导体光放大器,  
用在所述放大光中同时抑制相对强度噪声(RIN)以及波动的驱动电流来驱动所述种子光源和所述辅助放大器。
3. 根据权利要求2所述的光源,其特征在于,  
驱动所述辅助放大器,以使其在增益饱和状态下动作。
4. 根据权利要求2或3所述的光源,其特征在于,  
用输出所述放大光的功率接近于最大的程度的功率的所述种子光的驱动电流驱动所述种子光源。
5. 根据权利要求2~4中任一项所述的光源,其特征在于,  
用所述放大光中的波动的大小成为最小的驱动电流的5倍以下的驱动电流驱动所述种子光源。
6. 根据权利要求1~5中任一项所述的光源,其特征在于,  
所述种子光是自然放出光(SE)或被放大的自然放出光(ASE)。
7. 根据权利要求1~6中任一项所述的光源,其特征在于,  
所述种子光源包含具备SLD(Super Luminescent Diode)、半导体光放大器以及添稀土类光纤的ASE(Amplified Spontaneous Emission)光源的至少一者。
8. 根据权利要求1~7中任一项所述的光源,其特征在于,  
所述辅助放大器所输出的所述放大光的功率为100mW以上。
9. 根据权利要求1~8中任一项所述的光源,其特征在于,  
所述辅助放大器的所述第1端面的端面反射率以及所述第2端面的端面反射率是 $10^{-3}$ 与 $10^{-5}$ 之间的范围。
10. 一种光源装置,其特征在于,具备:  
权利要求1~9中任一项所述的光源;和  
驱动装置,其驱动所述光源。
11. 一种光源的驱动方法,  
所述光源具备:  
种子光源,其输出具有给定的带的非相干的种子光;  
辅助放大器,其是对从第1端面输入的所述种子光进行光放大并作为放大光从第2端面输出的半导体光放大器,

所述光源的驱动方法的特征在于，

用在所述放大光中同时抑制相对强度噪声 (RIN) 以及波动的驱动电流驱动所述种子光源和所述光放大器。

12. 一种拉曼放大器,其特征在于,具备:

权利要求1~9中任一项所述的光源;和  
拉曼放大用光纤,其被输入所述放大光作为激发光。

13. 一种拉曼放大系统,其特征在于,具备:

权利要求1~9中任一项所述的光源;和  
拉曼放大用光纤,其被输入所述放大光作为激发光。

## 光源、光源装置、光源的驱动方法、拉曼放大器以及拉曼放大系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光源、光源装置、光源的驱动方法、拉曼放大器以及拉曼放大系统。

### 背景技术

[0002] 以往,在光纤通信中,使用掺铒光纤放大器(EDFA)实现了传输距离、传输容量的扩大。但在当前,不仅EDFA,还活用拉曼放大,将两者有效组合成为必要不可欠缺的技术。当前,作为拉曼放大而主要使用的是后方激发拉曼放大,其对拉曼放大用的光纤以与信号光的传播方向相反的方向传播的方式入射激发光。但为了面向下一代的进一步的高速化(800Gb/s)、长距离化(1000km传输)、宽带化(L、S-band的活用),和后方激发拉曼放大同时使用被称作前方激发拉曼放大的方式成为关键,在该方式中,对拉曼放大用的光纤以与信号光的传播方向相同方向传播的方式入射激发光。该方式被称作双方向激发拉曼放大。另外,报告指出,通过使用波长复用激发方式,虽然仅凭借后方激发拉曼放大也能达成拉曼增益的平坦化、宽带化,但若不利用双方向激发拉曼放大,就不能达成噪声指数(NF)的平坦化(非专利文献13、14)。

[0003] 在前方激发中,需要相对强度噪声(Relative Intensity Noise:RIN)小的激发光源。以下示出其理由。

[0004] 所谓RIN,是将激光的微小的强度变动分量用全光输出进行归一化的指标。拉曼放大这样的现象由于生出增益的激发能级的寿命短(≒数fsec),因此,若在激发光源中有强度噪声,可能直接经过放大过程而成为信号光的噪声。在EDFA中,由于激发能级的寿命长(≒10msec),因此没有这样的问题。拉曼放大使每单位长度的增益与EDFA相比非常小,但在前方激发拉曼放大中,通过信号光和激发光长距离地在光纤中一起传播,激发光的噪声逐渐转变为信号光的噪声。将其称作RIN转移。在后方激发拉曼放大中,由于信号光和激发光对向,因此,具有某噪声分量的激发光和信号光交叉的时间短,激发光的噪声给信号光带来的影响少。此外,由于激发光的噪声是随机的,因此,即使信号光受到影响,也在对向前进的过程中被平均化。如从以上获知的那样,在前方激发拉曼放大中,要求RIN转移低这样的特性,特别在信号光和激发光的群速度差小、平行在光纤内传输的时间变长的色散位移光纤(DSF)等中,该RIN转移的减少重要(非专利文献1、3、4)。

[0005] 现有技术文献

[0006] 专利文献

[0007] 专利文献1:美国专利公开第2014/0153083号说明书

[0008] 专利文献2:美国专利第07190861号说明书

[0009] 专利文献3:美国专利第07215836号说明书

[0010] 专利文献4:美国专利第07236295号说明书

[0011] 专利文献5:美国专利第07173757号说明书

[0012] 专利文献6:日本专利第4069110号公报

- [0013] 专利文献7:美国专利第10938175号说明书
- [0014] 非专利文献
- [0015] 非专利文献1:PELOUCH,Wayne S.Raman amplification:An enabling technology for long-haul coherent transmission systems.Journal of Lightwave Technology,2015,34.1:6-19.
- [0016] 非专利文献2:YAMAMOTO,Y.;MACHIDA,S.;NILSSON,O.Amplitude squeezing in a pump-noise-suppressed laser oscillator.Physical Review A,1986,34.5:4025.
- [0017] 非专利文献3:KEITA,Kafing,et al.Relative intensity noise transfer of large-bandwidth pump lasers in Raman fiber amplifiers.JOSA B,2006,23.12:2479-2485.
- [0018] 非专利文献4:FLUDGER,C.R.S.;HANDEREK,V.;MEARS,R.J.Pump to signal RIN transfer in Raman fiber amplifiers.Journal of Lightwave Technology,2001,19.8:1140.
- [0019] 非专利文献5:VAKHSHOORI,D.,et al.Raman amplification using high-power incoherent semiconductor pump sources.In:Optical Fiber Communication Conference.Optical Society of America,2003.p.PD47.
- [0020] 非专利文献6:YAMATOYA,T.;KOYAMA,F.;IGA,K.Noise suppression and intensity modulation using gain-saturated semiconductor optical amplifier.In:Optical Amplifiers and Their Applications.Optical Society of America,2000.p.OMD12.
- [0021] 非专利文献7:KOYAMA,F.High power superluminescent diodes for multi-wavelength light sources.In:Conference Proceedings.LEOS'97.10th Annual Meeting IEEE Lasers and Electro-Optics Society 1997 Annual Meeting.IEEE,1997.p.333-334.
- [0022] 非专利文献8:ZHAO,Mingshan;MORTHER,Geert;BAETS,Roel.Analysis and optimization of intensity noise reduction in spectrum-sliced WDM systems using a saturated semiconductor optical amplifier.IEEE Photonics Technology Letters,2002,14.3:390-392.
- [0023] 非专利文献9:MORIMOTO,Masahito,et al.Co-propagating dual-order distributed Raman amplifier utilizing incoherent pumping.IEEE Photonics Technology Letters,2017,29.7:567-570.
- [0024] 非专利文献10:MORIMOTO,Masahito,et al.Co-propagating distributed Raman amplifier utilizing incoherent pumping.In:Metro and Data Center Optical Networks and Short-Reach Links II.International Society for Optics and Photonics,2019.p.109460M.
- [0025] 非专利文献11:KOBAYASHI,Takayuki,et al.2nd-order forward-pumped distributed Raman amplification employing SOA-based incoherent light source in PDM-16QAM WDM transmission system.IEICE Communications Express,2019.
- [0026] 非专利文献12:KOBAYASHI,Takayuki,et al.PDM-16QAM WDM transmission with

2nd-order forward-pumped distributed Raman amplification utilizing incoherent pumping. In: Optical Fiber Communication Conference. Optical Society of America, 2019. p. Tu3F.6.

[0027] 非专利文献13: KADO, Soko, et al. Broadband flat-noise Raman amplifier using low-noise bidirectionally pumping sources. In: Proceedings 27th European Conference on Optical Communication (Cat. No. 01TH8551). IEEE, 2001. p. 38-39.

[0028] 非专利文献14: EMORI, Yoshihiro; KADO, Soko; NAMIKI, Shu. Independent control of the gain and noise figure spectra of Raman amplifiers using bi-directional pumping. Furukawa Review, 2003, 23: 11-15.

[0029] 非专利文献15: Fiber optic test and measurement/edited by Dennis Derickson. Upper Saddle River, 1998.

## 发明内容

[0030] 发明要解决的课题

[0031] 拉曼放大若与EDFA的光放大相比,则在激发效率上差,因此,为了得到充分的增益,需要高输出的激发光源。为此,虽然输出数百mW以上的法布里-珀罗(FP)型的激光器广泛实用化,但FP型的激光器RIN转移大,不适合前方激发(非专利文献3、4、5)。

[0032] 与此相对,为了抑制RIN转移,作为前方激发拉曼放大的激发光源,使用作为非相干光的、半导体光放大器(Semiconductor Optical Amplifier, SOA)的ASE(Amplified Spontaneous Emission, 放大自发辐射)光是有效的(专利文献2、3、非专利文献3、5)。

[0033] 在今后的超过800Gbps的超高速/大容量传输中,为了大幅改善系统整体的OSNR(Optical Signal to Noise Ratio, 光信噪比),期望前方激发的拉曼增益为7dB以上,进一步期望10dB以上。为此,例如,报告了通过将级联连接的SOA偏振复用、波长复用的结构来实现高输出的事例(非专利文献5)。

[0034] 小型且低成本的SOA的ASE光的确是有力候选,但已知,若要实现高输出,就会产生起因于SOA的两端面处的光的反射的波动(ripple)(专利文献4、5、6)。

[0035] 根据非专利文献3,在将宽带的非相干光用在前方激发拉曼放大中的情况下,通过平均化效果来抑制RIN转移。在此,在非专利文献3中,作为应留意的点,能举出为了得到该平均化效果而必须存在法布里-珀罗振荡所引起的大量纵模(即波动)这样的点。因此,为了活用前方激发拉曼放大中的非相干光激发的优越性,在该非相干光中,优选高输出且抑制波动。

[0036] 在此,在SOA中,通过在两端面间形成法布里-珀罗谐振器来产生波动。因此,若两端面处的反射率为零,就不产生波动。但使SOA的两端面的反射率为零在实用上是不可能的。为此,如何抑制波动是重要的课题。过去,为了波动的抑制而使用了(1)无反射涂层、(2)斜向波导路构造、(3)窗口构造等。但优选的拉曼放大用激发光源由于是数百mW以上的高输出,因此,即使是微小的反射,也会产生波动。此外,ASE光使光谱宽度宽到约数十nm,遍及该宽的光谱宽度实现低的反射率的无反射处理并不容易。与此相对,例如在专利文献5中,示出在SOA后端面后方设置镜、缓和无反射涂层端面反射率的要求条件的手法。

[0037] 另一方面已知,若在比振荡阈值充分大的驱动电流区域、即饱和状态下恒电流驱

动半导体激光器,就能抑制低频侧的噪声(非专利文献2)。同样已知,在从输入大的非相干光且处于饱和状态的SOA输出的ASE光中,抑制了低频侧的RIN(专利文献1、非专利文献6、7、8)。

[0038] 此外,根据非专利文献3、4,RIN转移易于在低频侧引起,高频侧被截止。即,在RIN转移中存在截止频率。因此,处于饱和状态的SOA的ASE光中抑制低频侧的RIN这样的特性,出于抑制RIN转移所引起的传输特性劣化的观点是极其有益的。

[0039] 在非专利文献8的图2、图3中,示出在饱和状态的SOA中通过增加驱动电流(seed电流、booster电流)来加大RIN抑制。但若加大SOA的驱动电流,则虽然光输出变大,但波动也变大。此外,在实际的拉曼放大系统中,使激发光源输出变化来控制拉曼放大增益。因此,期望一种即使使SOA的光输出变化也不会给RIN抑制带来影响、能将波动抑制得小的手法、手段。

[0040] 若将以上汇总,则作为拉曼放大用非相干激发光源,出于小型、低成本的观点,SOA的ASE光成为有力候选,但期望同时解决以下的相反的课题。

[0041] (1) 高输出。

[0042] (2) 在激发光源的宽的动作范围、输出范围内抑制起因于SOA端面反射的波动。

[0043] (3) 在激发光源的宽的动作范围、输出范围内抑制RIN。

[0044] (4) 低消耗电力。

[0045] 作为同时解决这些课题的手段,提出将比较低输出的SOA的ASE光在FP振荡型的拉曼放大用激发激光器进行2次放大的方法(专利文献7、非专利文献9、10、11、12)。该方法在需要更高增益的长距离大容量拉曼放大传输系统中是有效的手段。但在城域传输系统那样比较短距离的系统的情况下,出于系统的简化、低成本化、低消耗电力化的观点,期望不需要2次激发的SOA的ASE光的直接激发。

[0046] 本发明鉴于上述而提出,目的在于,提供同时抑制RIN和波动的光源、光源装置、光源的驱动方法、和利用其的拉曼放大器以及拉曼放大系统。

[0047] 用于解决课题的手段

[0048] 为了解决上述的课题,达成目的,本发明的一个方式是一种光源,具备:种子光源,其输出具有给定的带的非相干的种子光;和辅助放大器,其是对从第1端面输入的所述种子光进行光放大并作为放大光从第2端面输出的半导体光放大器,所述辅助放大器对所述第1端面以及所述第2端面进行反射减少处理,并且在增益饱和状态下动作,在所述放大光中同时抑制相对强度噪声(RIN)以及波动。

[0049] 本发明的一个方式是一种光源,具备:种子光源,其输出具有给定的带的非相干的种子光;和辅助放大器,其是对从第1端面输入的所述种子光进行光放大并作为放大光从第2端面输出的半导体光放大器,用在所述放大光中同时抑制相对强度噪声(RIN)以及波动的驱动电流来驱动所述种子光源和所述辅助放大器。

[0050] 也可以是,驱动所述辅助放大器,以使其在增益饱和状态下动作。

[0051] 也可以是,用输出所述放大光的功率接近于最大的程度的功率的所述种子光的驱动电流驱动所述种子光源。

[0052] 也可以是,所述种子光源用所述放大光中的波动的大小成为最小的驱动电流的5倍以下的驱动电流驱动。

- [0053] 也可以是,所述种子光是自然放出光(SE)或被放大的自然放出光(ASE)。
- [0054] 也可以是,所述种子光源包含具备SLD(Super Luminescent Diode,超辐射发光二极管)、半导体光放大器以及添稀土类光纤的ASE(Amplified Spontaneous Emission,放大自发辐射)光源的至少一者。
- [0055] 也可以是,所述辅助放大器所输出的所述放大光的功率为100mW以上。
- [0056] 也可以是,所述辅助放大器的所述第1端面的端面反射率以及所述第2端面的端面反射率为 $10^{-3}$ 与 $10^{-5}$ 之间的范围。
- [0057] 本发明的一个方式是具备所述光源、和驱动所述光源的驱动装置的光源装置。
- [0058] 本发明的一个方式是一种光源的驱动方法,光源具备:种子光源,其输出具有给定的带的非相干的种子光;和辅助放大器,其是对从第1端面输入的所述种子光进行光放大并作为放大光从第2端面输出的半导体光放大器,在光源的驱动方法中,用在所述放大光中同时抑制相对强度噪声(RIN)以及波动的驱动电流驱动所述种子光源和所述光放大器。
- [0059] 本发明的一个方式是具备所述光源和输入所述放大光作为激发光的拉曼放大用光纤的拉曼放大器。
- [0060] 本发明的一个方式是具备所述光源和输入所述放大光作为激发光的拉曼放大用光纤的拉曼放大系统。
- [0061] 发明的效果
- [0062] 根据本发明,提供同时抑制RIN和波动的光源、光源装置、光源的驱动方法、和利用其的拉曼放大器以及拉曼放大系统。

## 附图说明

- [0063] 图1是实施方式1所涉及的光源装置的示意图。
- [0064] 图2是表示图1所示的光源模块的一部分的图。
- [0065] 图3是表示辅助放大器(boost amplifier)的输出光的功率谱的一例的图。
- [0066] 图4是表示相对于 $I_b$ 的输出光的功率(Pf)的一例的图。
- [0067] 图5是表示输出光的RIN谱的示例的图。
- [0068] 图6是示意表示抑制了RIN的谱的图。
- [0069] 图7是表示相对于 $I_b$ 的输出光的功率(Pf)的其他示例的图。
- [0070] 图8是表示输出光的RIN谱的其他示例的图。
- [0071] 图9是表示固定 $I_s$ 且改变 $I_b$ 时的输出光的RIN谱的其他示例的图。
- [0072] 图10是表示固定 $I_b$ 且改变 $I_s$ 时的输出光的RIN谱的其他示例的图。
- [0073] 图11是表示固定 $I_b$ 且改变 $I_s$ 时的输出光的RIN谱的其他示例的图。
- [0074] 图12是表示改变 $I_s$ 时的输出光的功率谱的示例的图。
- [0075] 图13是扩大表示图12的功率谱的波长1510nm~1512nm的范围的图。
- [0076] 图14是将 $I_s$ 设为0mA且改变 $I_b$ 时的输出光的功率谱的示例的图。
- [0077] 图15是表示相对于 $I_s$ 的波动(Ripple)的示例的图。
- [0078] 图16是表示改变 $I_b$ 时的相对于 $I_s$ 的输出光的功率(Pf)的示例的图。
- [0079] 图17是实施方式2所涉及的拉曼放大器的示意图。
- [0080] 图18是实施方式3所涉及的拉曼放大系统的示意图。

## 具体实施方式

[0081] 以下参考附图来说明本发明的实施方式。另外,并不由以下说明的实施方式限定本发明。进而,在附图的记载中,对相同的部分适宜标注相同的附图标记,适宜省略重复的说明。

[0082] (实施方式1)

[0083] 图1是实施方式1所涉及的光源装置的示意图。该光源装置100具备光源模块10和驱动装置101、102。光源模块10是光源的一例。

[0084] 光源模块10具备作为SOA的种子光源11、光隔离器12、作为SOA的辅助放大器13、光隔离器14和输出光纤15。种子光源11、光隔离器12、辅助放大器13和光隔离器14通过光纤、光学元件等按该顺序光学上级联连接。

[0085] 种子光源11输出具有给定的带的非相干的种子光L1。所谓非相干光,不是以单一或多个离散的模(纵模)振荡的激光源,而是指包含具有连续的谱的无相关的光子的集合的光。给定的带并没有特别限定,例如作为波长带优选25nm以上等的宽带。光隔离器12阻止透过种子光L1输入到辅助放大器13且从辅助放大器13侧行进过来的返回光输入到种子光源11。光隔离器12防止或减少通过返回光的输入而让种子光源11的动作变得不稳定的情况。

[0086] 辅助放大器13对所输入的种子光L1进行光放大,作为放大光L2输出。光隔离器14,透过放大光L2输入到输出光纤15,且阻止从输出光纤15侧行进来的光输入到辅助放大器13。光隔离器14防止或减少由于返回光的输入而让辅助放大器13的动作变得不稳定的情况。

[0087] 输出光纤15是用于将放大光L2引导到光源模块10的外部的光纤。放大光L2例如作为拉曼放大用的激发光使用。

[0088] 驱动装置101、102是公知的SOA用的驱动装置。驱动装置101对种子光源11供给驱动电流C1。驱动装置102对辅助放大器13供给驱动电流C2。

[0089] 图2是表示图1所示的光源模块10的一部分的图。辅助放大器13具有相互对置的第1端面13a和第2端面13b。辅助放大器13从第1端面13a输入种子光L1,从第2端面13b向外部输出放大光L2。

[0090] 第1端面13a、第2端面13b进行AR (Ant-Reflection,防反射)涂层等反射减少处理。此外,第1端面13a、第2端面13b也可以相对于辅助放大器13所具备的光放大波导路的光轴倾斜来进行反射减少处理。这样的构造也被称作斜向波导路构造。

[0091] 若将第1端面13a的端面反射率设为R1,将第2端面13b的端面反射率设为R2,则R1以及R2例如是 $10^{-3}$ 与 $10^{-5}$ 之间的范围。或者, $(R1 \times R2)^{1/2}$ 例如是 $10^{-3}$ 与 $10^{-5}$ 之间的范围。 $10^{-3}$ 与 $10^{-5}$ 之间的范围这样的值,在低反射率这样的观点中是充分实用且能实施的数值范围的一例。在此,所谓 $10^{-3}$ 与 $10^{-5}$ 之间的范围,是包含上限即 $10^{-3}$ 和下限即 $10^{-5}$ 的范围。

[0092] <光源模块10的特性>

[0093] 说明光源模块10的特性。图3是表示辅助放大器的输出光(放大光)的功率谱的一例的图。图3示出如下情况:若将对种子光源11供给的驱动电流C1设为 $I_s$ ,将对辅助放大器13供给的驱动电流C2设为 $I_b$ ,则将 $I_s$ 设定为50mA,将 $I_b$ 设定为800mA。图3的输出光的功率谱做出大致的高斯型的谱形状,其FWHM(Full Width Half Maximum,半峰全宽)是25nm到30nm程度。

[0094] 图4是表示相对于Ib的来自辅助放大器的输出光(放大光)的功率(Pf)的一例的图。在图4中,将Is设定为50mA。在图4的情况下,可知在Ib为100mA处,Pf为20mW程度,在Ib为800mA处,Pf为120mW程度。另外,图3、4是使用分别作为种子光源以及辅助放大器而具有大致同样的特性的半导体光放大器制作的光源模块的示例。

[0095] 在此,本发明的发明者们发现,在图1所示那样的光源模块10中,能实现同时抑制RIN以及波动的状态。以下,首先说明RIN的抑制,接下来说明波动的抑制。

[0096] <RIN的抑制>

[0097] 图5是表示输出光的RIN谱的示例的图。具体地,图5表示测定来自作为光源模块10的实施例而制作的No.1~3的光源模块的输出光的RIN的结果。另外,No.1~3的光源模块是使用作为种子光源以及辅助放大器而分别具有大致同样的特性的半导体光放大器制作的光源模块,具有与图3、4所示的特性同等的输出特性。此外,关于No.1~3的光源模块,关于端面反射率,确认到 $(R1 \times R2)^{1/2}$ 成为 $10^{-3}$ 与 $10^{-5}$ 之间的范围。此外,在图5中,Ts表示种子光源的壳体温度(25°C),Tb表示辅助放大器的壳体温度(25°C)。

[0098] 在图5中,所谓“仅Ib”,表示仅对辅助放大器供给100mA的驱动电流、不对种子光源供给驱动电流(即所供给的驱动电流为0mA)的情况。在该情况下,在辅助放大器由于为输入要放大的种子光源,因此,作为单纯的ASE光源动作。另一方面,所谓“Is+Ib”,表示对辅助放大器供给100mA的驱动电流、对种子光源供给200mA的驱动电流的情况。

[0099] 如从图5获知的那样,在“仅Ib”的情况下,在No.1~3的光源模块的任何一者中,都能得到相对于频率比较平坦的RIN谱。该RIN考虑源自从作为ASE光源的辅助放大器输出的输出光(ASE)光中的ASE-ASE间差拍噪声。

[0100] 与此相对,可知在“Is+Ib”的情况下,在No.1~3的光源模块的任何一者中,都在特定的频率fc起的低频率侧抑制了RIN。另外,在“Is+Ib”的情况下,由于种子光源所输出的种子光(ASE光)输入到辅助放大器,因此,内部的光子数增加,认为辅助放大器在增益饱和和状态下动作。在此,应关注的是,在图5中,Ib是100mA这样比较小的电流,就算是来自辅助放大器的输出光的功率比较小的驱动状态,也已经成为RIN抑制的状态。关于这点,之后详述。

[0101] 图6是示意表示抑制了RIN的谱的图。

[0102] 在此,由于从实施方式中的光源模块等光源输出的输出光是SOA的ASE光,因此,RIN应当由ASE-ASE间差拍噪声的大小决定。在图6中,线210的等级是ASE-ASE间差拍噪声的等级。

[0103] 通常的SOA的ASE光的功率光谱宽度是数十nm,以频率表现的话是数THz。RIN的测定频带充分小到数十GHz,因此,RIN以以下的式(1)计算(非专利文献15)。

[0104] 
$$RIN = 0.66 / \Delta v_{ASE} [Hz^{-1}] \cdots (1)$$

[0105] 在此,0.66是ASE光的功率谱为高斯型的情况的系数, $\Delta v_{ASE}$ 是该功率谱的FWHM。

[0106] 例如,由于图3所示的输出光的功率谱是高斯型,其FWHM为约30nm,因此,若使用上述式(1),则RIN计算为约-127dB/Hz。该数值与图5所示的结果大致一致。

[0107] 与此相对,在增益饱和状态下动作的SOA的RIN在与被称作拐角频率(corner frequency) 213的fc相比为低频率区域211被抑制。例如,根据线210的等级报告了10dB到20dB程度的RIN抑制(专利文献1、非专利文献6、8)。另外,线212是散弹噪声的等级。

[0108] 在本说明书中,所谓抑制RIN,是指与用上述式(1)计算的RIN相比抑制10dB以上。

RIN的抑制的程度可以进一步为16dB以下,此外,可以进一步为20dB以下。

[0109] 图7是表示相对于 $I_b$ 的输出光(放大光)的功率( $P_f$ )的其他示例的图,图8是表示输出光的RIN谱的其他示例的图。具体地,图7关于作为光源模块10的实施例制作的No.4~7的光源模块,示出相对于 $I_b$ 的来自辅助放大器的输出光(放大光)的功率( $P_f$ )。在图7中,将 $I_s$ 设定为50mA。在图7的情况下,在 $I_b$ 为100mA处, $P_f$ 为20mW程度,在 $I_b$ 为800mA处, $P_f$ 为140~150mW程度,可知No.4~7的光源模块与No.1~3的光源模块输出特性相似。此外,在图8中, $T_s$ 表示种子光源的壳体温度(25℃), $T_b$ 表示辅助放大器的壳体温度(25℃)。此外, $I_s$ 为50mA, $I_b$ 为400mA。

[0110] 如图8所示那样,可知,在No.4~7的光源模块任何一者中,都在特定的频率 $f_c$ 起的低频率侧抑制了RIN。在此,应关注的是,在图8中,与图5的情况相比 $I_b$ 增加到400mA,虽然是来自辅助放大器的输出光的功率也增加的驱动状态,但依然成为RIN抑制的状态。

[0111] 根据以上那样的特性相互相似的No.1~7的光源模块的结果,认为至少在 $I_b$ 为100~400mA、输出光为20mW~90mW程度这样的驱动电力、输出光4倍程度变化的宽的范围,能得到同程度的RIN抑制的状态。但 $I_b$ 、输出光的功率的范围并不限于上述,只要能得到RIN抑制的状态即可。例如,辅助放大器的输出光的功率若为100mW以上,就适合作为拉曼放大用的激发光源。

[0112] 接下来,对作为光源模块10的实施例制作的No.8的光源模块测定RIN。No.8的光源模块和No.1~7的光源模块输出特性相似。

[0113] 图9是表示将 $I_s$ 固定且改变 $I_b$ 时的输出光的RIN谱的其他示例的图,是表示关于No.8的光源模块的结果的图。另外,在图9~12中,所谓“ASE-ASE差拍噪声”,是使用式(1)计算的ASE-ASE间差拍噪声的等级。在图9中,将 $I_s$ 固定在0mA,将 $I_b$ 改变为100、200、500、1000mA。在图9的情况下,由于 $I_s$ 为0mA,因此,辅助放大器作为ASE光源发挥功能。在该情况下,随着 $I_b$ 增大,RIN虽稍微变低,但不太变化。

[0114] 图10是表示将 $I_b$ 固定且改变 $I_s$ 时的输出光的RIN谱的其他示例的图,是表示关于No.8的光源模块的结果的图。在图10中, $I_b$ 固定在500mA,将 $I_s$ 改变为0、20、40、60mA。另外,将 $I_s$ 设为0、20、40、60mA时的来自种子光源的输出功率分别为0.1mW程度、0.2mW程度、1.4mW程度,都小。在图10的情况下,若将 $I_s$ 设为40mA以上,RIN就被急剧抑制至-150dB/Hz以下的大概-160dB/Hz。

[0115] 图11是表示将 $I_b$ 固定且改变 $I_s$ 时的输出光的RIN谱的其他示例的图,是表示关于No.8的光源模块的结果的图。在图11中,将 $I_b$ 固定在1000mA,将 $I_s$ 改变为0、20、40、60mA。在图10的情况下,若将 $I_s$ 设为40mA以上,RIN就被急剧抑制至-150dB/Hz以下的大概-160dB/Hz。

[0116] 根据以上,根据实施方式或实施例,通过将 $I_s$ 至少设定为能得到RIN抑制状态的程度,能实现噪声特性(RIN特性)的 $I_b$ 依赖性(即来自辅助放大器的输出功率依赖性)小的光源。如上述那样,在实际的拉曼放大系统中,使激发光源输出变化来控制拉曼放大增益,但实施方式或实施例的光源由于RIN抑制特性的辅助放大器的输出功率依赖性小,因此,对拉曼放大系统提供使用体验非常卓越的特性。即,是即使让拉曼放大增益变化、RIN抑制特性也不太变化这样的卓越的特性。

[0117] <波动的抑制>

[0118] 接下来,说明波动的抑制。具体地,改变种子光源和辅助放大器的驱动条件来测定来自输出特性与No.1的光源模块同等的光源模块的输出光的功率谱。

[0119] 图12是表示改变 $I_s$ 时的输出光的功率谱的示例的图。图13是扩大示出图12的功率谱的波长1510nm~1512nm的范围的图。图14是表示将 $I_s$ 设为0mA且改变 $I_b$ 时的输出光的功率谱的示例的图。

[0120] 首先,说明图14。在图14中,在 $I_b$ 为200mA、800mA任何一者的情况下都产生波动。特别在 $I_b$ 为200mA的情况下,就算输出光的功率为约18mW程度,比较小,也产生波动。此外,在将 $I_s$ 设为0mA的情况下,特别易于产生波动。该波动如上述那样起因于SOA的两端面处的光的反射,但就算辅助放大器的端面反射率是 $(R1 \times R2)^{1/2}$ 处于 $10^{-3}$ 与 $10^{-5}$ 之间的范围这样充分小的范围,也会产生波动。就算是这样的低驱动电流(低功率)且低反射率也产生波动的情况,可以说是示出光输出根据情况会达到数百mW的拉曼放大用激发光源中的波动抑制是何等困难的一例。另外,波动包含不同的多个周期的分量。

[0121] 与此相对,如图12、13所示那样,若将 $I_b$ 固定在800mA,将 $I_s$ 增加到25mA,就会抑制波动,在 $I_s$ 为50mA处,进一步得到抑制。但若使 $I_s$ 进一步增加至400mA,波动就再度增加。图15是表示图12、13的情况的相对于 $I_s$ 的波动(Ripple)的示例的图。如图15所示那样,在 $I_s$ 为50mA的情况下,将波动的大小抑制至不足0.5dB。另外,波动的大小表示给定的波长(例如1510nm附近)下的呈现于功率谱上的波动的幅度(峰到谷(peak to bottom))的最大值。

[0122] 如图12、13、15所示那样,若对辅助放大器输入种子光,就成为增益饱和状态,有抑制了波动的区域。这表示,即使不使辅助放大器的端面反射率低至波动得到抑制的程度,也能通过控制向辅助放大器输入的种子光的功率来抑制波动。另外,由于SOA的ASE光谱宽到数nm到数十nm,因此,实施使端面反射率降低以使得覆盖这样的宽的带的处理(例如无反射处理)并不容易。因此,通过抑制种子光的功率来抑制波动的技术是能缓和辅助放大器的端面反射率的设定条件、制作的困难度的技术,是实用上极其有效的技术。

[0123] 波动的抑制是越减小波动越优选,例如优选进行抑制,以使得波动峰到谷成为5dB以下,成为3dB以下,成为1dB以下,或成为0.5dB以下。

[0124] 因此,作为光源的光源模块的驱动方法优选用在放大光下同时抑制RIN以及波动的驱动电流( $I_s$ 、 $I_b$ )使种子光源和辅助放大器驱动。

[0125] <种子光源的驱动电流>

[0126] 接下来,说明种子光源的驱动电流即 $I_s$ 。 $I_s$ 例如能出于RIN抑制、消耗电力或输出光的功率的观点而设为适合的范围。

[0127] 图16是表示改变 $I_b$ 时的相对于 $I_s$ 的输出光的功率( $P_f$ )的示例的图。具体地,对输出特性与No.1的光源模块同等的光源模块,将 $I_b$ 设定为200mA、400mA、600mA、800mA的任一者,来测定相对于 $I_s$ 的输出光的功率。

[0128] 如图16所示那样,不管在哪个 $I_b$ 下,都是随着 $I_s$ 增加而 $P_f$ 急剧增加,不久 $P_f$ 的增加成为饱和的倾向。RIN以及波动的抑制在 $P_f$ 的饱和开始的 $I_s$ 的区域同样地开始。在此,要关注的是,如图15所示那样若过于增大 $I_s$ 则波动增加这点、以及如图16所示那样即使使 $I_s$ 增加在 $P_f$ 饱和的区域 $P_f$ 也不怎么增加这点。

[0129] 因此,例如,优选输出放大光(输出光)的功率( $P_f$ )接近于最大的程度的功率的种子光的驱动电流来驱动种子光源。例如以图16的 $I_b$ 为600mA的情况为例进行说明。在该情

况下,若将 $I_s$ 设定为400mA,则 $P_f$ 在约110mW大致成为最大值。另一方面,输出 $P_f$ 成为110mW的约90%即100mW作为接近于该110mW的值的功率的种子光的 $I_s$ 为约50mW。

[0130] 即,用于使 $P_f$ 为最大值的110mW的 $I_s$ 是400mA,但用于使 $P_f$ 为接近于110mW的100mW的 $I_s$ 可以是50mA。通过选择这样的驱动状态,能大幅削减种子光源的消耗电力,进而大幅削减光源的消耗电力。另外,在本例中,作为接近于最大值的110mW的值,选择其约90%的100mW,但是,是何种程度接近的值可以对应于所要求的输出光的功率等设定,例如能设定为最大值的80%~95%的值。

[0131] 此外,种子光源可以用放大光中的波动的大小成为最小的驱动电流的5倍以下的驱动电流( $I_s$ )驱动。由此,由于用相对于波动的大小成为最小的 $I_s$ 不会过大的 $I_s$ 进行驱动,因此,出于消耗电力的削减的观点是有效果的。例如,在图15中,由于波动的大小成为最小的 $I_s$ 是50mA,因此, $I_s$ 优选250mA以下。

[0132] 如以上那样,在 $I_s$ 中,出于RIN抑制、波动抑制以及放大光的功率的观点,可以说存在同时满足对它们的要求的最佳区域。

[0133] 如以上说明的那样,实施方式所涉及的光源装置以及光源模块由于在放大光下同时抑制RIN以及波动,因此,适于拉曼放大用的激发光源,特别适于前方激发用的激发光源,特别在抑制RIN且抑制RIN转移这点上卓越。

[0134] (实施方式2)

[0135] 图17是实施方式2所涉及的拉曼放大器的示意图。拉曼放大器1000构成为具备实施方式1的光源模块10作为激发光源的、前方激发型的集中型光放大器。拉曼放大器1000具备:具备光源模块10的光源装置100;信号光输入部1001;光合波器1002;高非线性性光纤等拉曼放大用光纤1003;和拉曼放大光输出部1004。

[0136] 信号光输入部1001输入信号光L11。光合波器1002将信号光L11、和从光源模块10的输出光纤15输出的作为激发光的放大光L2合波,并输入到拉曼放大用光纤1003。拉曼放大用光纤1003将放大光L2作为激发光,来将信号光L11拉曼放大。拉曼放大光输出部1004输出将信号光L11拉曼放大的光即拉曼放大光L12。

[0137] 来自光源模块10的放大光L2设定成能用拉曼放大用光纤1003将信号光L11拉曼放大的波长。

[0138] 拉曼放大器1000,特别是在抑制RIN且抑制RIN转移这点上卓越。

[0139] (实施方式3)

[0140] 图18是实施方式3所涉及的拉曼放大系统的示意图。拉曼放大系统2000构成为具备实施方式1的光源模块10作为激发光源的前方激发型的分布型光放大系统。拉曼放大系统2000具备:具备光源模块10的光源装置200;信号光输入部2001;色散位移光纤等拉曼放大用光纤2003;和拉曼放大光输出部2004。

[0141] 光源装置200具有在光源装置100中追加了光合波器201的结构。此外,作为拉曼放大用光纤2003,例如能利用敷设于现场(field)的光通信用的光纤。

[0142] 信号光输入部2001输入信号光L21。光合波器201将信号光L11、和从光源模块10的输出光纤15输出的作为激发光的放大光L2合波,并输入到拉曼放大用光纤2003。拉曼放大用光纤2003将放大光L2作为激发光,将信号光L21拉曼放大。拉曼放大光输出部2004输出将信号光L21拉曼放大的光即拉曼放大光L22。

[0143] 来自光源模块10的放大光L2被设定为能用拉曼放大用光纤2003将信号光L21拉曼放大的波长。

[0144] 拉曼放大系统2000,特别是在抑制RIN且抑制RIN转移这点上卓越。

[0145] 上述实施方式的拉曼放大器、拉曼放大系统构成为前方激发型,但本发明的实施方式并不限于此,也可以构成为后方激发型、双方向激发型。

[0146] 此外,上述实施方式的光源模块、光源装置并不限于拉曼放大用的激发光源,能作为同时抑制了RIN和波动的光源而广泛利用。

[0147] 此外,在上述实施方式中,种子光是ASE光,但也可以是自然放出光(SE)这样的非相干光。

[0148] 此外,在上述实施方式中,种子光源是半导体光放大器,但也可以是包含具备SLD(Super Luminescent Diode,超辐射发光二极管)、SOA以及添稀土类光纤的ASE光源的至少一者。这样的SLD、SOA以及ASE光源适合作为非相干光源。

[0149] 此外,并不由上述实施方式限定本发明。适宜组合上述的各构成要素而构成的方案也含在本发明中。此外,进一步的效果、变形例能由本领域技术人员容易地导出。因而,本发明的更宽泛的方式并不限于上述的实施方式,有种种变更。

[0150] 附图标记的说明

[0151] 10:光源模块

[0152] 11:种子光源

[0153] 12、14:光隔离器

[0154] 13:辅助放大器

[0155] 13a:第1端面

[0156] 13b:第2端面

[0157] 15:输出光纤

[0158] 100、200:光源装置

[0159] 101、102:驱动装置

[0160] 1000:拉曼放大器

[0161] 1001、2001:信号光输入部

[0162] 1002、201:光合波器

[0163] 1003、2003:拉曼放大用光纤

[0164] 1004、2004:拉曼放大光输出部

[0165] 2000:拉曼放大系统

[0166] C1、C2:驱动电流

[0167] L1:种子光

[0168] L11、L21:信号光

[0169] L12、L22:拉曼放大光

[0170] L2:放大光

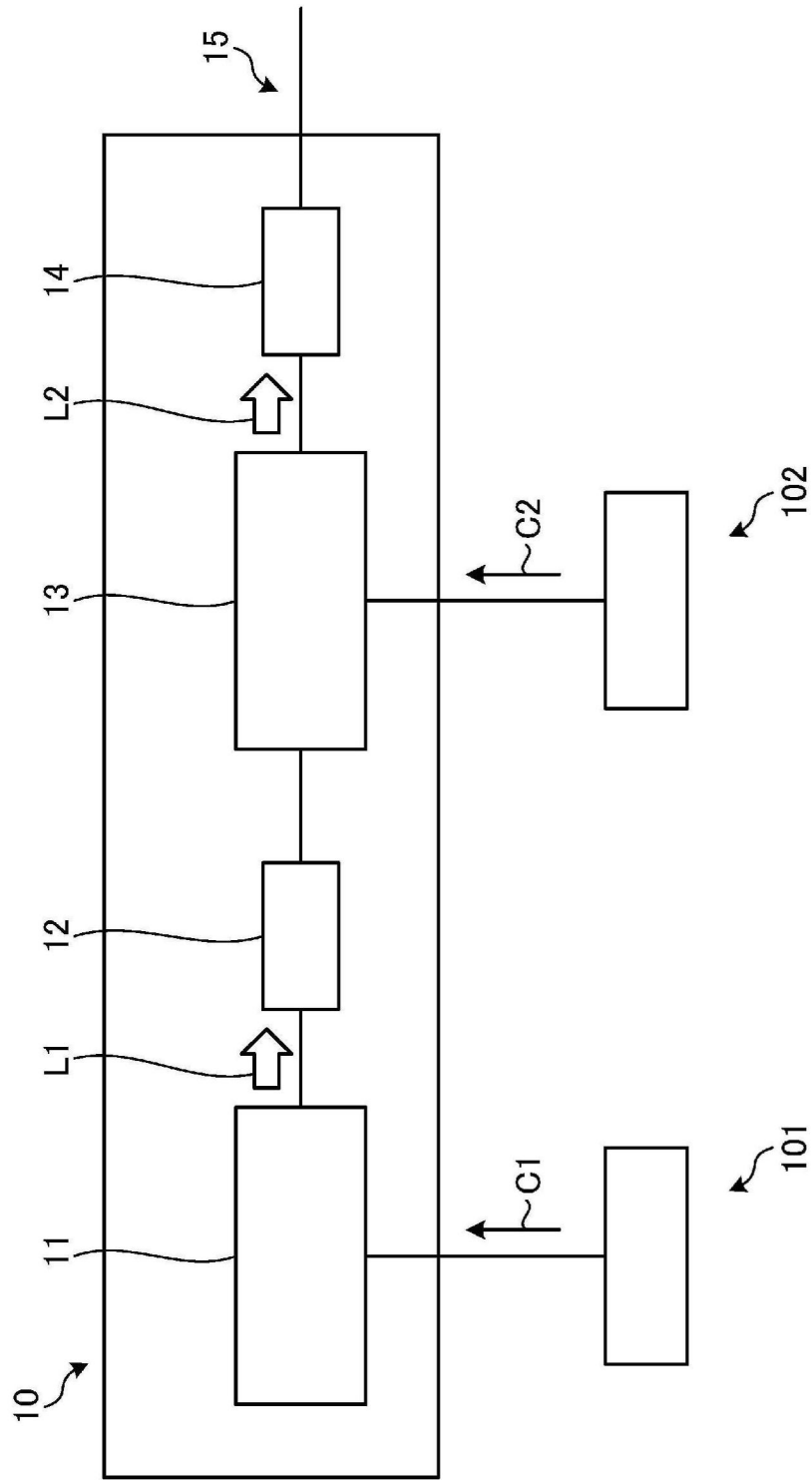


图1

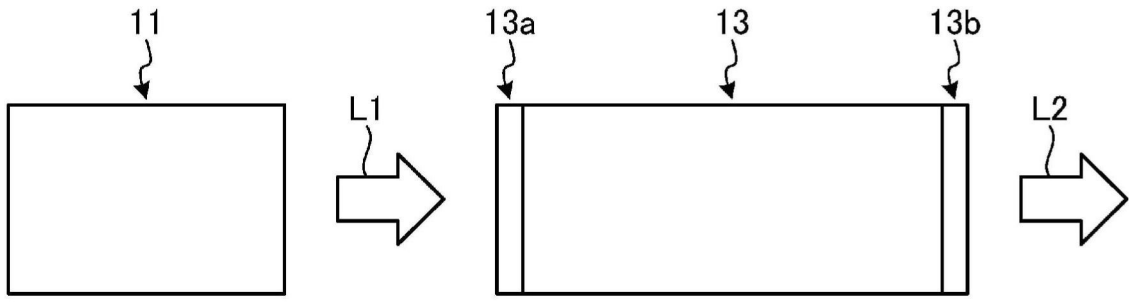


图2

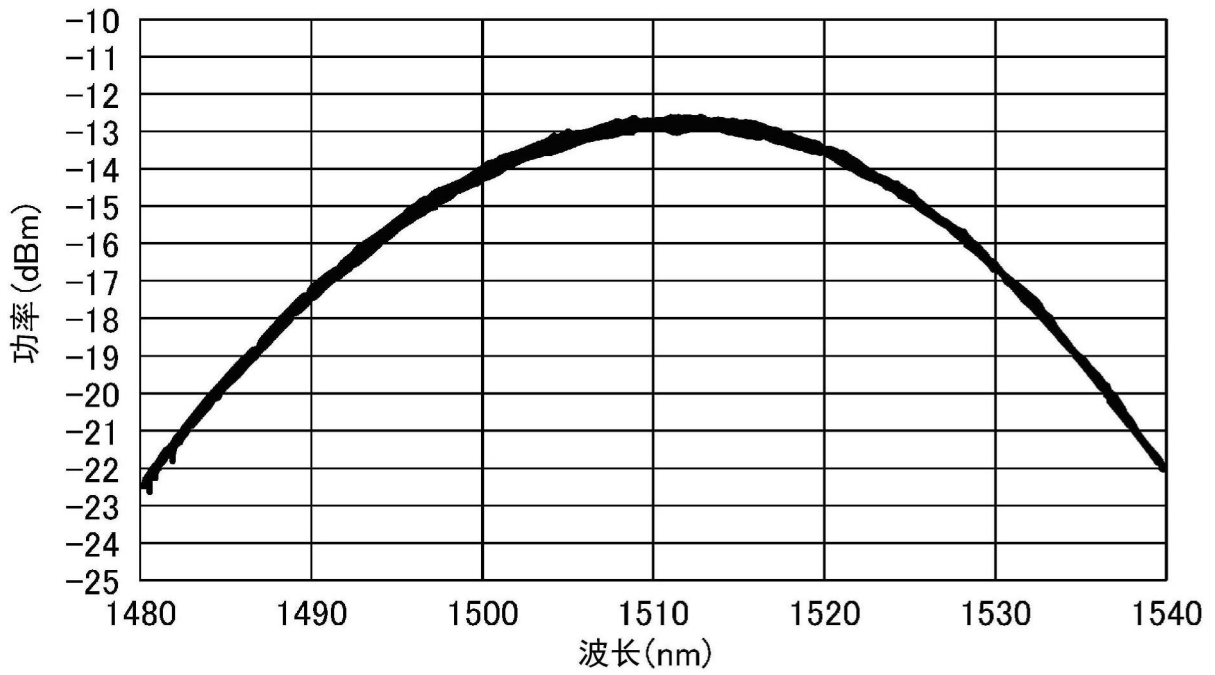


图3

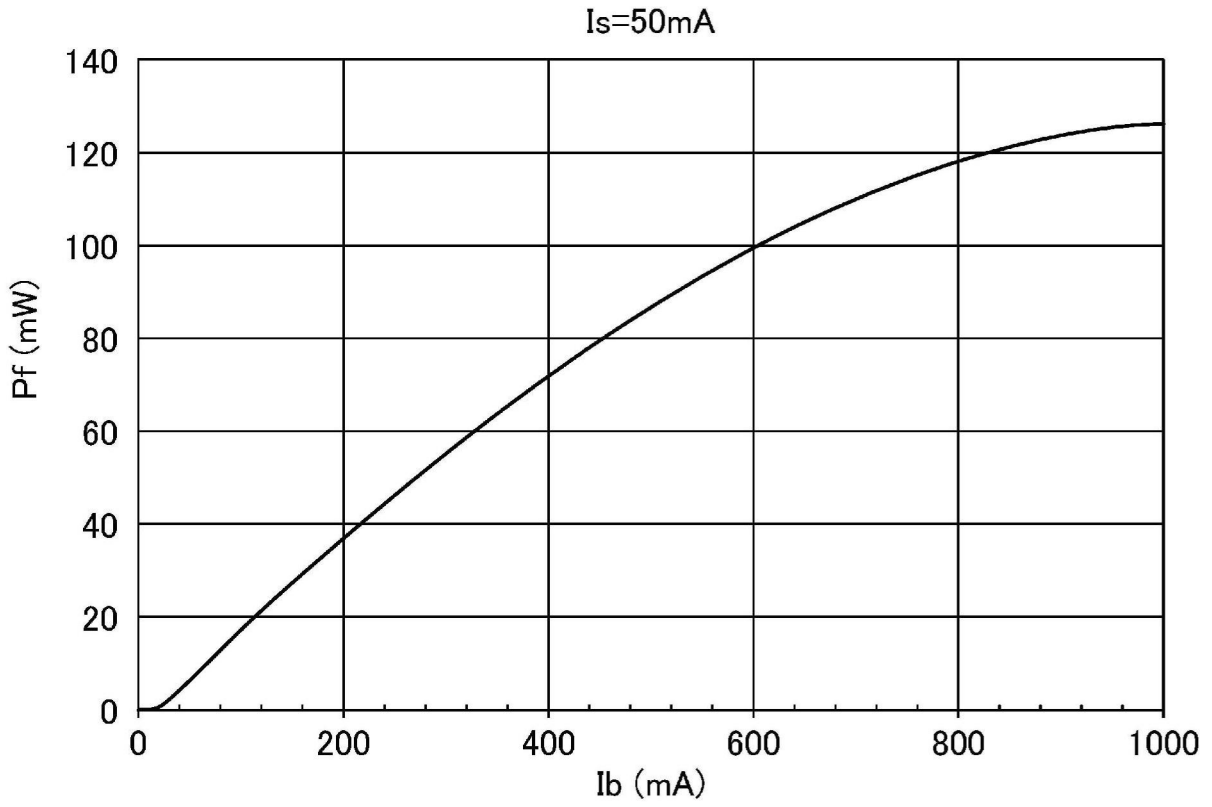


图4

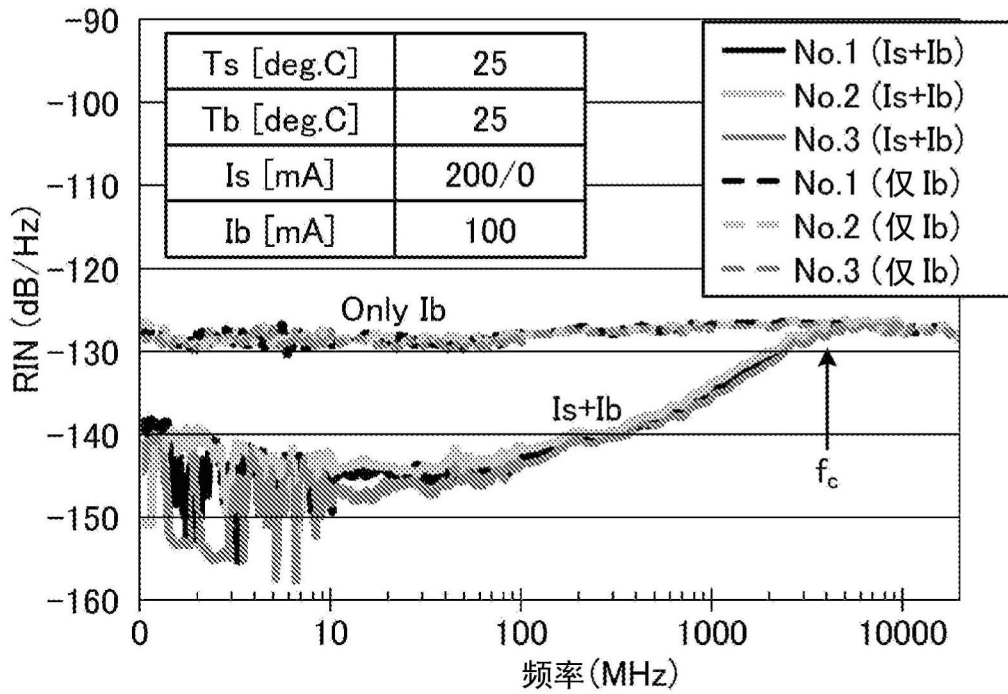


图5

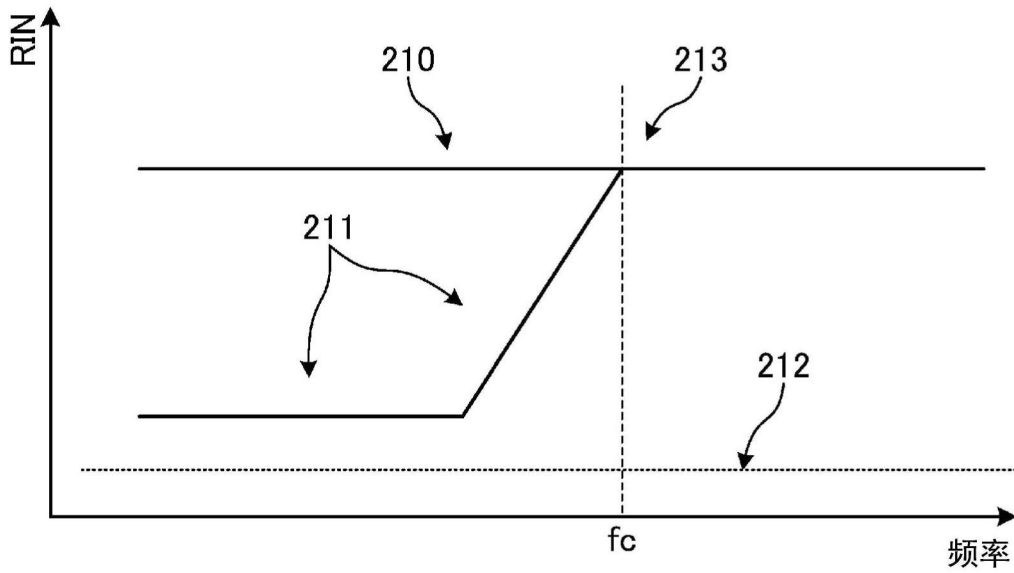


图6

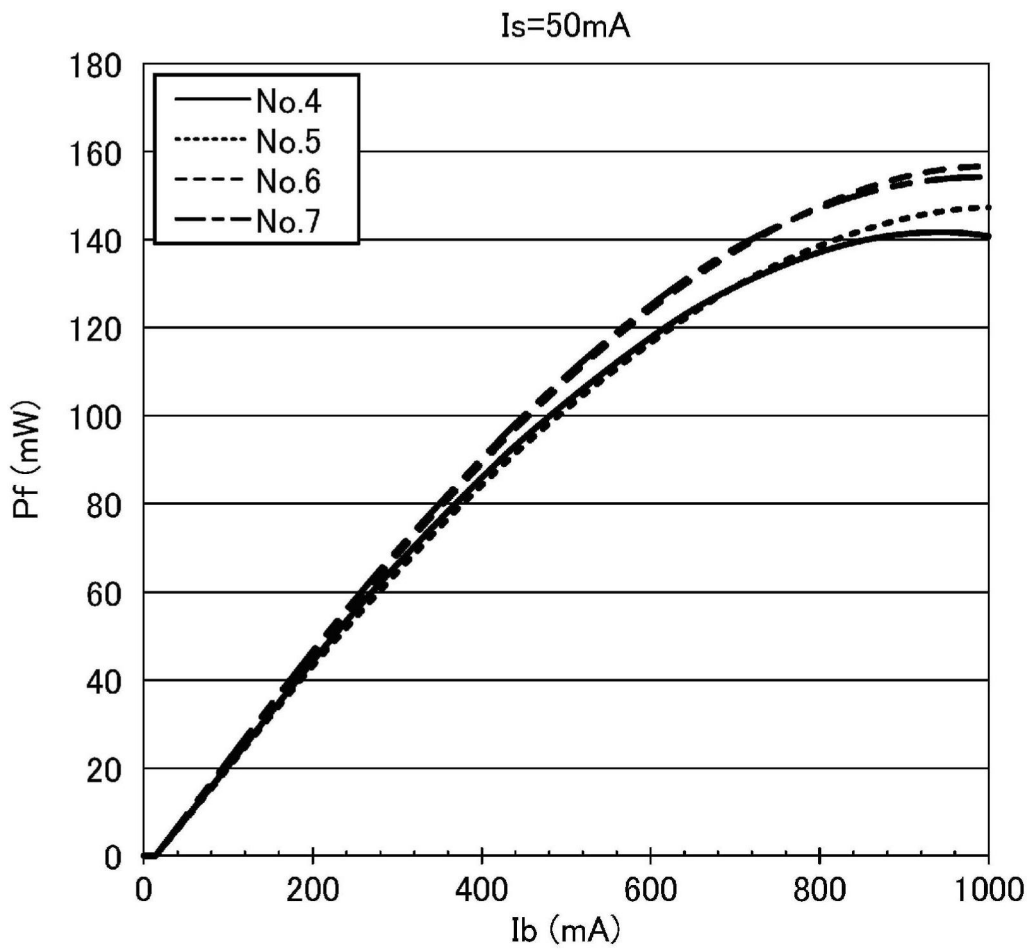


图7

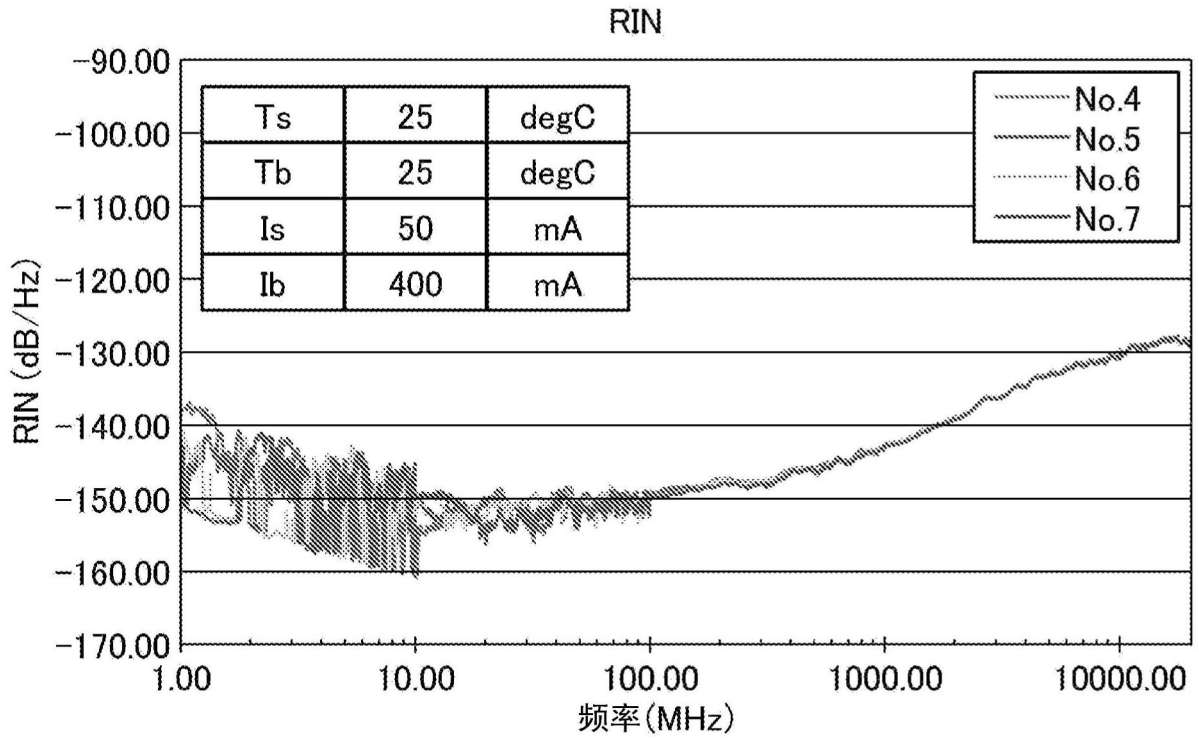


图8

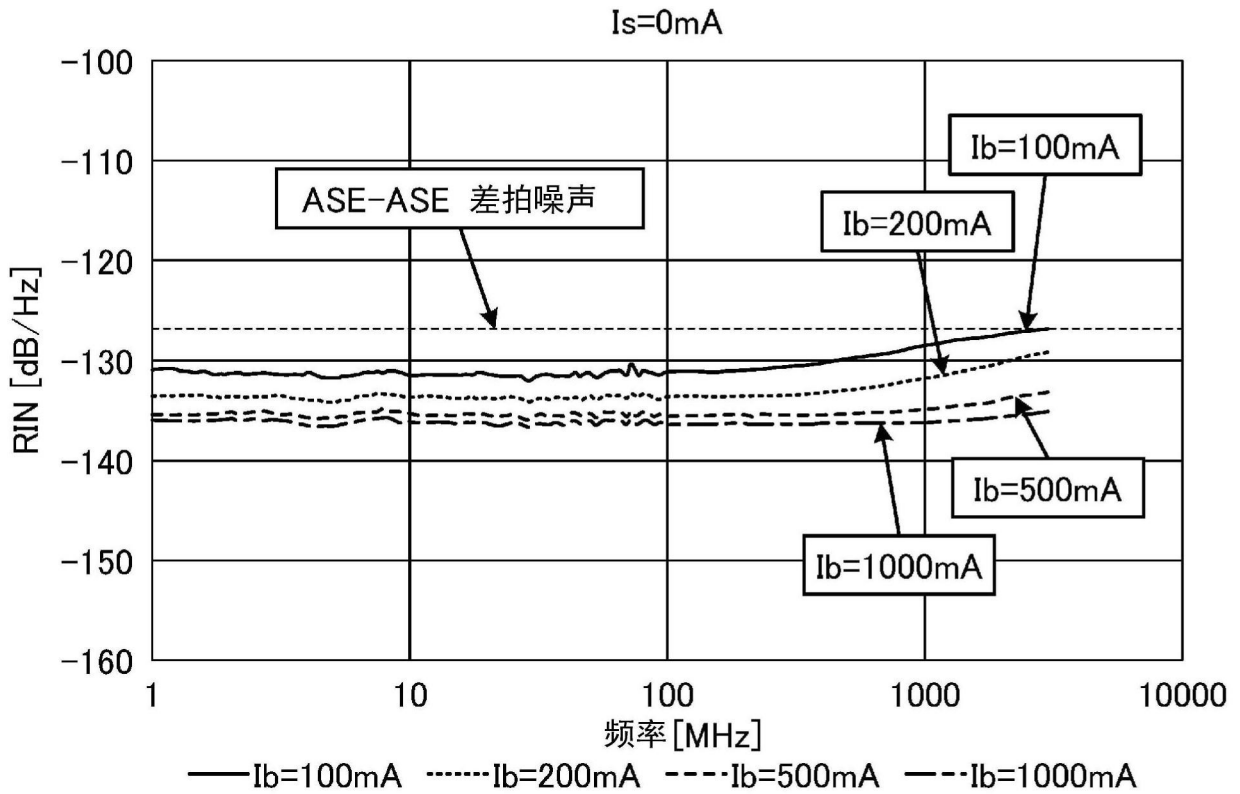


图9

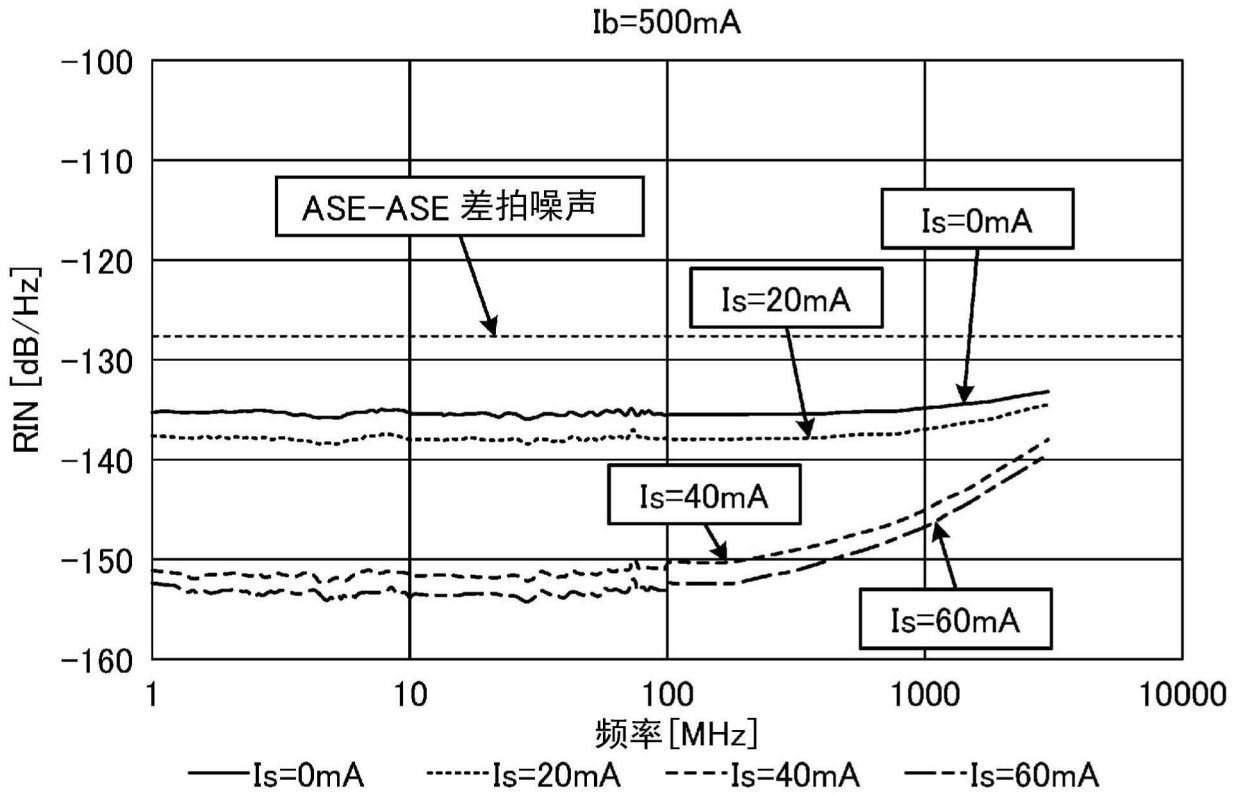


图10

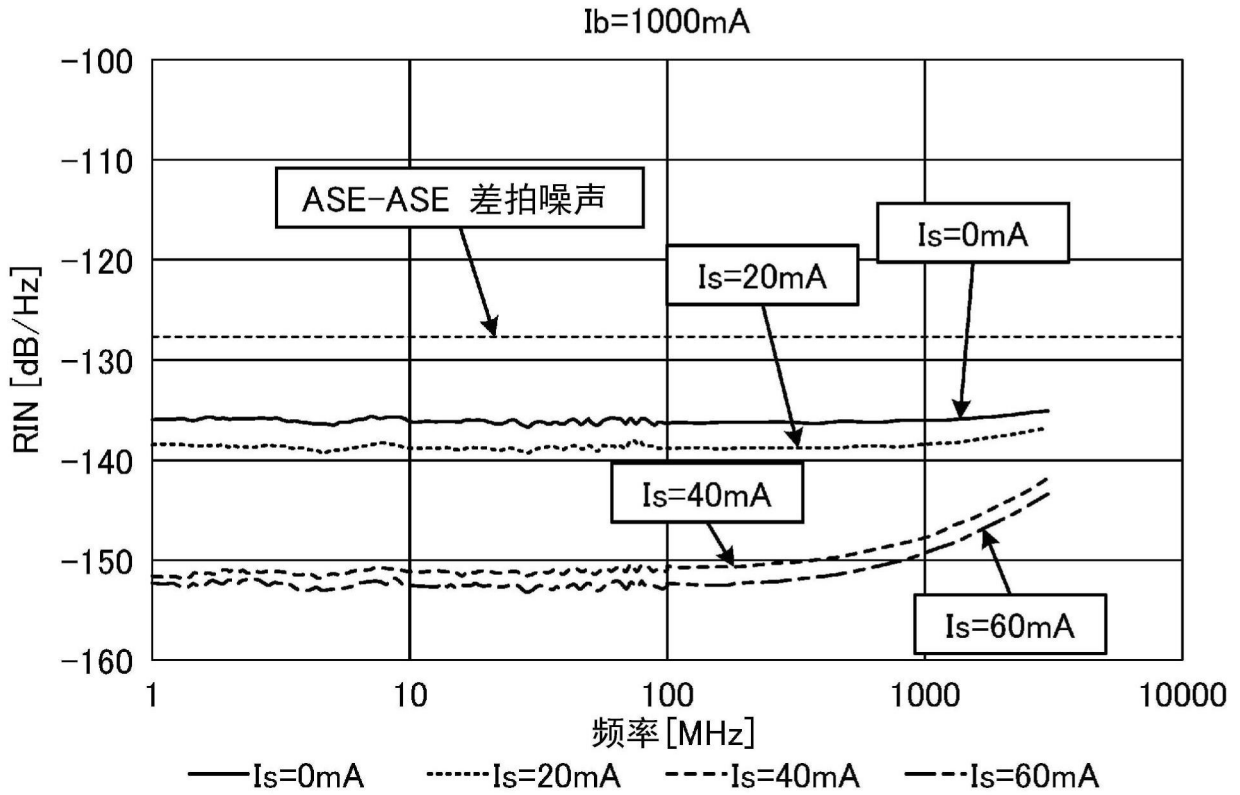


图11

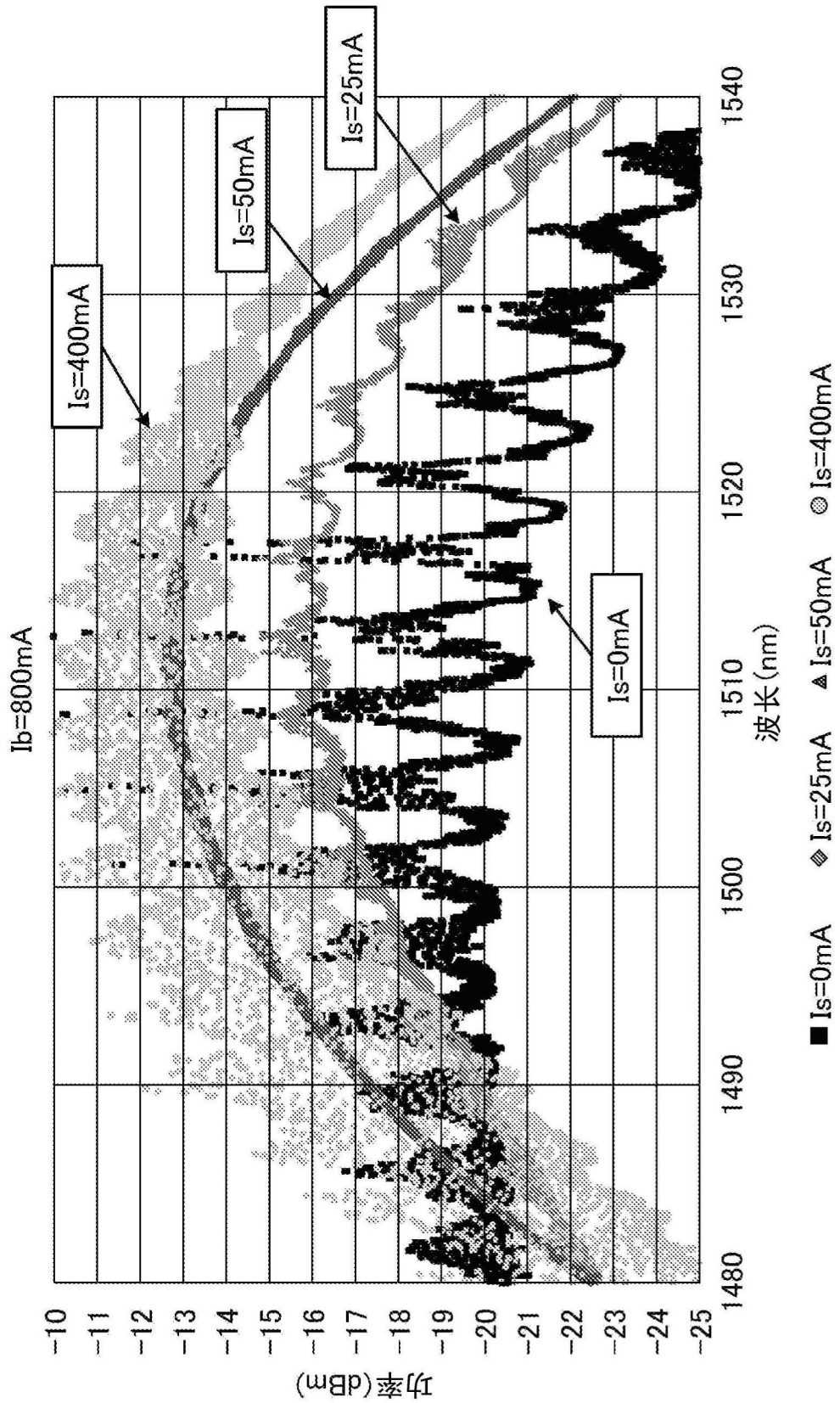


图12

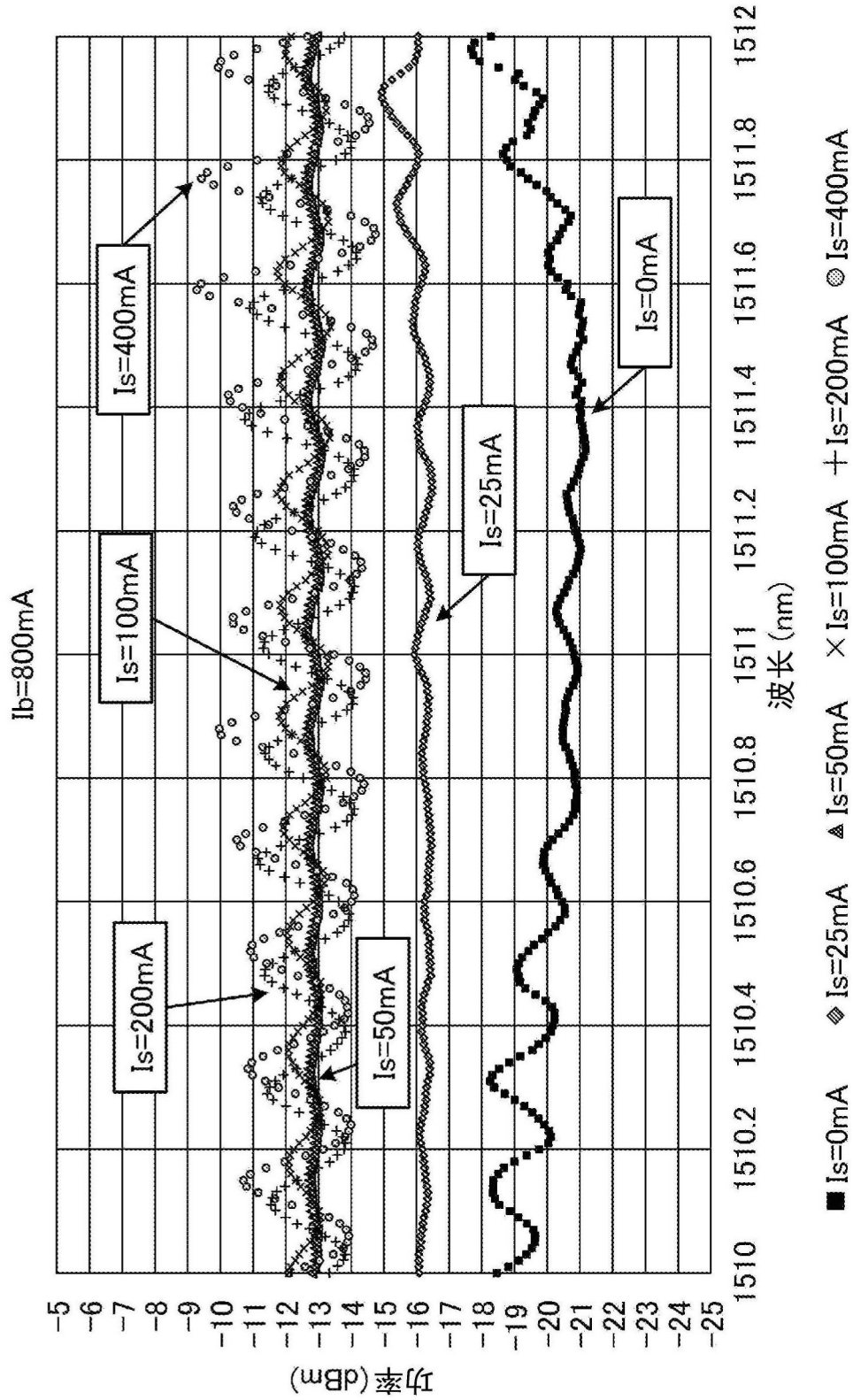


图13

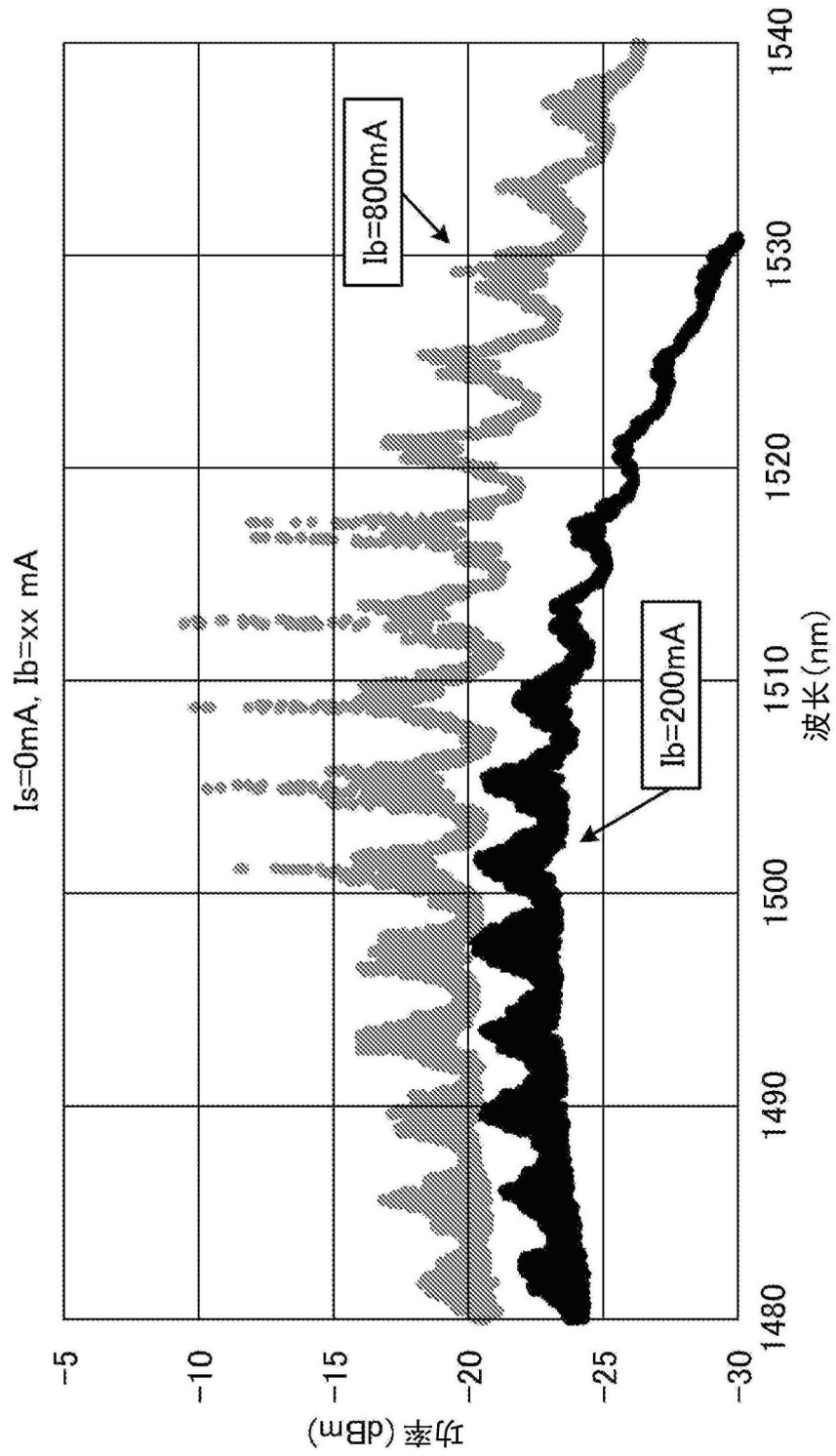


图14

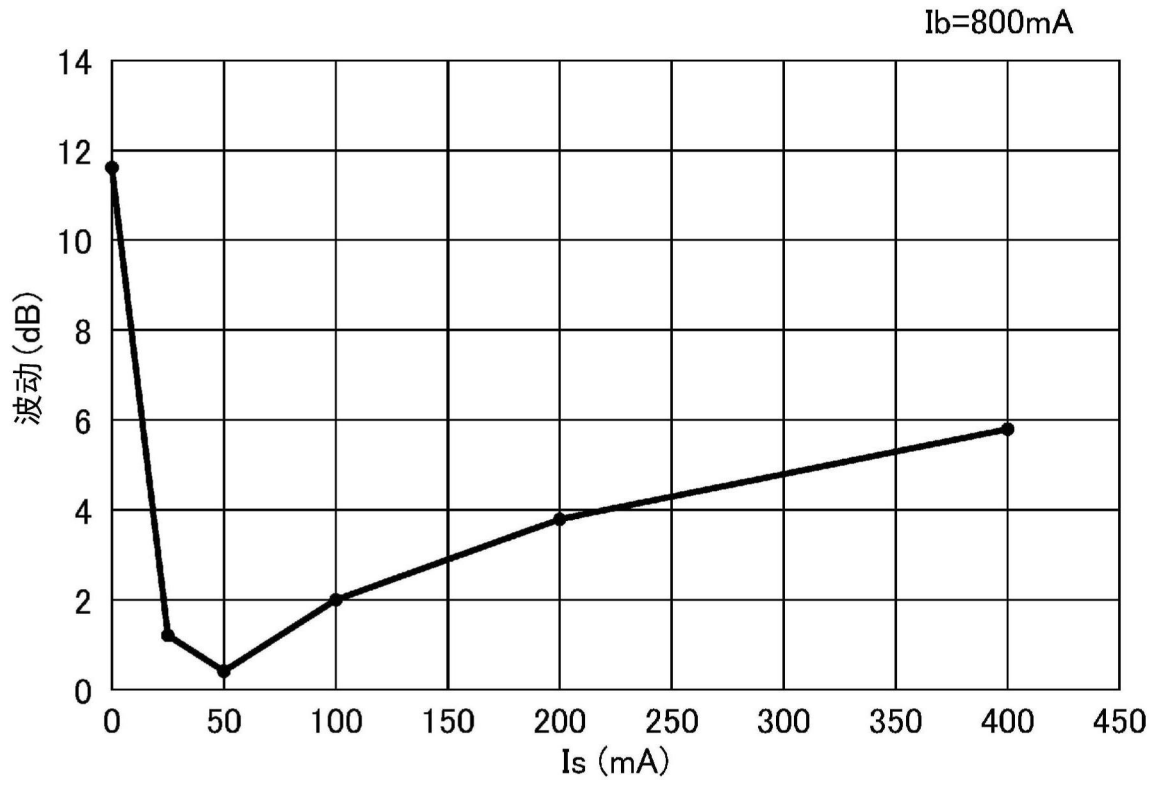


图15

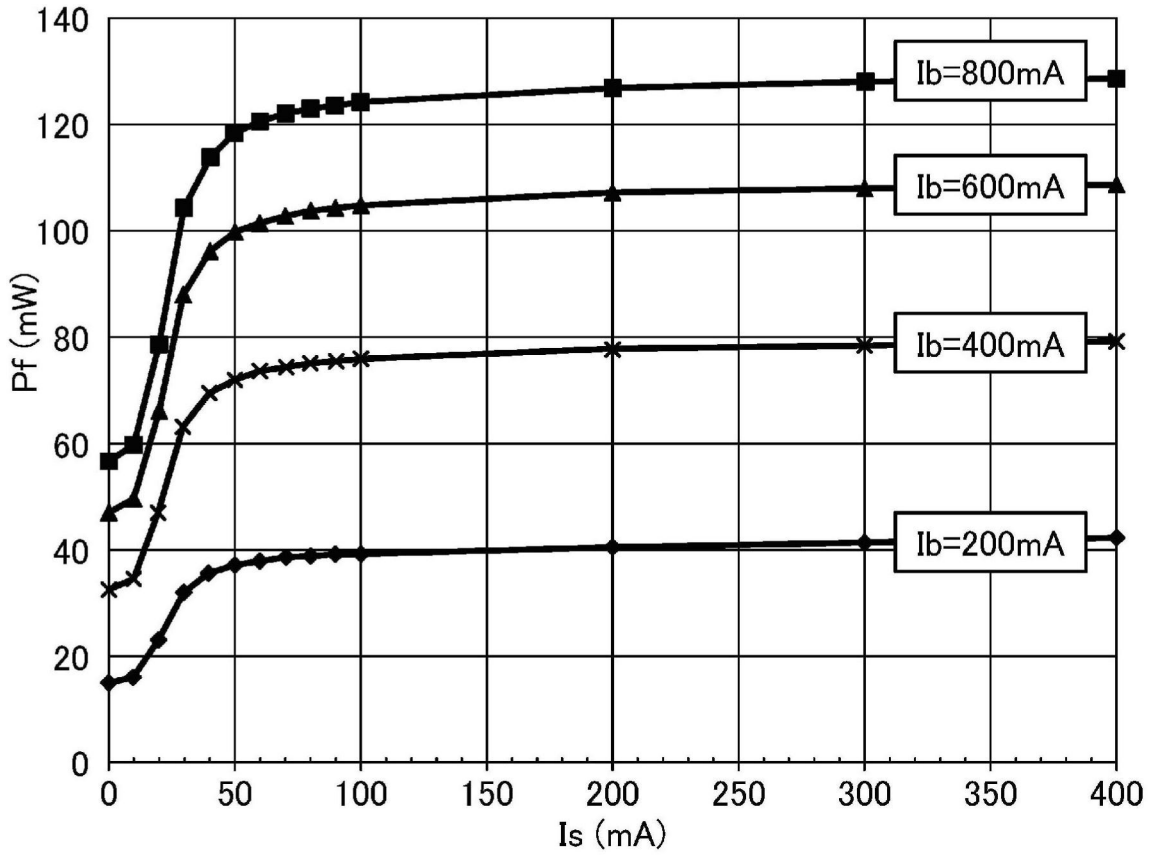


图16

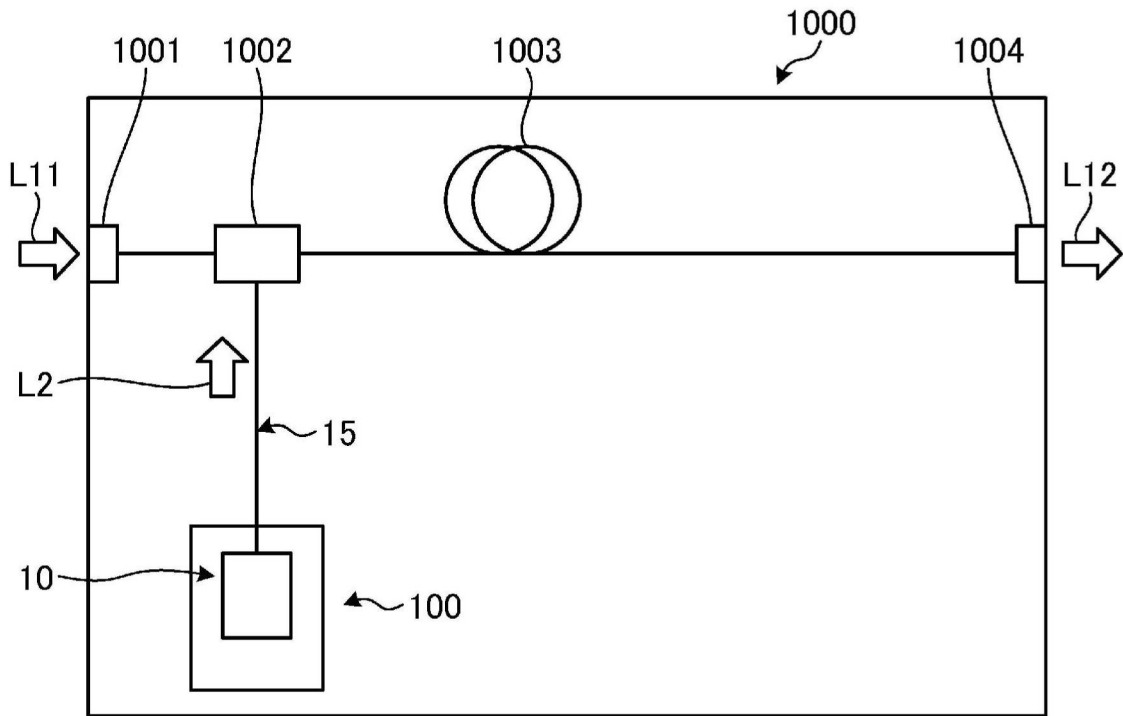


图17

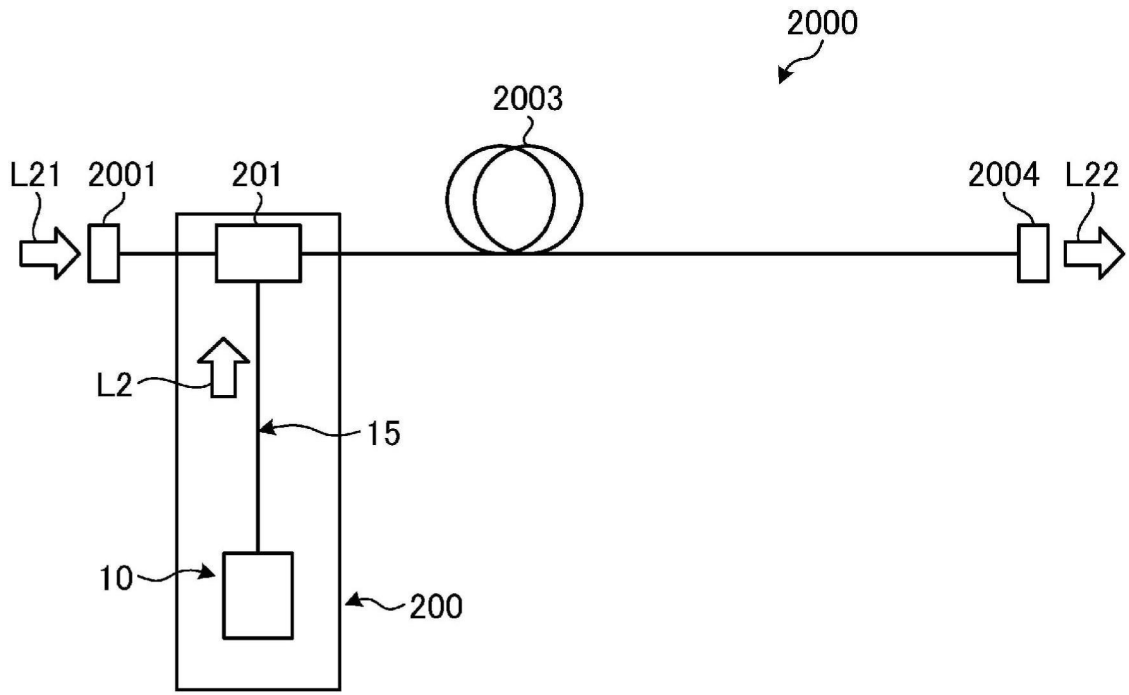


图18