

## 新功能光半导体器件

## ——“激光晶体三极管”

最近,日本松下电器产业中央研究所试制了一种划时代的新结构半导体激光器,它具有工作速度高,可以开关两束激光等以往没有过的新功能。该研究所已成功地确认了它的基本工作状态。

新结构半导体激光器,把以往的二极管结构改变成异质结双极性晶体三极管结构,而且晶体三极管的基极是由两个独立的电极构成的。因此,相对于以往的半导体激光器称为激光二极管,可以称该器件为激光晶体三极管。

该器件的结构是这样的:在InP基板上以薄薄的一层InGaAsP作为基极区域,若用InP层将它的两个面做成层状结构,就变成分别为发射极、集电极的异质结双极性晶体三极管的结构,而基极区域也就变成半导体激光器的激活区域(发光区域)。基极区域作为激活波导沟道,被嵌入部分两侧的InP基极电极层被设置成相互独立的两层。激光器发光通过在这种异质结双极性晶体三极管的发射极-基极间施加电压来实现。如果集电极上加反向电压,激光振荡就停止。以往的激光二极管,由于在切断电流停止振荡时,发光拖着一个尾巴,所以很难高速化,而该器件可以用加在集电极上的电压一瞬之间就停止发光。已确认:制得器件的响应速度可达到2.5GHz,通过进一步改善器件,可望达到40GHz左右的高速化。

此外,在实验上已经确认:如果选择基极层(激活层)的宽度,并且独立地控制所设置的两个基极电极的电压,就可以改变基极区域的发光位置,并且取出两束光,或者实现左右转换的功能。

还有,该器件做成与以往纵向电流注入型不同的横向电流注入型激光器结构。

迄今,在InP系1.3 $\mu$ m激光器中,以横向电流注入的形式没有能实现室温下的连续振荡,通过引入本公司独特的新工艺技术,实现了连续振荡运转。

再者,本器件由于是异质结双极性晶体三极管,所以比以往的晶体三极管,可以获得高的电流放大率,可将其看作是半导体激光器和晶体三极管的功能集成在一个器件里的新型光功能集成电路。

该器件是以松下电器产业中央研究所多年来开发的光集成电路(光电集成电路)技术和这种光电集成电路技术用的异质结双极性晶体三极管技术培养出来的工艺为基础,与这一新设想结合而成的产物。

这种激光晶体三极管具有这样多的特征,想来可以在很宽的范围里扩展应用,其中对于今后向光集成电路的开发和光逻辑电路方面的应用扩展寄予很大的希望。

## 开发的背景

在象计算机这样的数字信号处理中，都是使电流的“通”和“断”的状态分别与数字的“1”和“0”相对应，利用“1”、“0”状态的组合来传输信号。

由“1”、“0”所组合的数字信号抗噪声能力强，适于高速大容量的信息处理，所以最先在计算机一类需要高速、大容量信号传输性能的装置中获得应用。

在象光局部区域网络通信这样的光通讯和光盘、CD (Compactdisk) 盘等的光信息处理中，通过使流过半导体激光器的电流“通”“断”，来使激光输出通断，

为使信息传输高速大容量化，必须增加每秒钟“通”“断”的次数，目前常常使用每秒钟切换3200万次 (32Mbit/s) 的方式，但希望在每秒转换100亿次 (10Gbit/s) 以上。

但是，目前的半导体激光二极管，在切断作为PN结二极管固有特性的电流时，由于所谓“载流子存储效应”现象，电流不会一下子就被切断，而是缓慢延伸并拖着一个尾巴，如果使用高速调制，就会与下一次的“通”信号重合，不可能做到高速。所谓“载流子存储效应”，就是切断PN结二极管的电流时，电子或空穴会残留在二极管的接合部，无论如何也不会变空的现象。

这次研制的激光晶体三极管，结构是异质结双极性晶体管结构，要停止发光就在集电极上加电压，电子流过集电极，使基极中的复合发光停止。总之，晶体管结构的激光器切断开关的工作原理完全不同，不受存储效应的影响，异质结双极性晶体管的特性决定速度。

## 研制器件的结构及特性

这次研制的器件是以p型InGaAsP层作为基极层，用n型InP层把它的两个面做成层状结构的异质结双极性晶体管结构，基极层都变成激光器的激活区域，形成法布里-珀罗谐振腔。所谓异质结，就是用带隙能量不同的半导体材料作成的结，本激光晶体三极管就是由InP层和InGaAsP层结形成的。图1示出本器件的斜视图。

本激光晶体三极管是在n型InP晶体基板上形成n型InP层 (集电极)、p型InGaAsP层 (基极) 和n型InP层 (发射极)，再采用In溶媒液相外延生长法生长晶体。其后，通过蚀刻形成激光波导沟道；另外，为了使光关闭在里面和在最初形成的p型基极层上有效地从横向供给电流，采用同样的液相外延生长法在已经变成凹状的部分嵌入p型InP层 (基极电极层)。接着如图1所示安装上发射极、基极和集电极等各个电极，利用劈开性在基极层两端形成谐振腔。

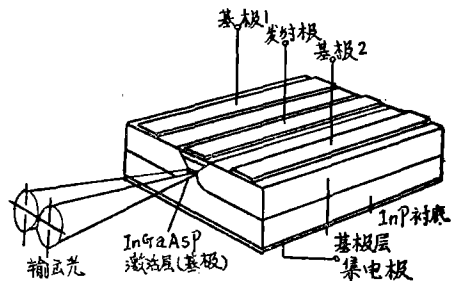


图1 激光晶体三极管的结构

通过把p型InGaAsP层 (基极) 夹在两层n型InP (发射极和集电极) 之间，就可以在层状结构上构成三大异质结构的npn型晶体管。

本激光晶体管的激光器发光，如图2(a)所示，系利用这种异质结双极性晶体管发射极-基极间所加的电压，从横向把电流注入到基极来实现。即由发射极层注入到基极层的电

子被带隙能量高的发射极层和集电极层关在里面。结果，基极层的电子与空穴复合，产生激光振荡。在这种状态，如图2(b)所示，如果在集电极-基极之间施加电压，就引起晶体管动作，从发射极注入到基极层的电子没有被关在基极层里面，而被吸到集电极层，所以激光器停止振荡。以往的激光二极管，即使切断开关停止振荡，由于载流子存储效应，电流也只是慢慢地减少。切断开关以后到电流停止的时间称为存储时间，由于激光二极管具有1~5ms的存储时间，所以对快于这个时间的信号，它的响应特性就成问题了。本激光晶体三极管，由于在集电极上加有电压，从发射极流到基极的电子一瞬间就从发射极转换到集电极，所以不受存储时间的影响。因此，本激光晶体三极管的速度由异质结双极性晶体三极管的特性决定。虽然已确认所试制的激光晶体三极管最大的响应特性为2.5GHz，但异质结双极性晶体三极管的理论极限值却在100~200GHz。

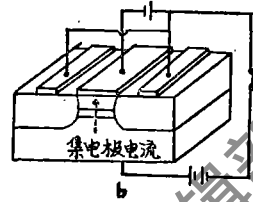
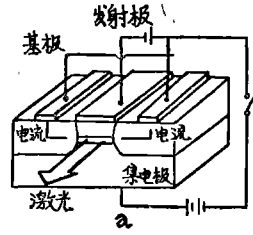


图2 激光晶体三极管的工作(I)。  
a.如果集电极电流不流动就产生激光振荡；b.如果集电极电流流动激光振荡就停止

另外，如图3a所示，本器件如果在基极1和发射极之间施加电压，激光器就从左面发光，如图3b所示，如果在基极2和发射极间施加电压，激光器就从右面发光；如果在两个基极上同时施加电压，就可以从左右两方取出两束激光。于是，本激光晶体三极管，通过控制独立设置的两个基极上的电压，就可以切换两束激光。

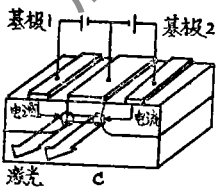
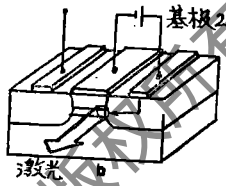
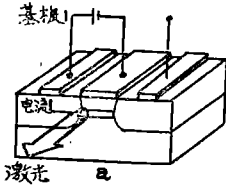


图3 激光晶体三极管的工作(II)。  
a.如果在基极1上施加电压，激光器左面振荡；b.如果在基极2上施加电压，激光器右面振荡；c.如果在两个基极上施加电压，激光器两面振荡

使本激光晶体管得以实现是由于采取了下列措施：

- 1.采用异质结双极性晶体三极管结构；
- 2.为了有效地实现向激活层(基极层)横向注入电流，在基极结构上采用独特的工艺技术。

由以上结果，本激光晶体三极管的芯片尺寸为 $300 \times 300 \mu\text{m}$ ，已确认具有下述特性：激光振荡波长为 $1.3 \mu\text{m}$ ，振荡阈值电流为40mA，外微分量子效率为15%，电流放大率为1000，最大工作频率为2.5GHz。

### 新器件的特点

- 1.可实现半导体激光器的高速调制

(下转封底)

(上接第47页)

本激光晶体三极管，通过在激光器工作时对基极-集电极间施加反向偏置电压，就可实现半导体激光器的开关和调制速度的高速化，实验确认：最高工作频率达2.5GHz。另外，通过使设计最佳化可望工作频率达到40GHz左右。

#### 2. 可实现激光振荡位置的切换

通过适当选择基极区域——激光激活层的宽度，经过靠近基基层设置的嵌入式基极电极层，从横向独立地供给基极层两个电流，就可改变基基层内激光发光位置，而可左右开关激光器的振荡位置这一点，正是构成光变换器和光存储器等所期望的特性。

#### 3. 可实现半导体激光器和晶体三极管的功能集成化

本激光晶体三极管是用p型InP层嵌入具有双异质结的倒台面型npn双极性晶体三极管作为基极电极的晶体三极管。可以说是实现了具有高电流放大率的晶体三极管和嵌入型半导体激光器的功能集成化的器件。

#### 4. 是一种1.3 $\mu\text{m}$ 波长横向注入型激光器

以前，在InGaAsP系1.3 $\mu\text{m}$ 激光器中，象本器件这样的横向电流注入激光器，尚未实现在室温下的连续振荡。而本器件通过采用异质结双极性晶体管结构和引入本公司独特的工艺技术实现了连续振荡。象这样的横向注入型激光器可望成为一种能适用于在绝缘基板上提高集成度的光集成电路等的光源。

### 展 望

新试制的激光晶体三极管，是一种拥有集电极电极的三端结构半导体激光器，具有高速开关功能。这种激光晶体三极管在光纤通讯中，是一种可传输高速、大容量信息的器件，通过使结构最佳化，进一步降低结电容量和串联电阻，实现更进一步的高速化。另外，这种激光晶体三极管还具有通过控制基极电流使激光振荡位置转移的新功能。这种新功能可望在光变换器和光存储器等光逻辑电路中获得应用。今后，通过拓展用途，这种新器件不仅适用光通讯领域，而且还可望在光信息处理领域中获得应用。

译自《电子材料》，1984年，12月，第114~117页。

王世贵 译 阙泽生 校

# 兵器激光

(双月刊)

限国内发行

经国家科委批准出版

四川省期刊登记证第148号

1986年第2期(总第42期)

编辑出版者《兵器激光》编辑部

发行订阅处《兵器激光》发行组

成都市238信箱27分箱

印刷者 成都市华民印刷厂

1986年4月25日出版

定价：全年6.00元，每期1.00元