

# 光电混合自动目标识别技术研究

王国田\*

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

现代图像处理技术已发展成为包含计算机图像处理、光学图像处理及光电混合处理的综合性技术。光电混合自动目标识别技术是把光学处理和数字处理有机地结合起来, 用光学处理高速完成成像变换和相关等运算量极大的任务, 计算机灵活精确地完成控制分析和判断任务。光电混合自动目标系统一般由图像处理器、光学相关器和计算机数字图像处理等三部分组成。这种识别系统具有极强的抗干扰能力和多目标识别能力, 因而倍受各国军方的重视, 在军事上是很有潜力的。如从侦察卫星和侦察机获得的杂乱影像中发现可能的目标, 传送给导弹寻的器和火控系统。还可用于纵深攻击的导弹精密末制导系统、第三代反坦克导弹制导系统和光电火控系统等。

光电混合自动目标识别技术近些年来在国内外都受到重视, 并围绕着以下几个主要方向不断发展更新。

## 1 多重传感器的复合探测

独立单波段跟踪系统确实已取得了很大的成就, 但众所周知, 在当代高科技战争中, 各种隐身、干扰和欺骗等对抗技术已被广泛应用, 人为干扰的加重, 加上战场环境的恶劣, 对独立单波段跟踪系统已提出了严峻的挑战。在现代和将来的战争中, 仅靠单一传感器难以保证系统高性能的工作, 高性能的系统将日益依赖于各种传感器设备的配合, 因而多传感器数据的综合处理技术也就自然地成为当今研究

的一个重点和热点。

如利用可见光 / 毫米波两组图象分别进行融合实验, 可用于隐匿武器检查, 而单用可见光根本不能发现隐匿武器<sup>[1]</sup>; 再如用可见光 / 红外复合传感器来进行目标探测, 比单用任何一个传感器获取的信息丰富得多, 而且可见光只能白天工作, 红外传感器晚上也能工作, 这样的复合探测系统昼夜都能工作。摄取的信息量也足够对目标进行识别<sup>[2]</sup>。又如利用 E-O/IFSAR 复合传感器, 十分有利于立体目标的探测, 单一用 E-O 传感器获取的信息一般为目标的线条、拐角及外形, 对于目标的立体高度很难估计, 而且该传感器还取决于图像的光强度。当前 IFSAR 传感器技术能提供足够的高度分辨率来区分目标与周围环境, 这样两者复合探测对于识别立体目标很有效果<sup>[3,4,5]</sup>。

随着多重传感器的出现, 数据融合技术也开始兴起。70 年代初, 最典型的融合系统是美国战场管理目标检测系统 (BETA), 它的开发进一步证实了数据融合的可行性和有效性<sup>[6]</sup>。进入 80 年代以后, 小型的融合系统开始出现, 典型的有美国 INCA (多平台多传感器跟踪信息相关处理系统)、TRAR (空中目标确定和截击武器选择专家系统)、AMSUI (自动多传感器部队识别系统) 等<sup>[6]</sup>。最近由 Raytheon Amber 公司研制的 ARUS FALCON 是一种高性能的远距离监视系统, 其传感器包括高分辨率的红外成像系统和一个高对比度的可见光摄像机, 是为国防、保安和执法在内的多种应用而设计的, 它使得用户能在以前不可能的距离上探测车辆、

\* 2000 级博士研究生

船只和人员<sup>[7]</sup>。

数据融合技术在我国引起了有关专业组织（C<sup>2</sup>I、反隐身、雷达、电子战等）和众多研究

者的极大兴趣<sup>[6]</sup>。由国防科工委组织，有 20 多个代表参加的我国关于数据融合的第一次专门研讨会于 1995 年在长沙召开。目前，我国已把

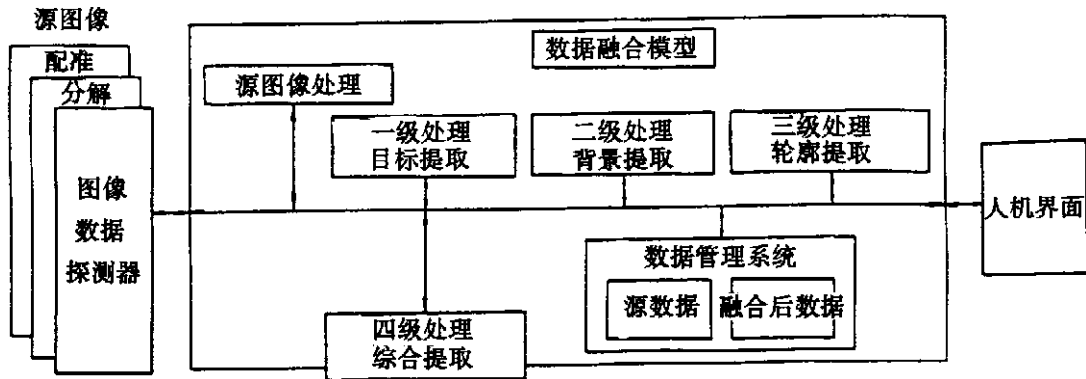


图 1 多传感器数据融合的通用模型

数据融合系统装入一批指挥自动系统。图 1 是多传感器数据融合的一种通用模型，它由 4 级融合过程组成<sup>[8]</sup>。

## 2 畸变不变算法研究

畸变不变算法研究是自动目标识别的核心课题。已有空间极 - 对数变换、圆谐函数及其改进综合识别函数和空时相关等方法。但每种方法都不能实现对所有的畸变不变识别，各有其实用范围，有关相关器中的软件算法在不断发展更新。

1975 年美国 D. Casasent 教授提出用梅林<sup>[9]</sup>变换解决尺度变换问题，并在实际工作中取得了满意结果。为了克服图像旋转问题，Yang 提出了最佳圆对称滤波器 (OCF)，Hsu 也提出了圆谐滤波器 (Circular Harmonic Expansion Filter, 简称 CHF)<sup>[10]</sup>。用傅立叶变换解决平移不变、用梅林变换解决尺度不变、用极坐标变换解决旋转不变，这样将图像由极坐标表示输入，经 Mellin 变换后就同时获得这三种不变性<sup>[11,12]</sup>。

1984 年 D. Casasent 提出用综合判别函数<sup>[13]</sup>制作匹配空间滤波器 (MSF)，进行畸变不变相关识别，为畸变不变的研究提供了一种新的手段。

综合判别函数的基本思想是将某类目标图像及

其畸变图像以及有关图像组成一个训练集，由训练集的这些图像进行组合，找出综合判别函数，据此做出综合判别函数匹配空间滤波器。当正确目标输入时，相关面内有一相关峰，且峰值不随目标畸变而改变。

傅立叶频谱的位相信息可以表示物体的轮廓信息，并且由位相函数作为滤波器时，无能量损失。因此，在 80 年代，Homer 和 Gianino 提出了用仅位相滤波器 (Phase-Only Filter) 进行模式识别<sup>[14,15]</sup>，后来提出了二值仅位相滤波器<sup>[16]</sup>。国内有关研究人员自行设计研制成功复合纯位相匹配滤波器和 3-D 几何模型 (GTDM) 纯位相滤波器，GTDM 滤波器能识别出三维失真不变的特征信息<sup>[17]</sup>。到九十年代，光学子波的研究进入了高潮，出现了子波匹配滤波器<sup>[18,19,20]</sup>和子波复合匹配滤波器等<sup>[21]</sup>，来解释模式识别的不变性。另外，人们还利用分数傅立叶变换，对分数傅立叶变换相关器<sup>[22,23,24,25]</sup>进行了大量研究，以解决空间不变性。

总之，人们在相关器的算法上开展了大量的研究工作，并取得了可喜的进展。

### 3 空间光调制器 (SLM)

光学相关器要实用化,它必须要达到实时识别和智能识别的功能。这一研究近几年得到了快速的发展,一方面得益于相关器算法上的提高,改进了该技术的性能,拓宽了该技术的应用范围;另一方面得益于空间光调制器的发展,它改进了光学和电子的连接,提高了相关识别的速度。空间光调制器是实时相关器的关键器件,在输入面起着非相干-相干图像转换器的作用,在滤波面起着存储器和输入传输器的作用。

由于空间光调制器是光学信息处理技术实际应用的一个重要环节,因此,国内外有许多人长期致力于这方面的探讨研究。目前已经做出了很多器件,例如 DKDP 器件,液晶器件, PROM, 微通道极空间光调制器,热塑料器件,油膜光阀等等。

按寻址方法,可分为电寻址 SLM(简称 EA-SLM)和光寻址 SLM(简称 OA-SLM)两大类。

电寻址 SLM 可从电子系统中获得二维信息,许多光学信息处理通过电寻址 SLM 从 CCD 摄象机或计算机上得到图像信号<sup>[26,27,28,29]</sup>。与光寻址方式相比,它的最大优点是可以直接与 CCD 或计算机连接,便于实现光、电、计算机混合处理,但其分辨率受到集成电路技术的限制。近几年来电寻址 SLM 发展较快, Jared 等

研制成功了制作在大规模集成电路芯片上的铁电体液晶空间光调制器<sup>[30]</sup>。它的对比度高,响应速度快,它在光信息处理领域中显示出了优势,其制作关键是 FLC 分子的稳定定向。由于 FLCSLM 的制作相对简单,成本较低,因而它的研究得到了很快的发展,现 256×256 像元的 FLCSLM 已商品化了。如制作在硅上的 PLZT 器件可达到 6 kHz 的帧速<sup>[31]</sup>, Litton 公司的磁光 SLM 早已有 128×128 像元,并可达 2 kHz 的帧速,现已有 256×256 像元的产品。

光寻址 SLM 可以从光学系统获取二维光学信息,或将该信息转换到别的光学系统中,或用光学的方法转换成别的光学信息。它的最大优点是高分辨率和并行性。光寻址 SLM 近些年也得到了飞速发展, FLCSLM 就是近年来在发展中研制出的最重要的光寻址 SLM<sup>[32]</sup>, 现已有 128×128 像元和 256×256 像元的 FLCSLM, 帧速可达 2 kHz, 对比度达 150:1。

综上所述, FLCSLM 制作工艺相对简单,使用起来性能稳定,且可以达到实时工作的要求。在进行光电混合自动目标识别系统的研制中,选用电寻址 FLCSLM 作为图像处理输入器件和匹配滤波器显示器件是比较理想的。

### 4 相关器结构

自动图像识别的基本结构是光学相关器,

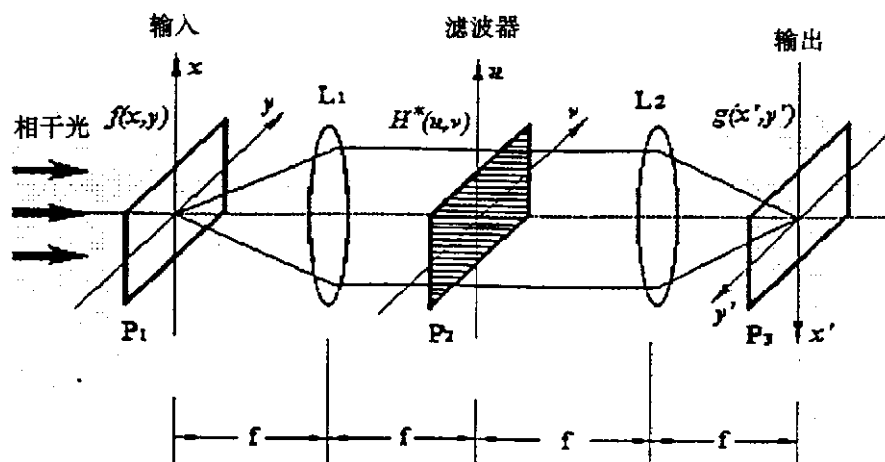


图 2 Vander Lugt 相关器原理图

近年来相关器结构的研究多集中于对 Vander Lugt 相关器和协变 (Joint Transform) 相关器的研究。前者信噪比高, 对复杂背景的抗回波干扰能力强, 但匹配滤波器要求高精度定位; 而

后者避免了匹配滤波器需离线制作和高精度复位的困难, 因而更加受到重视。从军事应用考虑, 今后研究相关器结构的方向是器件的集成化、系统的小型化和稳定可靠性。

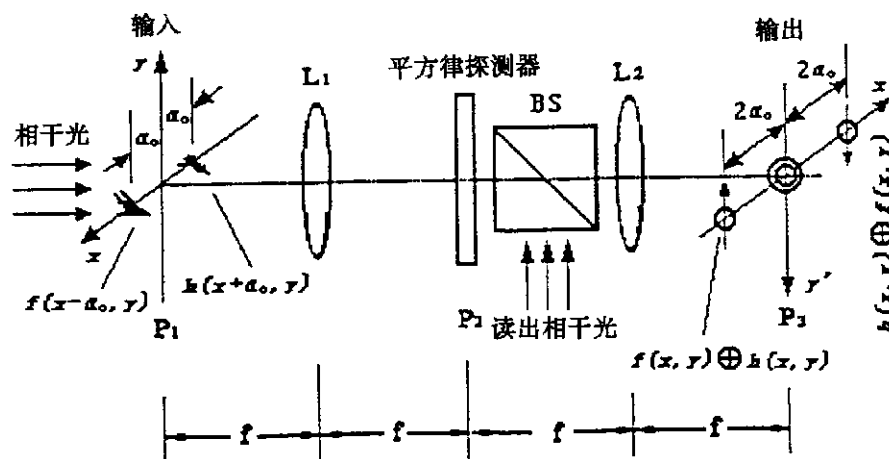


图 3 联合变换相关器原理图

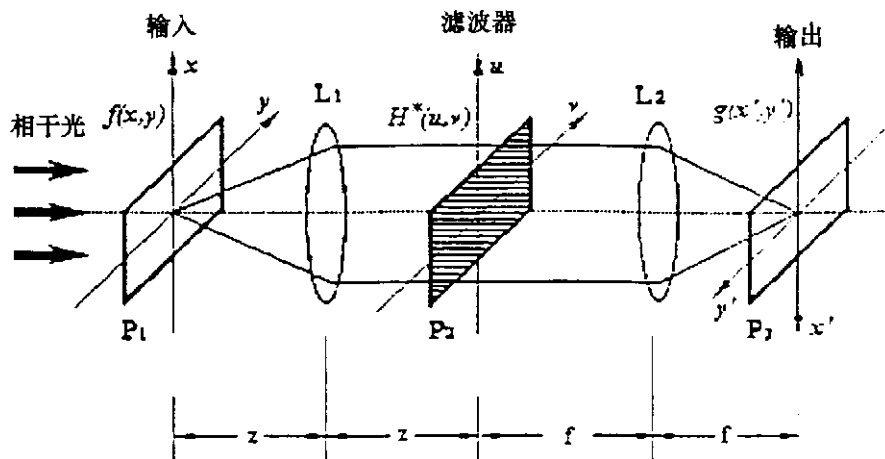


图 4 分数傅立叶变换相关器原理图

典型的三种相关器的原理图如图 2、3、4 所示, 图 2 为 Vander Lugt 相关器<sup>[33]</sup>, 图 3 为联合变换相关器<sup>[34]</sup>, 图 4 为分数傅立叶变换相关器<sup>[35]</sup>。

同时, 在制作相关器的工艺方面也取得了逐步的进展, Teledyne Brown 工程中心研制的全固态光学结构相关器工作频率为 30 帧/秒<sup>[36]</sup>, 该系统体积为 13 × 5.5 × 1 英寸, 重量为 9 磅。另外实用型的相关器也应运而生, Martin

Marietta-Denver 中心和 Boulder Nonlinear System 公司共同研制的二维相关器<sup>[37]</sup>, 系统体积小于 1 立方英尺, 重量小于 43 磅, 功耗小于 126 W, 该器件输入面、滤波面都采用了 128 × 128 像元的电寻址 FLCSLM, 还有 Litton Systems 公司和 Carnegie-Mellon 大学共同研制的相关器, 采用反射模式的磁光 SLM<sup>[38]</sup>, 系统的体积小于 25 立方英尺, 重量小于 40 磅, 功耗为 160 瓦, 这些产品的出现有力推进了光学模式识别的发展。目

前最有实用前景的光学相关器是 Litton 公司 97 年推出的小型化光学相关器 (MROC)<sup>[39]</sup>, 它的应用背景是军事目标的识别。它包括 20 毫瓦的氦氛激光器、256×256 FLC、128×128 反射式磁光空间光调制器器件和 64×64 探测器, 该铁电液晶器件每秒可完成 1920 次相关运算。该相关器体积为 20 立方英寸, 不足之处是 FLCSLM 是二值的。

国内在相关器的研制方面也进行了大量的工作, 先后完成了以 FLCSLM 铁电体液晶空间光调制器为可变匹配滤波器的单路光学相关识别实验, 并研制出了基于 FLCSLM 的多通道光学相关器等结构, 目前基于军事上需要, 用光学相关器进行目标识别是发展趋势, 我国正进行大量有关方面的研究工作, 并取得了一定成果。

## 5 小结

从海湾战争和科索沃战争中可以看出, 用精确制导技术装备的导弹在打击单个军事目标上能发挥作用。但是, 在对付多目标上, 其精确制导水平离实际要求相差甚远。关键问题是从三维图像数据中自动识别目标, 需计算量很大的互相关运算, 尽管计算机技术在高吞吐量、高灵活的体系结构方面有很大改进, 如研制出精简指令系统计算机 (RISC)。可是同光相关器相比, 后者在计算容量、速度和效费比方面都有明显的优势。若把计算机的灵活性同光相关结合起来, 形成光电混合实时图像处理技术则有希望被应用到能精确打击多目标的“灵巧”武器系统中去。

当然, 整个光电混合自动目标识别系统也存在不少问题。首先, 进行多传感器复合探测, 对原始图像进行数据融合需要时间, 这样会影响整个系统的跟踪、识别目标的速度。另外用任何一种算法来制作匹配滤波器也会对目标图像的识别效果带来影响, 因此选择最佳的畸变不变算法是一个关键环节, 我们可以考虑用优

化的二元纯位相匹配算法来制作滤波器, 具体用计算机全息图法制作, 并选取理想制作算法可以提高识别精度。还有, 尽管 SLM 可以提供高达 2500 帧 / 秒的滤波器动态切换频率, 但相关输出是经过普通的 CCD 摄像机成像的, 后者的帧频也只有 30 帧 / 秒, 严重束缚了高速器件的性能。将来我们应该采用高速成像阵列, 代替现有的通用 CCD 摄像机完成高速的相关输出; 采用数字信号处理器 (DSP), 实现输入图像实时预处理 (包括图像数据融合) 和相关峰实时检测。随着 SLM 技术的发展, 采用更高分辨率的 SLM, 将可以构建多通道相关器, 进一步提高系统的并行处理能力。最后值得说明的是, 对于高速图像处理系统, 尤其是空中实验, 对于各部件的稳固性要求是很严格的, 可以考虑将 SLM 器件中光路传播的空气介质变成固体介质 (如玻璃), 它不会改变器件的光学性能, 这样固化对 SLM 性能稳固性很有作用, 对于整个系统性能的提高也具有十分重要的作用。

## 参考文献

- [1] P. K. Varshney. Proc. IEEE, Vol 85, pp. 3-5, Jan. 1997.
- [2] Mallat S. G. A wavelet tour of signal processing. San Diego: Academic Press. 1998, 302-310.
- [3] M. Benjanin. Proc. DARPA Image Understanding Workshop. Monterey, CA: Morgan kaufmann, 1994, pp. 287-294.
- [4] D. M. Mckeown and M. Roux. Proc. DARPA Image Understanding Workshop. Monterey, CA: Morgan kaufmann, 1994, pp. 311-326.
- [5] S. Kuttikkad and R. Chellappa. Tech. Rep. CAR-TR-776, Center for Automation Res., Univ. Maryland, College Park, June 1995.
- [6] 赵忠贵. 信息融合技术及其研究动态 - 研究方向和建议. 长沙, 数据融合研讨会, 1995.
- [7] 顾聚兴译. 高性能远距离监视系统. 红外. 1999 (4).
- [8] David Hughes. Awacs data fusion under evaluation. AW & ST. 1994, 5, 7, 49-50.
- [9] D. Casasent and D. Psaltis. Opt. Eng., Vol. 15 p 258-261, 1976.

- [10] Y. N. Hsu. Appl. Opt. Vol. 21, p. 4012, 1982.
- [11] Y. L. Sheng and H. H. Arsenault. J. Opt. Soc. Am/A3, P. 771, 1986.
- [12] Y. L. Sheng and J. Duvernoy. J. Opt. Soc. Am/A3, p. 885, 1986.
- [13] C. F. Hester and D. Casasent. Appl. Opt., Vol. 19, p. 1758-1761, 1980.
- [14] J. L. Horner and P. D. Gianino. Appl. Opt. Vol. 23, p. 812, 1984.
- [15] P. D. Gianino and J. L. Horner. Opt. Eng., Vol. 23, p. 685, 1984.
- [16] J. L. Horner and J. R. Leger. Appl. Opt. Vol. 24, p. 609, 1985.
- [17] Ruli Wang. SPIE. Vol. 1395, p. 1171, 1990.
- [18] Y. Sheng. Opt. Lett., Vol. 18, p. 299-301, 1993.
- [19] D. Roberge and S. Sheng. Appl. Opt., Vol. 33, p. 5287-5293, 1994.
- [20] M. Wen, Opt. Comm. Vol. 99, p. 325-330, 1993.
- [21] D. Roberge and S. Sheng. Opt. Eng., Vol. 33, p. 2290-2295, 1994.
- [22] H. M. Ozaktas. J. Opt. Soc. Am/A 11, p. 547-559, 1994.
- [23] R. G. Dorsch. Appl. Opt., Vol. 33, p. 7599-7602, 1994.
- [24] D. Mendlovic. J. Opt. Soc. Am/A 12, p. 1665-1670, 1995.
- [25] Adolf W. Lohmann and David Mendlovic. "Fractional joint transform correlator," Appl. Opt., Vol. 36, p. 7402-7407, 1997.
- [26] U. Mahlab. Opt. Lett., Vol. 16, No. 5, p. 330-332, 1991.
- [27] F. T. S. Yu, Opt. Lett., Vol. 16, No. 4, p. 247-249, 1991.
- [28] C. J. Kuo. Opt. Eng., Vol. 33, No. 2, p. 522-527, 1994.
- [29] T. J. Grycewicz. Opt. Eng., Vol. 33, No. 6, p. 1813-1820, 1994.
- [30] N. Collins. OSA Tech. Dig. Series, Vol. 8, p. 142, 1988.
- [31] T. H. Lin et al. Tech. Dig. OSA Topical / Meet. On spatial light modulators and Application., Vol. ThC3, 1988.
- [32] S. Fukushima. Appl. Opt., Vol. 31, p. 6859-6868, 1992.
- [33] YOSHIKI ICHIOKA. Proc. IEEE, 1996, Vol. 84, No. 5, pp. 694-719.
- [34] Francis T. S. Yu and Suganda Jutamulia. U. S., John Wiley & Sons, Inc. 1992.
- [35] 毋国光, 翟宏深, 战元龄译. "光学信号处理, 计算和神经网络", 北京, 新时代出版社, 1997, pp. 39-46.
- [36] Yan zhang and Benyuan Gu. Appl. Opt., 1998, Vol. 37, No. 26, pp. 6256-6261.
- [37] D. Casasent. Proc. IEEE, Vol. 82, No. 11, p. 1724, 1994.
- [38] D. Casasent, Ed., SPIE, Optical Pattern Recognition IV, Vol. 1959, 1993.
- [39] P. S. Cawte. SPIE. Vol. 1134, p. 169-203, 1989.
- [40] James P. Karins, et al. Opt. Eng., Vol. 36, No. 10, p. 2747- 2753, 1997.

· 简 讯 ·

## 退火可以提高 Ge/Si 异质结 光电探测器的性能

外延锗 ( Ge ) 由于同硅 ( Si ) 工艺兼容而且在 1.55  $\mu\text{m}$  以下的近红外具有高的吸收, 所以常常被选作光电探测器的制作材料。一个潜在的问题是, 两种材料之间存在 4% 的晶格失配现象, 这通常是通过插入一层超晶格缓冲层加以解决的。现在, 意大利 Terza 大学和美国麻省理工学院的研究人员通过用低温淀积的 Ge 作为简单的缓冲层, 在 Si 上生长成了高质量的 Ge。他

们还证明, 一种简单的后生长循环热退火处理方法可以提高最后所制成的 Ge/Si 异质结光电探测器的特性。在不退火的情况下, 这种金属半导体金属光电探测器在 1.32  $\mu\text{m}$  波长处的响应率为 240 mA/W。当在超真空 / 化学汽相淀积过程之后附加简单的循环热退火时, 在 1.32  $\mu\text{m}$  处的响应率达到了 550 mA/W, 在 1.55  $\mu\text{m}$  处的响应率达到了 250 mA, 而且响应时间短于每秒 850。据研究人员说, 后生长热退火对 Ge 外延层电学特性所产生的有利作用是由于穿线 ( threading ) 位错密度降低的结果。

□ 高国龙