

乎沒有实际的限制。

## 五、結 論

綜上所述，可得如下三点結論：

1. 光激射器的应用范围极广，对其輸出能量的要求也很不相同。就目前情况看，尚无一  
种万能的測量方法(或設備)，可以兼备精确測量大、中、小三种能量的能力。故能量的測量  
祇能分段考慮。

2. 測量低能量，以光电法为宜；測量中等能量，以热电法为宜；至于高能量的測量，虽  
然目前大多借助于某些衰減作用，以热电法进行，但我們认为，这种方法将会受到限制，而  
不再适用。最終，将被光压法取代。

3. 光压法虽早在 1962 年就已提出，但迄今为止，尚很少被采用。估計原因在于其技术  
要求較高，且目前的輸出能量还没有达到不借助于它便无法进行測量的地步。但是，鉴于当  
前能量提高的速度，及早探討这种測量方法似乎已是刻不容緩的事。

本文蒙沃新能同志审閱，得到了不少有益的启示，特致以衷心的謝意。

## 参 考 文 献

1. Microwaves, Vol. 3, № 10 (Oct. 1964) pp. 34—56
2. Phys. Rev. Vol. 123, № 4 (Aug. 1961) pp. 1151—1157
3. Proc. IEEE, Vol. 51, № 4 (April. 1963) pp. 606—607
4. Proc. IEEE, Vol. 51, № 2 (Feb. 1963) p. 365
5. Proc. IRE, Vol. 50, № 2 (Feb. 1962) p.207
6. Electronics, Vol. 36, № 5 (Feb. 1963) p. 36
7. 中国科学院光学精密机械研究所上海分所論文(未发表) 1964
8. Appl. Optics, Vol. 3, № 5 (May. 1964) pp. 644—645
9. Microwaves, Vol. 3, № 1 (Jan. 1964) pp.50—57
10. Appl. Optics, Vol. 2, № 2 (Feb. 1963) pp. 163—164
11. Proc. IRE, Vol. 50, № 7 (July, 1962) p.1693

## 紅 外 綫 通 訊 的 近 况

室伏清 伊藤文夫

由于 1960 年光激射器的試驗成功，紅外綫通信进入了一个嶄新的阶段。光激射器的制  
成，意味着获得了紅外区域中的相干光源，它使得紅外多路通信的工作向前迈进了一大步。

但在实现紅外多路通信的問題上，在調制和解調的技术方面，还有着不少必須解决的問  
題，它們有待于今后的研究。

关于紅外通信的发展历史已有不少文献作了評述<sup>[1][2]</sup>，詳細的情况請參攷介紹的文献。  
下面仅就紅外綫通信的現狀、尚存在的關鍵性問題及其发展动向等作一論述。

### 紅外綫通信的近况

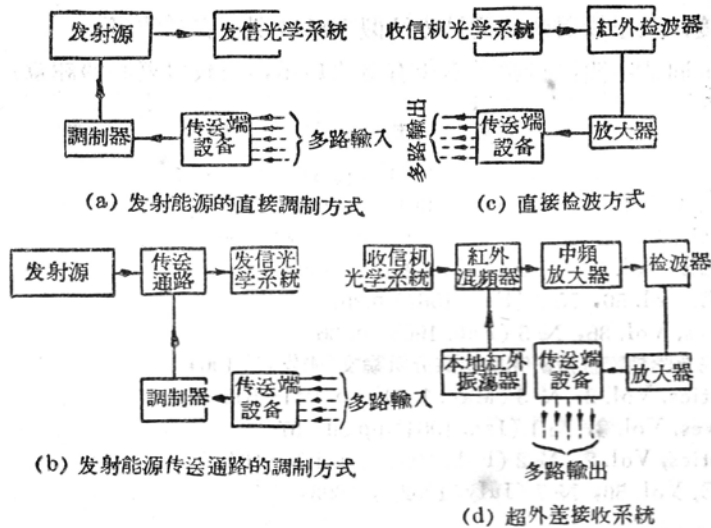
紅外通信适于作为宇宙通訊、超多路通訊以及特殊的軍事通訊，它有很多优点。故在各

国(特别是美国)均进行着大量的探索研究工作。其主要目的在于探索将 60 年代出现的光激光器用作红外通信系统的能源后的通信方式。特别是 61 年美国贝尔电话研究所制成了连续工作的气体光激光器之后,把光激光器应用于红外通信就更为具体化了。

另外,在美国除了研究利用光激光器作能源的通信设备以外,对不用光激光器的红外通信设备也作了积极地研究。62 年 5 月麻省理工学院利用杂质半导体作为电能—红外变换器而获得了大功率的红外线,利用这种变换器作成的实验性红外通信系统,在 80 米的距离上成功地传送了电视图象[3]。这种不用激光光的红外通信设备,适用于通路较少的多路通信系统。

下面介绍红外通信的现状。

a) 通信方式的现状:就目前已经提出并已实用的红外通信方式,按其调制及解调方法作一大致区分的话,其调制方式可分为(1)载波的直接调制和(2)在载波通路上进行调制两类,而解调方式有(1)直接检波和(2)光学超外差接收两类。(见图 1 a. b. c.)



第 1 图 红外线通讯系统

其中,光学超外差接收的解调方式在技术上完全是一个空白,但实验室里的初步试验已经成功。(见图 1 d)。这种方法虽然与无线电通信中所用的方法完全相同,但由于没有相干光,故至今尚未实现;光激光器的出现使它成为可能,故可望做为超多路红外通信的解调方法。

从历史上来看,很早就利用了载波的直接调制方法,它可以把通信功率达到很大,但调制频率不可能很高。随着科学技术水平的提高,精密加工有了很大的进展,尤其是发现了许多物理现象,有可能采用光通路上进行调制的方法。最近的通信系统中就大量使用了这一调制方法,它的调制频率可高到微波波段,但其传送效率较低。

在解调方面,很早就开始采用直接检波的方法,它的最高检测频率为 1 兆赫左右;再高一些的频率,由于回路参数的影响,检波就很困难了。光激光器的出现使光学超外差接收方法成为可能,但这还限于实验室内而不能付诸实用。

b) 红外源的现状:依红外通信用能源的产生机构,可将它分成下列两类:(1)相干能源;

## (2) 非相干能源。

历来，用在紅外通訊中的能源是非相干能源(如黑体輻射源、电弧等)。60年得到光激射器后，才有可能把相干能源用于紅外通訊。近年来，由于半导体技术的发展，利用p-n結中电子-空穴的复合輻射，終于获得了具有相干性和高变换效率的紅外光源。

下面，就上述两种最近发展起来的能源即(1)光激射器，(2)复合輻射器作一概括的介紹。

(1) 用于紅外通信的光激射器：关于光激射器有許多专门敘述的文献[3,4,5]，在此仅談及可用于紅外通信的光激射器。

至今已有许多关于光激射器工作的报告，且其数与日俱增，当我们从中选择用作紅外通訊的能源时，从现有的材料制备和調制技术角度上，必需考虑到下列两点要求：

(1) 連續工作，(若掌握了控制技术，脈冲工作亦可)。

(2) 輸出波长在0.7—10微米之間。(傳送的光学系統和檢測器性能有进一步改良的話，可使用更寬範圍內的波长)。

考虑到这两点，所选择的紅外通信用光激射器如表1所示。

表 1 紅 外 綫 通 信 中 的 光 激 射 器

工 作 物 质	輸出波长(微米)	研 制 单 位	輸 出 功 率(毫瓦)	运 轉
(1) He-Ne 混合气体	1.18—1.2	1961年贝尔电话实验室	1.0	連續波
(2) CaWO <sub>4</sub> : Nd	1.06	"	毫瓦級	"
(3) CaWO <sub>4</sub> : Pr	1.047	"	1	"
(4) CaF <sub>2</sub> : Dy <sup>2+</sup>	2.36	1962年贝尔电话实验室	0.6—2.5	"
(5) Ne: O <sub>2</sub>	0.8446	"		"
(6) Ar: O <sub>2</sub>	0.8446	"		"
(7) He, Ne, Ar, Kr, Xe	1.69—2.189	"		"

当然，在新的光激射器不断出現的今天，适用的数目可远超出上表所示的範圍。

CaF<sub>2</sub>:Dy<sup>2+</sup> 光激射器的輸出波长为2.36微米，这正好在大气窗的範圍內，由于水蒸气的吸收較少，故适用于作为地面两点間的紅外通訊能源。

脈冲工作的光激射器为数甚多，但由于还没有掌握調制技术，尚不能用于紅外通訊中。在掌握調制技术后，可用于脈冲編碼調制通訊。一般來說，目前光激射器尚处于研究阶段，还不是成熟的技术，故要能用于实际系統中还需一定的時間。

(2) 复合紅外輻射器：近年来，半导体技术及物质結構理論的发展，闡明了半导体p-n結中电子与空穴复合的机构，发现了下列事实：当由外部向p-n結注入过剩的电子时，它們将与空穴复合，而电子所多余的能量以电磁波形式向外輻射。利用这一現象，可将电能无需經過中間热能的状态而直接轉变成紅外綫，这样的嚐試首先在硅的p-n結上获得成功。62年麻省理工学院获得了变换效率接近于1的GaAs p-n結的紅外綫能源。

麻省理工学院实验室获得了下述結果：在77°K时，p-n結发射出中心为0.8微米寬度为100Å的紅外綫，而在室溫下得到中心为0.93微米寬度为300Å的紅外輻射。

其輻射強度，當正向電流為 1.9 安培時，是 1.2 瓦/厘米<sup>2</sup>。

這種輻射源雖然得不到象雷射光那樣的相干性，但與往來的熱輻射源相比，相干性則要准得多了，因此，可以得到信噪比很好的紅外通信。這種輻射器的調制非常簡單，只要改變流經 p-n 結的電流，就可以獲得強度調制的紅外輻射線。

c) 調制方法的現狀：很早就設計了種種紅外通信用的調制器方案，但從本質上講它們均包含在兩種調制方式之內。即：

- (1) 光源直接調制；
- (2) 光能通路上的調制；

下面就各方式中所包含的各種調制器作一介紹。

(1) 光源的直接調制：它進一步又可分為兩類：(甲)輻射強度的調制和(乙)輻射波長的調制。其中，輻射強度的調制方式很早就已採用，這種類型的發射裝置較為簡單，且由於能夠獲得極強的紅外線，故用於簡易型和遠距離的設備中，但這種調制至今也不能進行高頻調制，故不適用於多路通訊。圖 2 是 62 年日本的輻射強度調制的紅外通訊系統。但是，用最近美國麻省理工學院研製成功後 GaAs 复合紅外輻射器時，有可能用直接調制電流得到 10 千兆周的調制，在美國無線電公司已經獲得了 200 兆赫的調制<sup>[9]</sup>。因此，比起用光雷射器的紅外通信設備來，採用复合紅外輻射器的方法，或許能更快地製成多路通訊的實用設備。

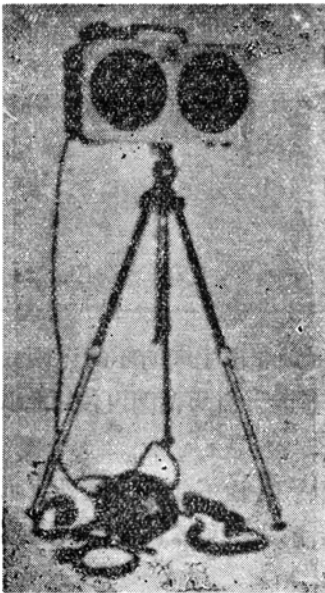


圖 2 1962 年日本產的輻射強度調制的紅外通訊設備

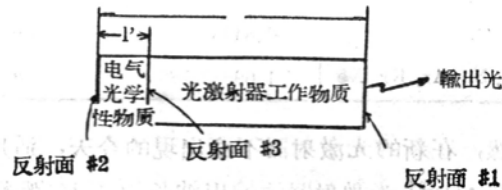


圖 3 共振頻率調制方式

用光雷射器作能源，目前尚沒有成熟的調制技術，處於研究階段，在試驗中的有：

- (1) 屬於輻射強度調制的激勵光源調制；

- (2) 屬於波長調制的：甲. 塞曼效應調制，乙. 斯塔克效應調制<sup>[10]</sup>；丙. 諧振頻率調制。

激勵光源調制是將激勵源的輸入功率作振幅調制，由此而獲得振盪的調幅。它要求調制器具有較大的容量。

塞曼調制即是在光激射器的工作物质上加以磁場，以此把盪能譜分开而达到調頻。斯塔克調制是在工作物质上加以电場，以此把振盪能譜分开而达到頻率調制。

諧振頻率的調制方法，利用了一块光学性质(如折射率)随所加电压而变的物质，依图3的方式置換光激射器的部分介质，並在其上加电压，使等效长度改变，这也等效于两反射面間长度的改变，由此而获得振盪頻率的調頻。

目前尙未見到上述数种調制方法实验成功的报告。

(2) 在光能通路上进行調制的方式：它亦可以評分为二：傳送能量的調制方式及傳送能譜的調制方式。前者对傳輸通路保持一定的輸入能量，而其輸出跟随着調制訊号而改变。所用的調制方法有：a) 电—机械調制；b) 电—光調制；c) 磁—光調制；d) 半导体調制；e) 超声波調制。

在紅外通信的初期，最常用的是电—机械的調制方式。自从晶体的电場双折射现象发现之后，也采用了电—光調制方式。图4中是1942年德国制造的用电—机械調制方式的紅外通訊設備。

电—机械的調制方式由于机械部份的慣性，其調制的是高頻率為10千赫左右。电—光調制方式有可能达到微波的調制頻率，故再度受到重視。目前，将它与新制成的ADP(磷酸二氢铵)及KDP(磷酸二氢鉀)等人工晶体相結合，而作为一种紅外綫的微波調制方法在进行研究[12,13,14]。但这一方法中所需的調制电压相当高，是其缺点。磁—光調制方法利用了法拉第效应，以强磁場使光的偏振面旋轉而使透过調制器的光能发生改变。由于它需要較大的磁場，而調制器的出口目前尙不能开得很大，故几乎无甚实用价值。有人提出了使用光激射器的輸出而获得大磁場的方案[15]，这可能使上述調制方法用于实际中。

半导体調制方法及超声波調制方法均是新的調制技术，目前在技术上虽还没有达到完善的地步，但它們有可能作为多路通訊中的調制方法。



图4 1942年德国出产的电—机械調制方式的紅外通訊設備

半导体調制方法首先在美国的米内亚拍利斯公司获得成功，它制成了单通道用的調制器，但多路通信的調制器尙未研究。半导体調制器利用了半导体的紅外吸收率是依其內自由电子的密度而改变这一事实，若外部控制它的自由电子密度，則就可以調制透过半导体的紅外光通量。这种調制沒有机械可动部份，故調制頻率不受慣性的限制，且可經受震动。随着今后研究工作的进行，多路通訊中的調制器也可制成。

超声波調制是在第二世界大战末提出的[17,18]，依靠透明媒质中产生的超声波的行波或駐波，使介质的光学参数发生周期性的变化，而使紅外綫发生繞射或偏振面的旋轉，利用这种調制方法的单路通訊設備在第二次世界大战末由美国陆軍制成，在白天相距为2.7公里的两点間建立了通訊联系[19]。利用这种調制方法的多路通信尙未成功。由于它有着較大的多重調制的可能性，故在不久就有可能出現相应的多路調制器。

傳送能譜的調制方法是調制相干的紅外光的方法。自 60 年出現了光激射器之后便成了研究的對象。目前所提出並在研究中的調制方法有：

(1) 塞曼效應調制方法；(2) 斯塔克效應調制方法；如上所述這些方法，利用在強磁場或強電場中光通過時譜綫的分裂，而使通過光發生頻率調制。

目前，還沒有關於這些調制方式實驗成功的報告。

(3) 結語：以上就紅外通訊用調制器的現狀作了介紹，從全局來看，目前研究的主要目標在於尋找紅外上的微波調制方法。當然與此相應的對光激射器的研究和使其應用，以及獲得頻率響應達微波波段的解調器也就成了研究的目標。

但在宇宙通訊中並不要求很多的通道數，故我們不能忘記研究用於遠距離通訊中的，調制效率高的調制器。

在目前所試驗的調制方法中，除了個別兩三種以外，大都是利用了一些早就知道的現象，這就意味着：調制方法雖然沒有太大的進步，但可以利用的原理和現象，在技術方面和材料方面已有了很大的進展。

d) 解調方法的現狀：如前所述，目前技術上已經成熟且歷來習用的解調方法是直接解調法。

光激射器出現以後，提出和討論了諸如光學超外差解調方法和檢波頻率到達微波段的種種解調方法，在光學超外差解調的實驗以及檢測微波調制光(或紅外光)的解調器的實驗方面已有了幾個成功的報告。下面就目前研究的解調方法中的三種即：

(1) DCFEM 光增倍器；(2) p-n 結光二極管；(3) 微波光管就其研究現狀作一介紹。

(1) DCFEM 光增倍器<sup>[21]</sup>：DCFEM (系 Dynamic Crossed Field Electron Multiplication 之略)\*，其原理示於圖 5。將被測光射到光電陰極上，陰極上所放出的電子受着相互垂直的微波電場和恆定磁場的作用，聚焦而射向二次電子發射陰極，由此獲得光電子的倍增。適當地選擇控制軌道的微波場的頻率，可將調制在光上的微波頻率以拍的形式分離出來。這種解調器中，作為載波的光，不一定要相干的，這是其優點，故它適用於作為非相干能源的多路紅外通訊中的解調器。

該解調器是由美國衣利曼大學研究的，對於 3000 兆周微波調制的光，當控制軌道的微波頻率適當時得到了 0—5 兆周的拍頻。

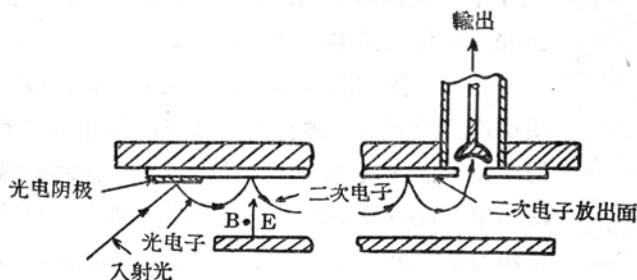


圖 5 DCFEM 光電倍增管



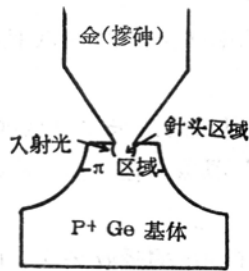


图 6 p-n 结

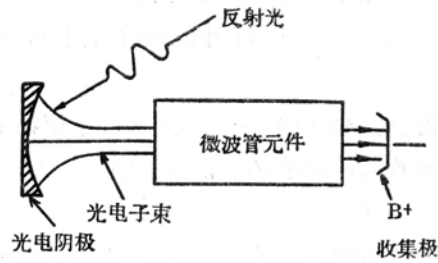


图 7 微波光管

(2) p-n 结光二极管：这一解调方式在贝尔电话公司和斯坦福大学中<sup>[23][24]</sup>分别进行了研究，从本质上讲它们均是在晶体混频器上做成了如图 6 所示的 p-n 结。欲混频的二束光射到  $\pi$  区域上，依靠结合部的非线性作用而使其混频。这种解调器的实验工作进行相当具体；在贝尔电话研究所中，用 He-Ne 光激励器的输出，获得了高达 900 兆周的拍频，而斯坦福大学采用红宝石光激励器，获得了 691—11050 兆周的差拍。

这种解调器适用于相干能源的多路红外通讯设备。

(3) 微波光管<sup>[25]</sup>：(这一解调器首创于斯坦福大学)，它可以用来检测微波调制光以及用来获得两个相干光差拍的混频器。

解调器的构造如图 7 所示。它由光电阴极、接收微波能量用的微波元管以及收集极组成。欲检测的光射向光电阴极，所放出的电子束经加速而射向收集极，在穿过微波元管时，光电子束内的微波能量被它所接收，放大后作为信号输出。在用作光混频器时，欲混频的两束相干光束同时射向光电阴极，而吸收其光电子束中的拍频成份。

美国西尔伐尼亚公司从 5 吋长红宝石棒的光激励器的输出中获得了 1.8, 2.4, 3.0 及 4.2 千兆周的拍，而在 2 吋的红宝石棒中获得了 1.5, 3.0 及 4.5 千兆周的拍。该公司 Sy-4302 型解调器即属此类型。

由这种调置器可望获得高灵敏度，低噪声的结果，故可能用于多路通讯的解调装置中。

上面就正在研究中的新型解调方式作了简要介绍，但必需指出，目前也在对光激励器用作红外放大的问题进行着研究。光激励器在用作光放大时，由于自发辐射，有着较大的噪声。62 年贝尔电话实验室用行波式脉冲红宝石光激励器得到了 13 分贝的增益。将来并能解决内部噪声问题，且获得连续工作的红外放大器，这将使红外通讯用的接收机的性能得到进一步的改善。

此外，由于近来材料技术的发展，不仅改善了历来已有的解调器的性能、并获得了许多优良的解调设备。例如 InSb 红外检波器，它由热电冷却元件组成，在美国已经获得了高灵敏度、波长响应为 7 微米、频率响应为 1 兆周的检波器，它适用于通道较少的通讯设备。

c) 关于传播通路的研究情况：在红外通讯中，两通讯点之间的传播通路的状态对通讯有着很大的影响，故很早就开始了对它的研究，特别在二次大战中由于欧美各国在红外技术上的进展，使这一工作进入了定量研究的阶段，大大推进了对于传播通路的研究，但尚未能解决所有的问题，有待今后的研究。

\* 动态正交场电子倍增器——译者注

以往的研究工作集中于下列三个方面:

a) 紅外綫的傳播損失; b) 紅外綫的散射損失; c) 紅外的本底噪声。以下对其研究状况分別作一介紹。

a) 紅外綫的傳播損失: [26,27,28] 在大气中傳播时紅外綫的損失主要是水蒸气的共振吸收所引起的, 其吸收与波长有关, 即发现有着“吸收窗”現象, 在“窗”內, 紅外綫的損失很少。

对于水蒸气的共振吸收理論已經相当完善, 並推得了相应的吸收公式。图 8 表明了“吸收窗”的情况。

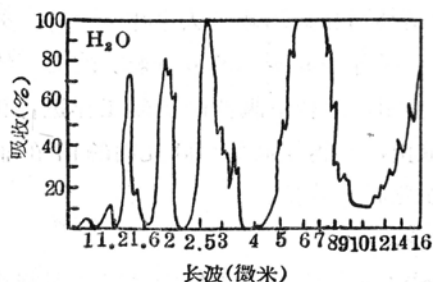


图 8 吸收窗

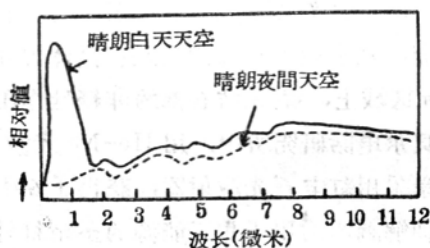


图 9 紅外綫的本底噪声

这样若用具有吸收窗內的波长的光激光器作为通訊能源, 傳播損失便很小。62年貝尔电话研究所首創的  $\text{GaF}_2:\text{Dy}^{2+}$  光激光器, 其波长为 2.36 微米, 正好落在吸收窗範圍內, 同时它能連續工作, 如能解决調制的問題, 是很适用作为紅外通訊能源的。

虽然已經搞清了有关傳播状态中吸收窗的現象, 获得了損失的理論公式, 但如何将这些公式和实际条件相結合以及如何区分吸收損失和散射損失等尚有一定困难, 故对傳播損失問題还没有搞透彻。

b) 紅外綫的散射損失[29]: 很早就发现在大气中漂浮的一些微粒(如チリ, ヲヤ等)使紅外綫散射而造成損失, 並由米艾和雷累格等作了理論研究。但他們的分析中沒有計及粒子自身的吸收作用, 而事实上散乱粒子本身是要吸收紅外綫的。有必要将这一損失分离出来, 但至今这两者的关系还没有搞清楚。

上述的散射、吸收和損失直接和視域中的可見距离有关, 有人企图用实验来求証要和人眼可見度的关系。但在气象条件中参量极多, 要由实验結果引出一一般性的結論是困难的。

c) 紅外的本底噪声[30]: 为了满足二次大战后軍事上的要求, 对本底噪声进行了研究。其来源在于太阳光的散射成份以及地面和組成大气的微粒的热輻射能。从目前的紅外接收设备的灵敏度来看, 后二者的影响可以忽略, 而主要是由太阳的散射所造成的。故这种本底噪声仅在白天存在夜间就沒有了, 其波长的分佈如图 9 所示, 从可見光至 2 微米附近均有噪声分佈。若采用滤除 2 微米以下短波长的滤波器, 而通訊波长选择得大于 2 微米, 这样即使在白天也可以消除紅外的本底噪声而得到和夜间相同的訊噪比。

由上所述, 在除去了本底噪声之后, 作为傳播介质的大气中无法消除的傳播損失和散射損失就成为在地面上两点之間建立起紅外通訊的最大障碍。为了消除这一点, 最近开始研究



纖維光学。60年获得相干紅外光后用光学纖維做成光导管(介质波导)的可能性更为具体了,目前正在进行着有关的种种基础实验。掌握了光激励器的调制技术,并使光导管能付诸实用之后,就可得到与传播通路中的气象条件无关的紅外通讯设备。

### 紅外通讯中的問題

以上讲述了紅外通讯设备的情况,下面就目前尚未解决的残留問題作一归纳。

大致上可分为(a)机器設計上的問題与(b)有待完善的技术問題两大类,以下分别加以叙述。

a) 机器設計上的問題: 作为机器設計上的問題可举出:

(甲)能源的变换效率;(乙)送信系統方向性的計算;(丙)由于气象条件所造成的損失等三点,这些是在設計一个一定信噪比的通信系統时,为了求得所需能源的能量值所必不可少的数据。

(甲)所提及的能源的变换效率是指有多少的輸入能量轉成为所需的波长范围内的辐射能。到目前为止,还没有有关的可以在設計时使用的数据。

(乙)关于送信系統方向性的計算: 当光源有一定大小时的計算公尺尚未发表;各厂家在設計时,按照已有的經驗数据采用逐次逼近的方法。

(丙)关于設計气象条件所造成的損失,目前尚没有这种可用于实际設計时的数据。

没有搞清这三点而用目前的設計技术来設計紅外通讯系統时,所得的结果必然含有相当的誤差,不可能給予太多的信任。

这些是今后的技术設計者所必需介决的問題。

b) 待完善的技术問題: 有(甲)光激励器的发展与技术上的完善;(乙)光激励器的直接调制技术;(丙)光学超外差接收技术;(丁)傳送效率高、调制頻率可达微波段的紅外调制器的研究等五个方面。主要的是关于光激励器的技术問題。

但在解决这些問題的时候,需要較大的經費,设备和人員,不可能由某一单位进行简单的研究,这可能是一个相当大的問題。

### 紅外綫通讯的将来方向

由上所述,在紅外通讯中有着許多必需介决的問題,下面就未来的动向作一论述。

紅外綫通信有着下述特点:

(1) 用口径很小的辐射系統,可以得到比微波高得多的方向性;

(2) 因此适宜于傳送远距离的訊号;

(3) 紅外綫通信中本底噪声,具有着与一般无綫电通信截然不同的性质,即使在宇宙空间中傳送远距离的訊号时,由于空间噪声所造成的影响很少。

(4) 在开发和建立了调制和解调技术之后,在一个載波上可以进行多路通讯,其通道数目是目前的无綫电通讯所不能比拟的。

由于这些原因,它适用于地球和其它星球间的远距离通讯,这将是人类在到达其它星球

时必然采用的通訊方式。

今以数字例子来証明紅外通訊适用于宇宙通訊<sup>[31]</sup>。假定工作波长为1微米，輻射和聚焦光学系統的口徑为10厘米，訊噪比为1，通帶为35千周，則要建立地球与水星或金星間的通訊系統所需的发射功率分别为12兆周和19兆周左右。实际上，在这样数值下，由于地面大气的吸收，散射以及太阳光的散射，訊噪比将低于1。为使訊噪比保持为1，必需提高发射功率。但无论怎样，有毫瓦数量級的功率，用直徑为十厘米的輻射器和集束器，可在 $2 \times 10^8$ 公里的距离上建立訊噪比为1的通訊联系，这足以表明紅外通訊适于宇宙通訊。

由上列数据可見，紅外通訊有着目前无綫电通訊所无可比拟的优点，今后，紅外綫通訊将在宇宙通信領域中获得极大的发展。

## 結 束 語

从上述的关于紅外通訊的現狀，尙存問題及今后的动向来看，紅外通訊有着許多无綫电通訊所无法比拟的优点，它特别适用于宇宙通訊，在使这一方法得以完善以前，还需研究和与此相关連的多方面的技术問題。

光激光器是作为紅外通訊用的能源的不可缺少的部件，对它进行着大量的研究，其发展真可謂一日千里，无法預測在最近的将来会出现什么样的光激光器。

另外，从半导体技术和物质結構方面制成了許多新型材料，它們可以作成調制和解調設備，这些設備性能的改善亦是相当惊人的。它們与飞速发展中的光激光器相結合，在不久的将来即可制成完善的紅外通信系統。

## 参 考 文 献

1. W. S. Huxford: Survey of Near Infrared Communication Systems, JOSA, Vol. 38, (1948) № 3 p. 253—268
2. C. M. Cade: Eighty Years of Photophones, British Comm. and Elect. Feb. (1962) p. 112—115.
3. A. L. Schawlow & C. H. Townes: Infrared and Optical Maser, Phys. Rev. Vol. 112, № 6, p. 1940—1949.
4. Laser: Devices and Systems Part-1, Electronics, Oct. 27(1961) p. 40—47.
5. Laser: Deviceo and Systems Part-2, Electronics, Nov. 3 (1961)
6. Amnon Yariu: Continuous Operation of a  $\text{CaF}_2:\text{Dy}^{+2}$  Optical Maser, Proc. IRE, July (1962), p. 1699—1700.
7. R. H. Rediker et al: Gallium-Arsenide Diode Sends Television by Infrared Beam, Electronics, Oct. 5 (1962) p. 44—45
8. R. J. Keyes: Recombination Radiation Emitted by Gallium Arsenide, Proc. IRE. Aug. (1962) p.1822—1823
9. J. I. Pankove: A Light Source Modulated at Microwave Frequencies, Proc. IRE. Sept. (1962) 1976—1977
10. A. K. Kamal: Proposed Technique for Modulation of Coherent Light, Proc. IRE. (1961) 1331
11. F. S. Barnes: On the Modulation of Optical Maser, Proc. IRE. July (1962) 1686—1687
12. D. F. Holshouser: Microwave Modulation of Light Using the Kerr Effect, JOSA Vol. 51, № 12. p. 1360—1365

13. N. Bloembergen: Microwave Modulation of Light in Paramagnetic Crystals, *Physical Review* Vol. 120, № 6, p. 2014—2023
14. R. H. Blumenthal: Design of a Microwave Frequency Light Modulator, *Proc. IRE*. April (1962) 452—456
15. P. Kaya: Proposal for Modulating the Output of an Optical Maser, *Proc. IRE*(1962)323
16. P. W. Kruse: Solid State Modulator for Infrared Communications, *Electronics*, March 10 (1961) p. 177—181.
17. ハンス・ミュラー: 日本国特許出願公告, 昭 36—9313
18. A. H. Rosenthal: Application of Ultrasonic Light Modulation to Signal Recording, Display, Analysis & Communications, *IRE Transaction on U. E.*
19. R. F. Humphreys: Ultrasonic Modulation of a Light Beam, *JAP* Vol. 18, Sep. (1947) p. 845—846.
20. A. L. Schawlow & C. H. Townes: Maser and Maser Communication System, U. S. Patent 2929922
21. O. L. Gaddy: High Gain Dynamic Microwave Photomultiplier, *Proc. IRE* Feb. (1962) p. 207—208.
22. L. U. Kibler: A High Speed Point Contact Photodiode, *Proc. IRE*. Aug. (1962) p. 1834—1835
23. H. Inaba: Microwave Photomixing of Optical Maser Output with a PIN Junction Photodiode, *Proc. IRE* Aug. (1962) p. 1823—1824.
24. 稻葉文男: Optical Superheterodyne Detection by Photoconductive Mixing Using Optical Maser and Semiconductor Photodiode, 昭和37年10月17日电气通信学会マイクロ波真空管研究会資料.
25. R. G. E. Hutter: The Microwave Phototube New Detector for Optical Receiver, *Electronics*, July 20 (1962)
26. J. A. Curcio: An Experimental Study of Atmospheric Transmission, *JOSA*, Vol. 42, № 2, p. 97—102
27. J. H. Taylor: Atmospheric Transmission in the Infrared, *JOSA*. Vol. 47, № 3 p. 223—226.
28. H. A. Gebbie: Atmospheric Transmission in the 1 to 14  $\mu$  Region, *Proc. Roy. Soc. Ser-A*, Vol. 206 (1951) p. 87—107.
29. A. Arnuef: Transmission by Haze and Fog in the Spectral Region 0.35—10  $\mu$  *JOSA*. Vol. 47, № 6 p. 491—498
30. H. E. Bennett: Distribution of Infrared Radiance Over a Clear Sky, *JOSA*. Vol. 50, № 2, p. 100—106
31. Laser Application in Space Communications, *Semiconductor Products*, June (1962) p. 17.

譯自《エレクトロクス》Vol. 8, № 2 (1963) 152.

(屠世谷譯, 林青柏校)

補遺: 接上一期第九頁第三行

- [37] *Радиотехника* Т. 19, № 10 (1964) стр. 3—8.
- [38] *Sci. News Letters*, Vol. 85, № 23, (1964).
- [39] *New Scientists* Vol. 21, № 377.
- [40] 日本“科学新聞”1963年11月15日
- [41] “科学新聞” Vol. 85, № 51 p. 72.
- [42] C. R. Ellis, Kouffel & Esser, Hoboken, Private Comm.
- [43] *Electronics* Vol. 36, № 33.
- [44] J. Atwood, Perkim-Elmer, Norwalk, Conn, Private Comm.  
长度测量方面的作用
- [45] *Science*, Vol. 146, № 3641, (Oct. 1964) pp. 177—182.
- [46] *Metalworking Prod.*, Vol. 108, № 18 (April, 1964), p. 48.