

粉末电致发光的新应用 ——一种光神经器件

陈振湘 帅建伟 纪安妮
林秀森 胡启富 孙书农

(厦门大学物理系, 361005)

1994年12月29日收到

摘 要 近年来,人工神经网络与神经网络计算机的研究在世界范围内已形成
一个热点,本文通过对电致发光材料的各种特性的讨论,分析了固体化平板电致
发光作为一种光神经器件的一些特点,指出了它在神经网络实现中有很好的应用
前景。

关键词 电致发光 神经网络 固体化

1 引 言

自1954年Zalm首次发现直流电致发光现象^[1]到现在,对电致发光(EL)的研究已有40
年的历史,粉末薄膜交直流EL材料已大量地用于军事民用显示等方面,并已有专门的工厂
生产,电致发光目前一个引人注目的应用是大屏幕彩色显示,而我们则探讨了把电致发光器
件应用于神经网络的实现中的可能性^[2~4]。人工神经网络与神经网络计算机的研究在世界
范围内已形成一个热点^[5],美国、日本和欧洲各国等先进国家相继投入巨额资金,制定出强
化研究计划,展开了一场国际范围内的新型智能计算机的研究竞争。

神经网络的器件实现是一个很具有实用意义的课题,我们在1990年第五届国际电致发
光会议上,首次提出了采用电致发光器件构成光电混合型神经网络系统的设想^[2],在文献[3
~4]中详细地讨论了一种利用电致发光器件的独特优点实现神经网络中的矢量-矩阵运算
功能和神经网络系统的设计方案。由于电致发光器件的亮、暗二值特性可以表现神经元的兴
奋与抑制状态,用EL器件和光探测器构成的神经元突触矩阵,可以实现Hopfield模型^[6]
的关联存储功能,从而可利用EL作为光神经器件,构成光电混合型神经网络系统。本文通过
对电致发光材料的各种特性的讨论,分析了固体化平板电致发光作为一种光神经器件的一
些特点,指出了它在神经网络实现中有很好的应用前景。

• 国家自然科学基金重点项目资助课题(19334032)

2 截值 Hopfield 模型和 EL 神经网络器件

Hopfield 神经网络从数学物理角度看,实质上是一个矢量-矩阵并行相乘后再进行非线性取阈变换的动力学迭代过程,设网络中存贮有 M 条 N 位的 0,1 编码的信息 S^m ,为利于光学兑现,我们采取截值^[7]的方法把连接矩阵变为三态 $\{+1, 0, -1\}$:

$$J_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \\ -1 \end{cases} \quad \text{当 } \sum_{m=1}^N (2S_i^m - 1)(2S_j^m - 1) \begin{cases} > 0 \\ = 0 \\ < 0 \end{cases} \quad i, j = 1, \dots, N$$

$$J_{ii} = 0$$

再把它变为两个二态 $\{0, 1\}$ 正负矩阵 J^+, J^- 的组合^[3-4],这样网络的动力学方程可写为:

$$S_i^m(t+1) = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad \text{当 } \sum_{j=1}^N J_{ij}^+ S_j^m - \sum_{j=1}^N J_{ij}^- S_j^m \begin{cases} \geq 0 \\ < 0 \end{cases}$$

对于一组固定的存贮态,其连接矩阵是固定的,两个二态正负矩阵 J^+, J^- 可以用两块由发光点阵组成的电致发光屏加以模拟:在一块平板衬底上制备 N 行 N 列正方排列的电致发光单元,各发光单元分别代表 J_{ij}^+ 或 J_{ij}^- 元素,发光单元在运行过程中的亮,暗分别表示矩阵元素的 1,0 状态。

神经网络最基本的一种运算是矢量-矩阵并行相乘运算,在器件实现中通常都是先把行矢量变成矩阵,其中每列具有相同的值,然后再进行矩阵间的对应单元相乘,最后对乘积矩阵的每行进行累加,从而得到所求的新矢量。

在文献[3~4]中我们用电致发光条状输入器表示输入的矢量,并穿插制作在对应的连接矩阵单元的旁边,从而实现了矢量-矩阵变为矩阵-矩阵结构的过程,在上述结构的透光一侧,对每一个相乘的矩阵单元进行光隔离,并安装一个光探测器,实现了光电转换,两矩阵间的对应单元相乘运算则由对应的两电信号经一与门来实现,将各行的与门输出累加,就得到所求的新矢量,若我们把正负极的矢量信号相减,则完成了三态矢量-矩阵并行相乘运算。

图 1 是以 4×4 矩阵元为例的 EL 光神经器件,在同一块屏上,点状矩阵元 J 的列与列之间穿插制作 EL 条状输入器,四条输入器对应于输入矢量的四位码元,虚线表示光隔离介质结构。

实际上 Hopfield 神经网络的实现,在矢量-矩阵并行相乘后还得再进行非线性取阈变换和迭代运算,其框图如图 2 所示。

3 EL 神经器件的特性分析

EL 光神经器件是一种特殊设计的 EL 屏,图 3 为单元剖面图,它像一个能发光的平板电容器,发光单元两电极之间的发光层是 $ZnS:Cu$ 粉末与介质的混合物,实验表明,对电致发光器件,外加电压的频率和振幅,以及介质的温度和湿度的增加都会加速老化过程,其中湿度对老化的影响很大。因此 EL 器件的良好防潮密封是非常重要的。因此对 EL 神经器件,我们研制了具有高介电常数、无色透明、热稳定性、防潮性能好的 $P_{190-535} + P_{210-770}$ 新型材料作

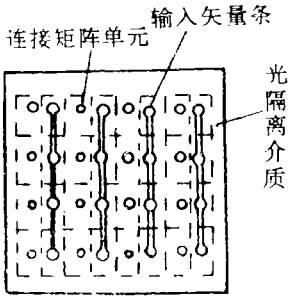


图 1 EL 光神经器件结构示意图

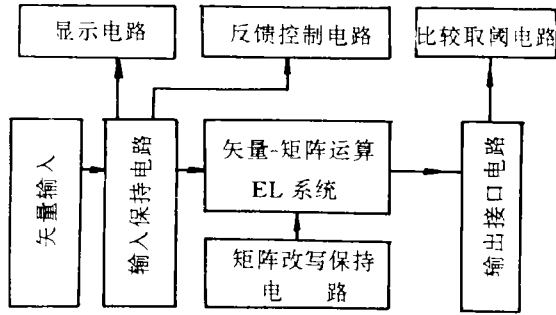


图 2 神经网络结构框图

为介质,提出了 EL 发光器件的亮度和寿命,它特别有利于 EL 屏在非工作状态下的长期存放。

EL 光神经器件的关键部分是 EL 器件与光探测器耦合部分,其工作波段应较好地匹配。EL 器件的发射光谱主要取决于发光层基质材料中所掺的杂质,不同谱带来自不同的发光中心,图 4 中实线表示粉末 ZnS : Cu EL 器件的光谱特性。光电探测器阵列由 XF 型光敏电阻组成,其光谱灵敏曲线如图中的虚线。由图可见,EL 器件的发射光谱与光敏电阻受光灵敏曲线是相匹配的。从网络线路实测,当 EL 屏亮度由 16 cd/m² 到 40 cd/m² 变化时,神经网络中的光电通道能可靠地工作,这对 EL 屏的要求是较低的,且由于发光亮度允许有 16 cd/m² 到 40 cd/m² 变化范围,这有利于延长 EL 屏的寿命,从而很好地避开了 EL 器件应用中的弱点,这对电致发光材料在光神经器件中的应用是非常有利的。

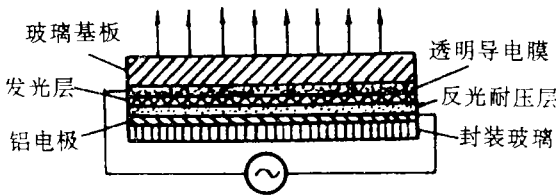


图 3 用于光神经器件的 EL 屏单元剖面图

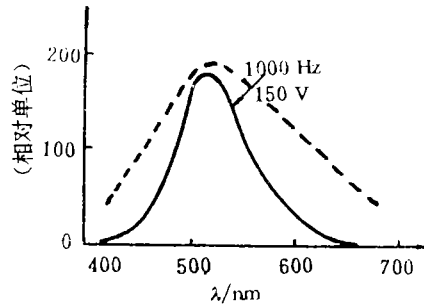


图 4 EL 屏的光谱特性(实线)和光敏电阻的光敏谱线(虚线)

由于该电致发光神经器件在同一平面上制作条状输入矢量和点状矩阵元,形成紧凑式结构,使得矢量-矩阵运算能在同一平面上进行,从而避免了全光学方案中采用光学器件而出现的复杂光路系统,占用空间小,这种简单的系统结构方式,有利于今后的集成化。由于矩阵由点状发光单元组成,容易根据需要存贮的信息而随时实现矩阵的改写,增加了使用的灵活性,使有限量的神经网络增加了处理信息的容量。对于大容量的神经网络情况,采用交流

薄膜电致发光(TFEL)交叉矩阵结构,把光探测器同时做在一块屏上,这样可大大节省空间,其结构比采用光学掩膜矩阵要简单得多。与LED矩阵相比,TFEL矩阵工作电流小,功耗低,这在大容量矩阵中更显得重要。采用电致发光器件构造神经网络中的矢量-矩阵运算功能板,其制备工艺简单,成本低。

4 结论

固体化平板电致发光神经网络是一种新型的人工神经网络,它是一种光电混合型神经网络,作为一种光神经器件,具有占用空间小的紧凑式结构特点,其矩阵可改写,使用灵活,工作电流小,功耗低,制备工艺简单,成本低,在神经网络实现中有很好的应用前景。

参 考 文 献

- 1 Zalm P. Philips Res. Rept. 1954,9:81~108
- 2 Shenchu Xu et al. ActaPolytechnica Scandinavica Applied Physics Serles. 1990,170:277~279
- 3 刘瑞堂等.厦门大学学报. 1993,32(5):568~573
- 4 林秀森等.厦门大学学报. 1993,32(5):574~578
- 5 张承福.力学进展. 1988,18(2):145~160
- 6 Hopfield J J. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 1982,79:2554~2558
- 7 Nabil H F. et al. Appl. Opt. 1985,10:1469~1475

New Application of Powder EL Devices ——the Optoelectronic Neural Devices

Chen Zhenxiang Shuai Jianwei Ji Anni
Lin Xiusen Hu Qifu Sun Shunong

(Physical Department, Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract During the last few years, a lot of attention all over the world has been focussed on the artificial neural networks and neural networks computer. In this paper, We discussed some properties of the EL devices and analysed some characteristics of the optoelectronic neural networks device composed by the powder EL devices. We think that the EL devices will have a good application in the neural networks.

Key words EL, neural networks, powder