

· 特邀文章 ·

## C. 变象管高速摄影的最新进展

常增虎

(中国科学院西安光学精密机械研究所)

### 摘 要

本文简要介绍和评述了在第十九届国际高速摄影与光子学会议上发表的有关变象管高速摄影技术的结果, 据报道, 飞秒条纹变象管的时间分辨率设计值达50fs, 皮秒分幅相机的最短曝光时间实验值为50ps。CCD二维图象读出系统已普遍用于皮秒条纹相机系统。纳秒分幅/扫描摄影向高性能、程控化发展。本文还涉及了超短光脉冲技术的新成果在变象管动态测试中的应用。

关键词: 变象管; 象增强器; 条纹; 分幅相机

### 一、引 言

第19届国际高速摄影会议于1990年9月16~21日在英国剑桥丘吉尔学院召开。来自22个国家和地区的228位代表参加了会议, 其中包括变象管高速摄影领域许多知名的科学家。

提交本届会议的论文共185篇, (口头报告157篇, 张贴文章28篇), 分布在10个专题中。与变象管高速摄影直接有关的专题有三方面, 所含论文数(口头报告)分别为:

- |                  |     |
|------------------|-----|
| (1) 分幅/条纹/变象管/相机 | 43篇 |
| (2) 象增强器选通       | 10篇 |
| (3) 皮秒和飞秒技术      | 8篇  |

共计61篇。另有少数文章分布于其它专题及张贴文章中。不难看出, 变象管高速摄影在本届会议中占主要地位。

在会议期间展出产品的公司和单位共24家。熟知的变象管及相机研制单位几乎都参加了展出。

这次沙丁奖授予从事X射线皮秒条纹相机研究及激光等离子体诊断的美国科学家、在洛斯·阿拉莫斯实验室工作的 Gary Stradling 博士。

以下简要介绍几种主要的变象管高速摄影技术的发展情况。

### 二、飞秒条纹管

众所周知, 变象管条纹摄影的时间分辨率理论极限为10fs。主要限制因素是电子初能量弥散在阴极附近引起的渡越时间弥散, 为此应尽可能提高阴极附近的场强。当然, 飞秒管还应有尽可能高的动态象质和扫速。

日本浜松公司的木下胜之(K. Kinoshita)新设计的短磁聚焦飞秒条纹管如图1所示。

为了使阴极附近场强达到  $30 \sim 60 \text{ kV/mm}$ , 阴极与加速极的距离仅  $50 \sim 100 \mu\text{m}$ , 这两个电极间加速电压为  $3 \text{ kV}$ 。为了减小场致发射, 此电压采用脉冲式加法。

为了减小动态偏转象差, 该管使用微带线型偏转器。斜坡偏转电压的设计斜率为  $1.5 \text{ kV}/100 \text{ ps}$ 。(笔者认为此值目前仅可能用光电开关达到)。计算机模拟表明, 取电子初能量弥散值为  $0.3 \text{ eV}$  时, 该条纹管在屏中心附近时间分辨率可达  $50 \text{ fs}$ , 但在扫描区边缘分辨率将下降。全苏光学与物理测量研究所 Gregory Feldman 介绍的飞秒条纹管也采用了短磁聚焦系统。该管阴栅间距  $1 \text{ mm}$ , 两电极间加  $\geq 10 \text{ kV}$  的高压脉冲。为了提高偏转速度, 改善动态空间象质, 采用了行波偏转器, 偏转灵敏度达  $10 \text{ cm/kV}$ , 且在  $6 \text{ GHz}$  时驻波比小于 2。这种条纹管已制出。其阴极附近场强实际可达  $15 \text{ kV/mm}$ , 理论时间分辨率  $\sim 100 \text{ fs}$ 。

笔者认为, 飞秒扫描管目前的研究重点是首先设计出实际可行的新管, 使其时间分辨率接近  $100 \text{ fs}$ 。而在实际中则应解决如何提高阴极场强的问题。

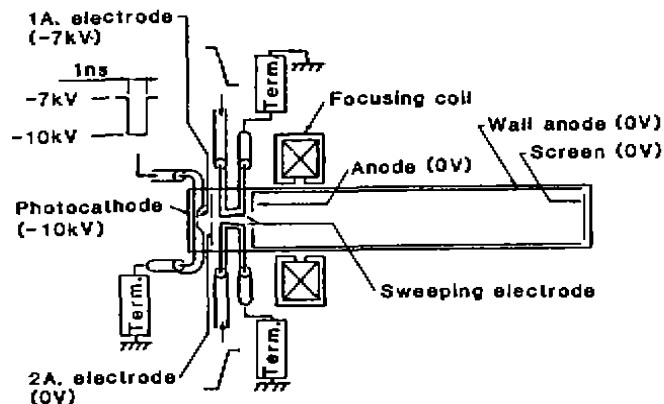


图 1 短磁聚焦飞秒条纹管

Fig. 1 Cross-sectional drawing of the new femtosecond streak tube and the coil.

### 三、皮秒分幅摄影

受激光等离子体诊断需求的推动, 近年来, 具有两维空间分辨能力的皮秒分幅摄影技术, 特别是 x 射线分幅摄影, 得到了迅速发展。目前研究较多的分幅摄影方案大致可分为两类, 即近贴聚焦行波选通式和偏转快门式。

美国劳伦兹·利弗莫尔 (LLNL) 实验室现在注重上述第一类方案。据 J. D. Kilkenny 的文章报道, 通过制作在 MCP 上的微带线选通 MCP, 已得到 14 幅 x 射线分幅像, 每幅曝光时间为  $100 \text{ ps}$ , 所用 MCP 厚度为  $0.5 \text{ mm}$ 。当把 MCP 的厚度减至  $0.25 \text{ mm}$  时, 曝光时间为  $50 \text{ ps}$ 。

值得说明的是, 上述方案获得图象的空间分辨率较高。此结果也表明超短高压脉冲的产生技术已达到了一个新的水平。

同在 LLNL 的 H. A. Koehler 和 S. Thomas 介绍的皮秒选通双近贴象增强器的结果也引人注目。被选通的象增强器直径为  $\phi 18 \text{ mm}$ , 选通电压脉冲加在阴极与 MCP 输入面之间。为了减小两电极间的 RC 时间常数, 采用特殊工艺降低了阴极间电阻。曝光时间为  $100 \sim 200 \text{ ps}$ 。

西安光机所常增虎给出了他与同事们发展的光学分幅/偏转快门式相机的最新结果。通过计算机模拟分析了在 x 射线变象管中用 MCP 准直器对电子初能量弥散的抑制作用。提

出并实施了一种测量皮秒分幅管动态特性的简便方法。所研制的相机可拍到四幅分幅像,当曝光时间为250ps时,动态空间分辨率为5 lp/mm。

总之,皮秒分幅相机正日趋成熟,并将逐步投入实用。

#### 四、皮秒条纹相机

这类相机(包括红外、可见光、x射线相机)已比较成熟,且已得到广泛应用。特别是x射线皮秒条纹相机,由于在x光波段难以使用非线性光脉冲测量方法,在激光等离子体诊断中已成为无法取代的高时间分辨率设备。如西安光机所侯洵等人的文章报道了他们研制的改进型x射线相机在时间分辨x光谱测量中的应用。他们与用户已成功地把相机与晶体谱仪、透射光栅及掠射光栅谱仪相结合使用,得到了大量与x射线激光研究有关的数据。

虽然皮秒变象管已比较成熟,但仍有新进展。有趣的是,多年来消声匿迹的近贴聚焦皮秒条纹管又有报道。美国LLNL的B. A. Hammel分析了以前研制的管子的问题,提出采用两块MCP的新结构,声称时间分辨率可达1 ps。众所周知,这种管子的特点是体积小。

近年来,超短光脉冲技术的发展为条纹相机的动态标定提供了有力手段。上届会议上,陈国夫等曾介绍了用CPM染料激光标定可见光相机的结果。本届会议上苏联普通物理所两位科学家介绍了他们用新手段标定红外相机。

A. Babushkin用光纤/光栅对压缩了锁模的YAP:Nd激光器输出的1.08 $\mu$ m红外脉冲,光栅对之后光脉冲的宽度为0.3ps。把此脉冲输入到PV001管子阴极上,得到了0.6ps的时间分辨率。

N. S. Vorobiev等建立的双频激光系统依靠腔内两种频率光的差拍可产生周期在6 ns~300fs间连续可调的正弦光,可测量变象管的时间传函。该激光系统的示意图见陈国夫文图2。

条纹相机系统最显著的改进是图象的记录。CCD相机两维实时图象读出系统已占统治地位。这种集图象的记录与处理于一体的实时系统给使用者带来了极大的便利。但目前变象管与CCD的耦合方式还不太理想。要彻底取代胶片,还必须提高读出系统的信息容量、灵敏度及动态范围。

#### 五、纳秒相机

曝光时间或时间分辨率在纳秒~微秒的变象管相机一般兼有条纹和分幅两种摄影功能,应用面很广。

随着使用要求的提高,这类相机的性能也在不断改善。西安光机所常增虎设计的新型分幅管由于采用先偏转后选通的工作方式,在很大程度上避免了选通电压对动态象质的影响,加上合理的偏转系统设计,有望得到较高的动态空间分辨率。

英国IMCO公司的B. R. Garfield等人研制了一种程控化分幅相机。其变象

管可由计算机直接控制,因而摄影参数,如拍摄频率、曝光时间、画幅时间间隔及空间排列均可事先设置,使用很方便。

## 六、变象管与象增强器的其它应用

美国 M. Zatel 用特殊的双近贴象增强器测出了 10V 亚纳秒电脉冲的 10 个付里叶谐波分量。这种象增强器的 MCP 上制用弯曲型微带线,被分析的电脉冲即馈入此线。当入射光通过正弦调制板入射在象增强器阴极上时,据 MCP 的输出电流即可分析出电脉冲的付氏分量。

全苏光学与物理测量研究所的 S. S. Ignatovyan 等研制了一种可用作空间/时间光调制器的变象管。他们用液晶取代了管子的荧光屏,阴极上发出的光电子在液晶上会形成与入射光对应的电位起伏,从而形成液晶的光折射率分布。用偏振光照射液晶,可读出图象,并实现非偏振/偏振,或光谱转换。也可用此器件进行图象处理。

## 七、结 论

变象管高速摄影技术迄今已发展了 41 年。从本届会议可看出,时间分辨率  $> 1 \sim 2$  ps 的条纹相机及摄影频率  $\leq 10^8$  幅/秒的分幅相机已较成熟。进一步发展的趋势是提高综合性能,降低成本。目前重点研究的变象管及相机主要为:

- (1) 飞秒变象管,试图达到  $\leq 100$  fs 的分辨率。
- (2) 皮秒分幅摄影,使曝光时间  $\leq 100$  ps 的相机实用化。
- (3) 同步重复摄影,改善控制线路,使时间分辨率  $< 700$  fs。

由于本届会议有关变象管高速摄影的文章较多,在此不可能一一列举。欲详细了解会议情况,以后可参阅会议文集。