

激光显示发展方向

许祖彦

中国科学技术大学光学与光学工程系

中国科学院理化技术研究所

2015.1.11 合肥



发展的思考

◆激光是国家的战略支撑技术

面向国防装备、科技前沿、高新技术产业

《国家科技中长期规划》列入：

- 激光武器
- 深紫外激光
- 激光显示

◆人类对美好事物的追求推进着人类文明的进步

- 人对美好视觉效果的追求推进了显示技术的发展



目 录

一. 显示技术的发展方向和目标

二. 激光显示：一条走向显示高端目标之路

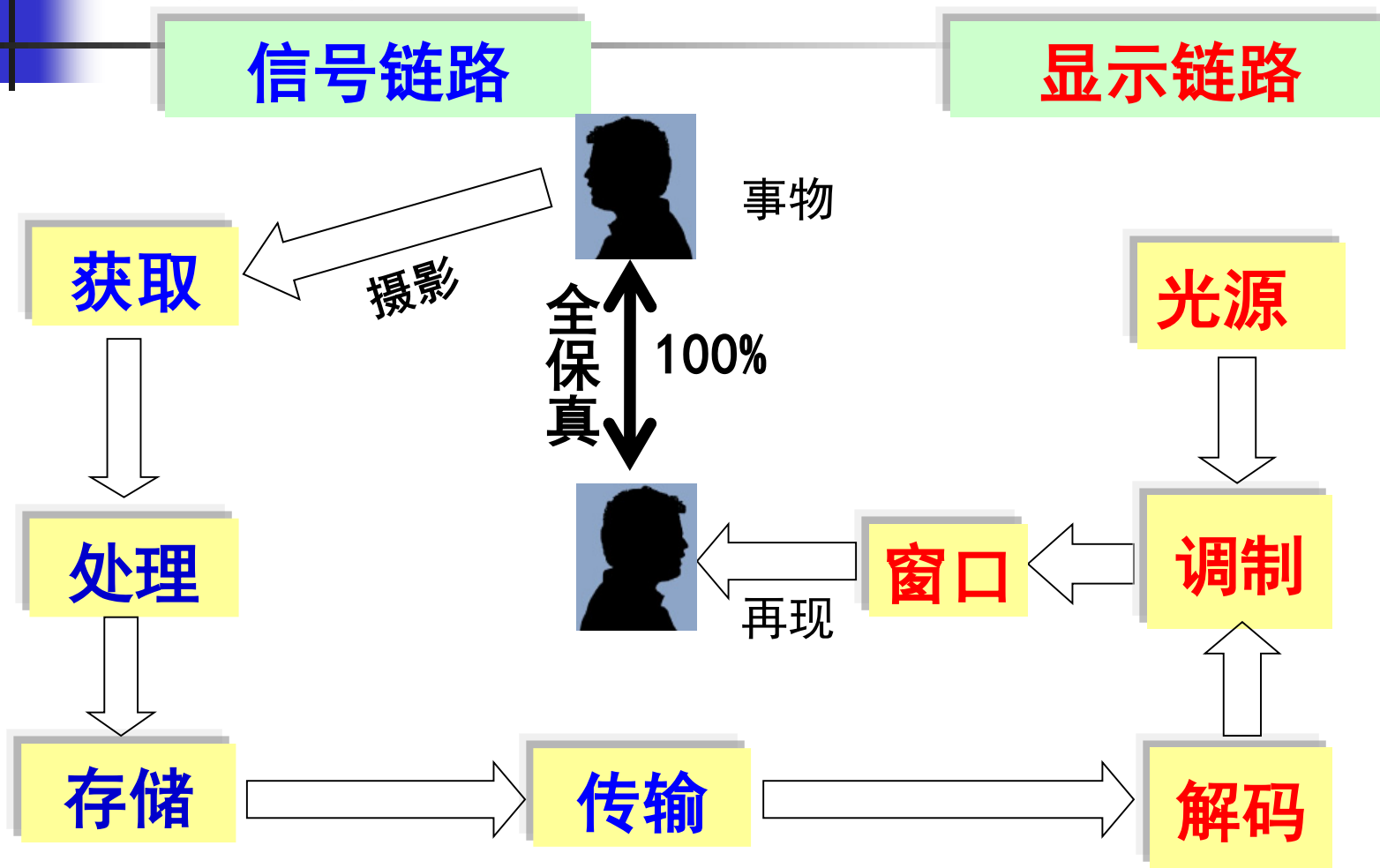
三. 激光显示的历史与现状

四. 激光显示产业发展路线图

五. 展望

一. 显示技术的发展方向和目标

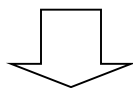
视频信息两链路



显示——人机界面

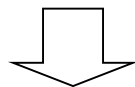
一、显示技术的发展方向和目标

方向——走向人眼分辨极限



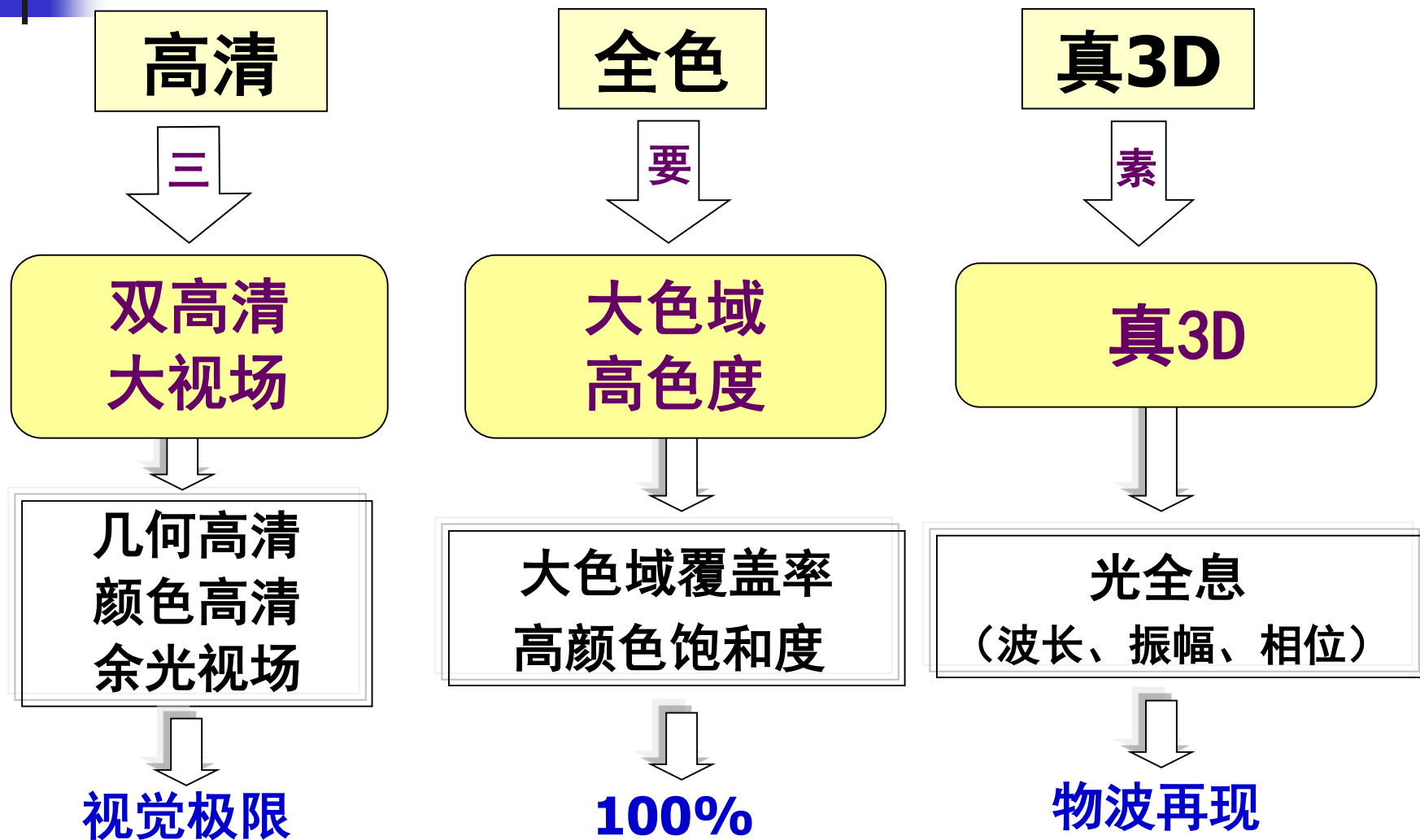
全保真图像再现

目标——高保真图像再现



三要素——**高清、全色、真3D**

一、显示技术的发展方向和目标

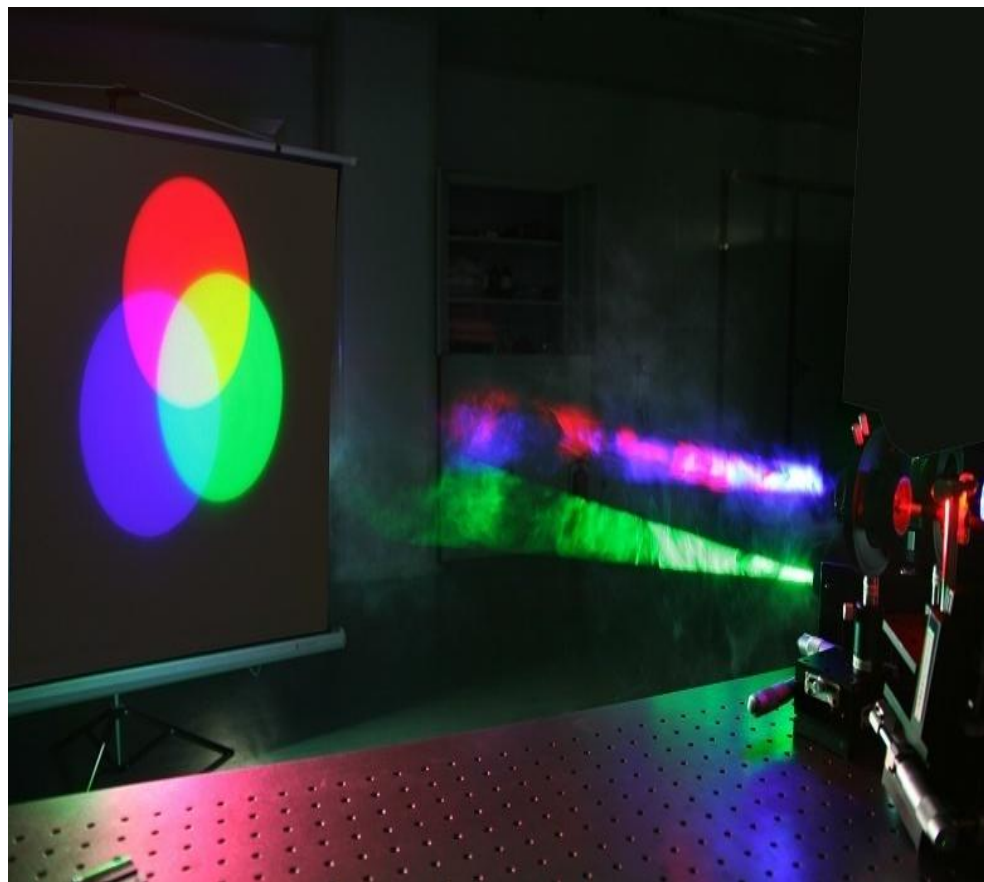


二、激光显示

一条走向显示高端目标之路

★ 以红 (R)、绿 (G)、蓝 (B) 三基色 (或多基色) 激光为光源的显示技术

★ 控制三基色激光强度比、总强度和强度空间分布即可实现彩色图像显示



三基色激光合成白光实验

二、激光显示

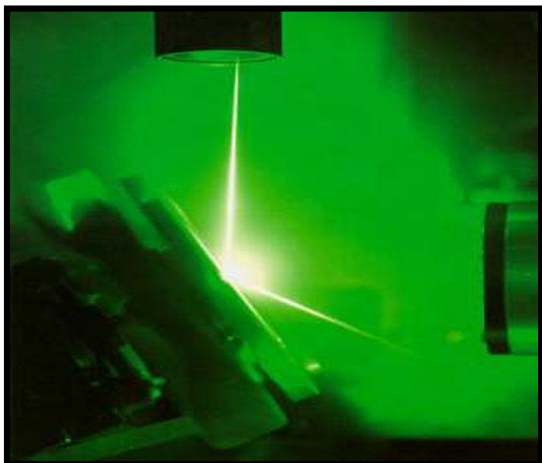
一条走向显示高端目标之路

激光显示优势

激光三特性——实现高保真图像三要素的基础

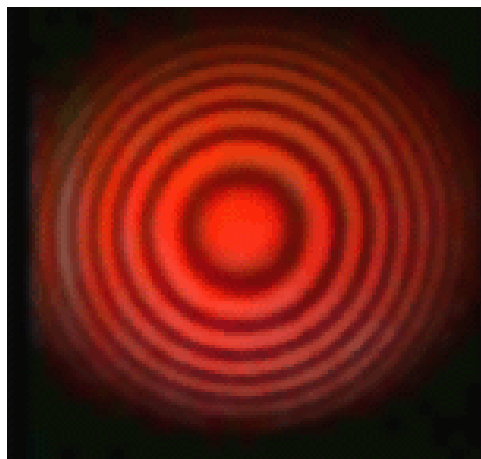
方向性好

从地球射到月球
光斑大小仅为1公里



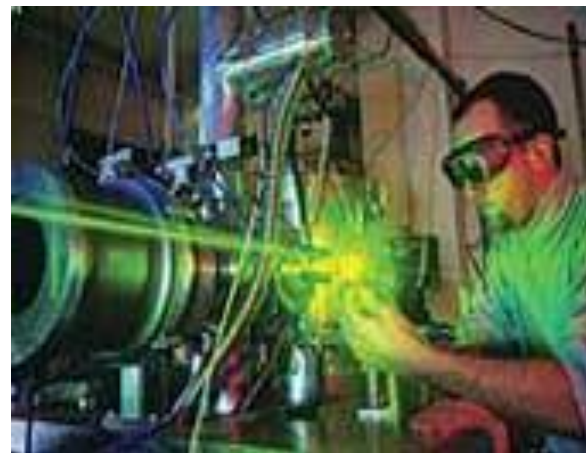
单色性好

频谱相对宽度可达 10^{-14}



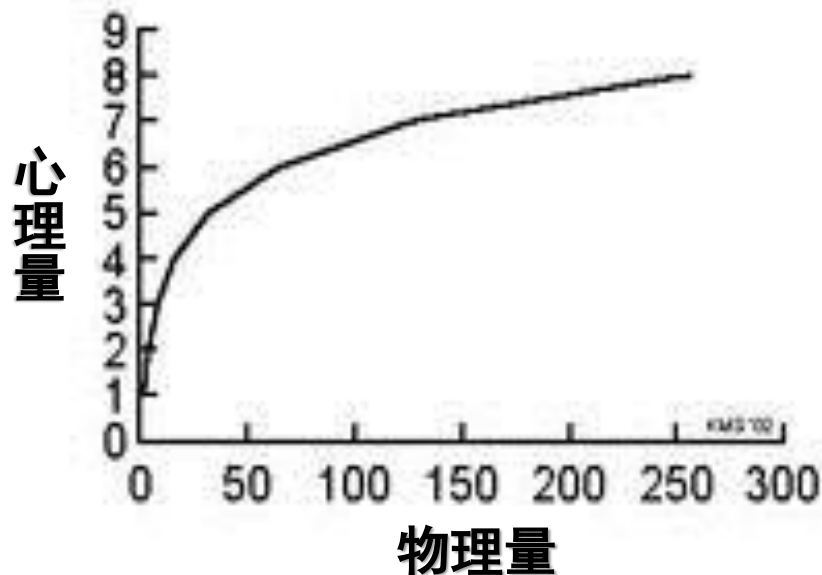
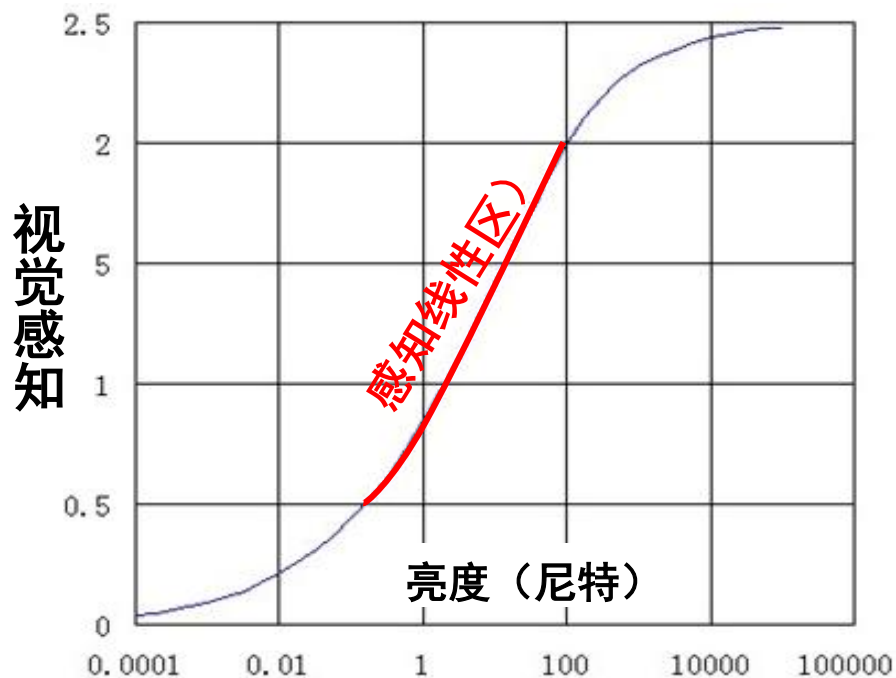
亮度高

脉冲功率密度已达
 $10^{22}\text{W}/\text{cm}^2$



二、激光显示

一条走向显示高端目标之路



视觉感知与亮度的关系——中段为线性区

韦伯-费希纳定律——物理量几何级数增长，心理量算术级数增长

人机界面显示技术的基础——光学与心理学的交叉

二、激光显示

一条走向显示高端目标之路

◆激光方向性好亮度高：

—— 易在双高清感知线性区
实现大屏幕

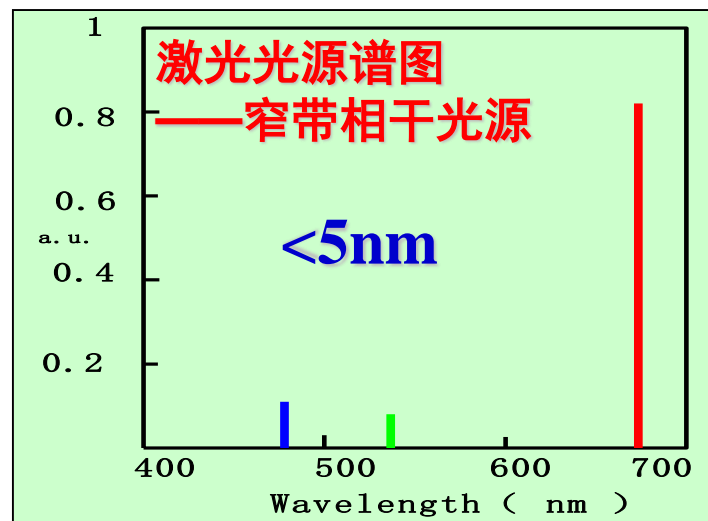
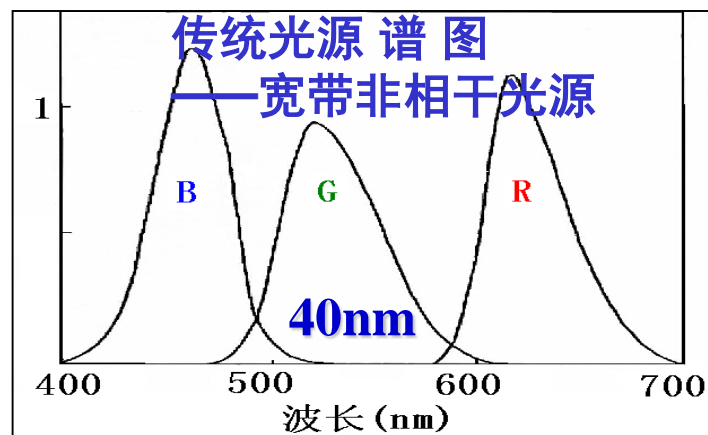
◆激光单色性好：

➢ 比传统光源谱宽窄8倍以上

—— 可实现大颜色数、
高色饱和度、大色域

➢ 相干性好

—— 可实现全息三维再现
(真3D)



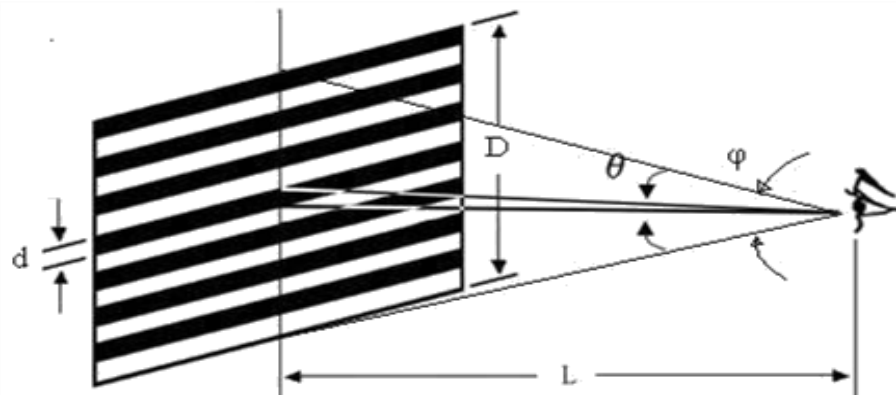
激光与荧光粉光谱特性

二、激光显示

一条走向显示高端目标之路

几何高清（线分辨率）

人眼分辨力—人眼生物学结构+光学原理



$$d = L \cdot \theta$$

θ : 人眼分辨角

L: 视距

d: 人眼分辨点间距

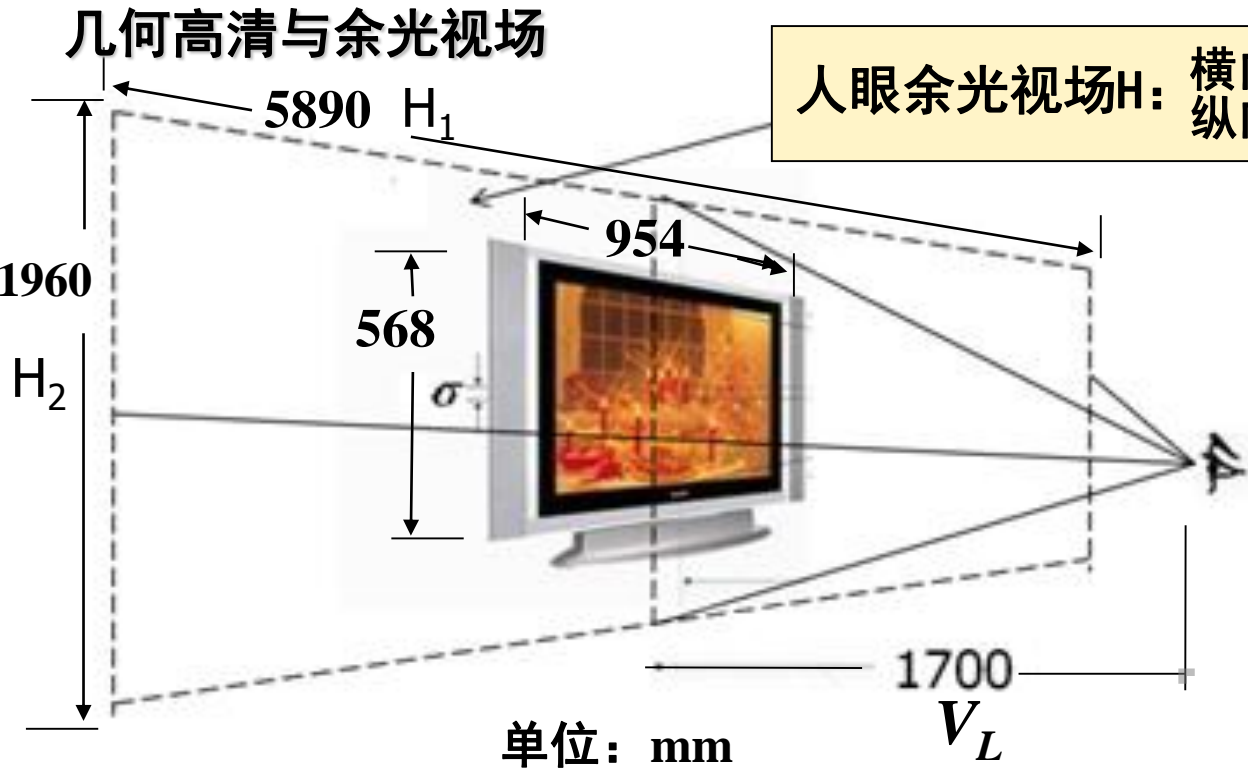
◆人双眼清晰视场: 横向 35° 纵向 20°

◆人双眼余光视场: 横向 120° 纵向 60°

◆人眼分辨角: $\sim 1'$

二、激光显示

一条走向显示高端目标之路



人眼余光视场H: 横向: $H_1 = \tan(120^\circ / 2) \times V_L \times 2$
 纵向: $H_2 = \tan(60^\circ / 2) \times V_L \times 2$

N_L : 横向像素数
 N_w : 纵向像素数
 N : 总像素数

$\sigma \leq \theta \times V_L = d$
 V_L : 最佳视距
 σ : 像素点间距
 (线分辨率)

电视尺寸 (42寸)
 屏幕 = 954mm × 568mm

$V_L = 1700\text{mm}$

余光视场显示 (240寸).
 屏幕 $\geq 5890\text{mm} \times 1960\text{mm}$

$N = 1920 \times 1080$ (2K高清电视)
 $N = 3840 \times 2160$ (4K超高清电视)

$N \geq 7200 \times 3600$
 (>7K电视)

二、激光显示

一条走向显示高端目标之路

几何高清与余光视场

8K余光视场电视

(7200×3600)



4K超高清电视 (3840×2160)

2K高清电视 (1920×1080)

计算机液晶 (1024×768)

彩色电视 (768×576)

高清电视
(1280×720)

彩色显示屏 (720×480)

*视距:1.7m

纵向线分辨率

横向线分辨率

★ 激光的亮度高，易达到人眼几何分辨极限的大屏幕显示

二、激光显示

一条走向显示高端目标之路

颜色高清

★ 激光显示谱宽窄，总颜色数将提高到85亿以上

人眼感知谱宽 ~ 1nm

传统光源谱宽 ~40nm

激光光源谱宽 ~ 5nm

激光谱宽比传统光源谱宽窄8倍以上

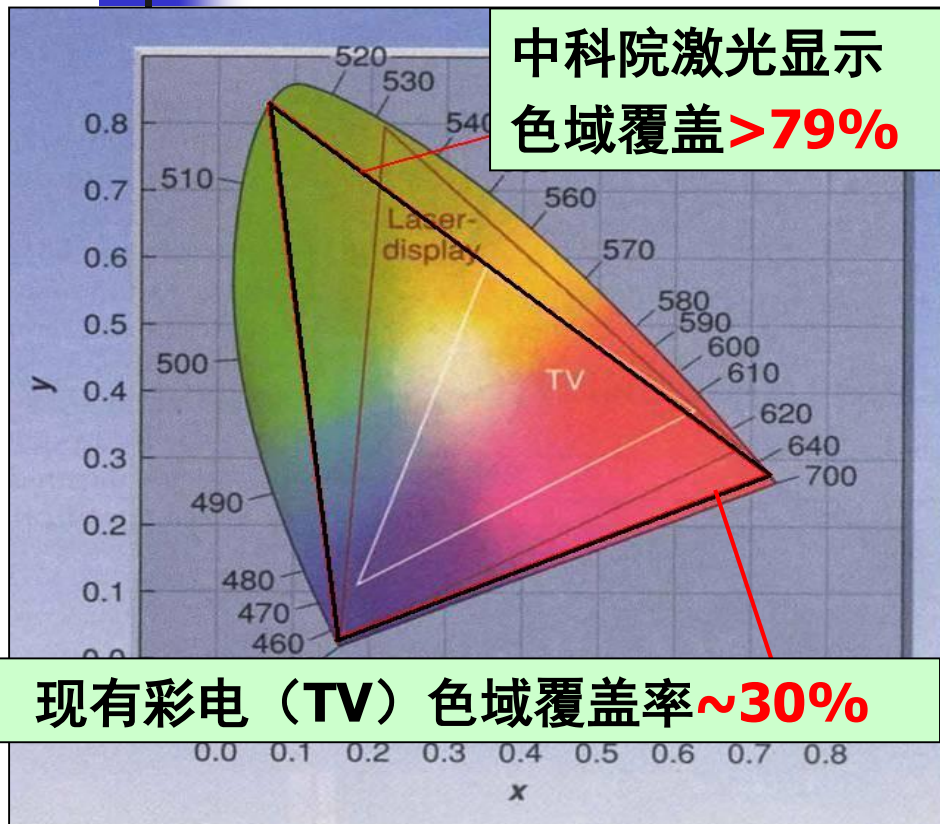
➤ 传统显示红绿蓝均由8位色彩组成，颜色数为 $(2^8=256)^3=16.77M$ 。

激光显示颜色数可由10位以上色彩组成，比现有显示器可提高 $8^3=512$ 倍，达8586M

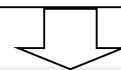
二、激光显示

一条走向显示高端目标之路

大色域、高饱和度

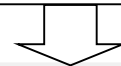


◆ 激光谱宽比传统光源谱宽窄8倍



色饱和度提高 **2³** 倍
人眼感知颜色鲜艳 **3** 倍

◆ 激光可在可见波段实现任意波长



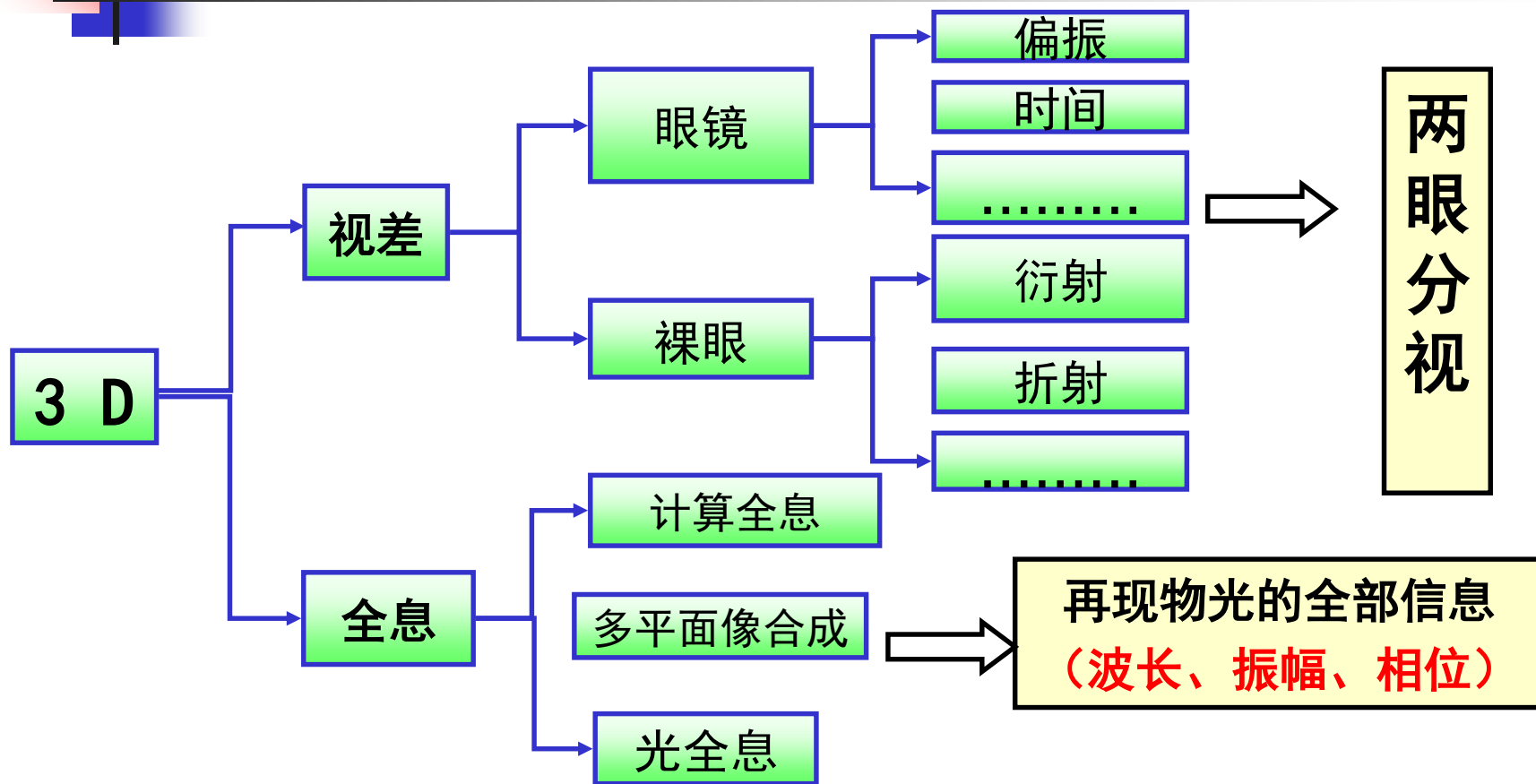
色域覆盖率从30%提高到 **90%**
人眼感知色彩丰富 **3** 倍

★ 激光显示是实现高饱和度大色域显示的最佳途径

二、激光显示

一条走向显示高端目标之路

真三维 (3D)

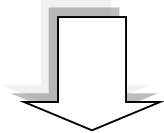


★ 激光显示能通过全息技术实现真3D

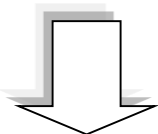
二、激光显示

一条走向显示高端目标之路

窄带相干光源取代宽带非相干光源
显示三要素物理量实现突破性提升



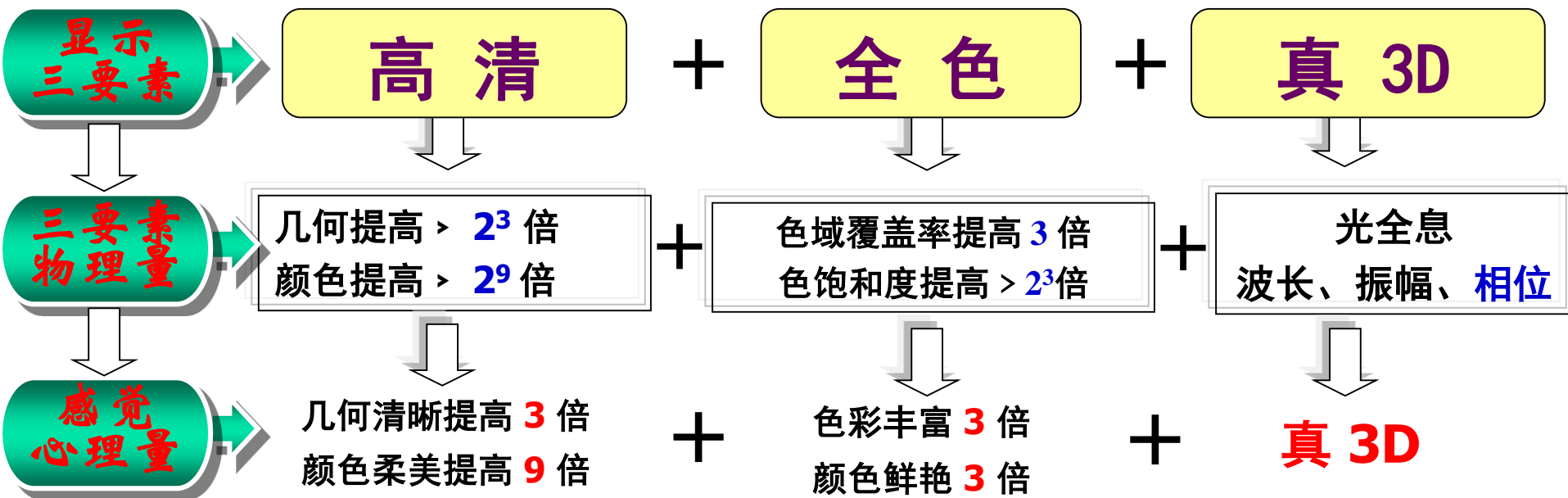
激光显示能将显示三要素
提升到人眼极限



将成为新一代显示技术

二、激光显示

一条走向显示高端目标之路

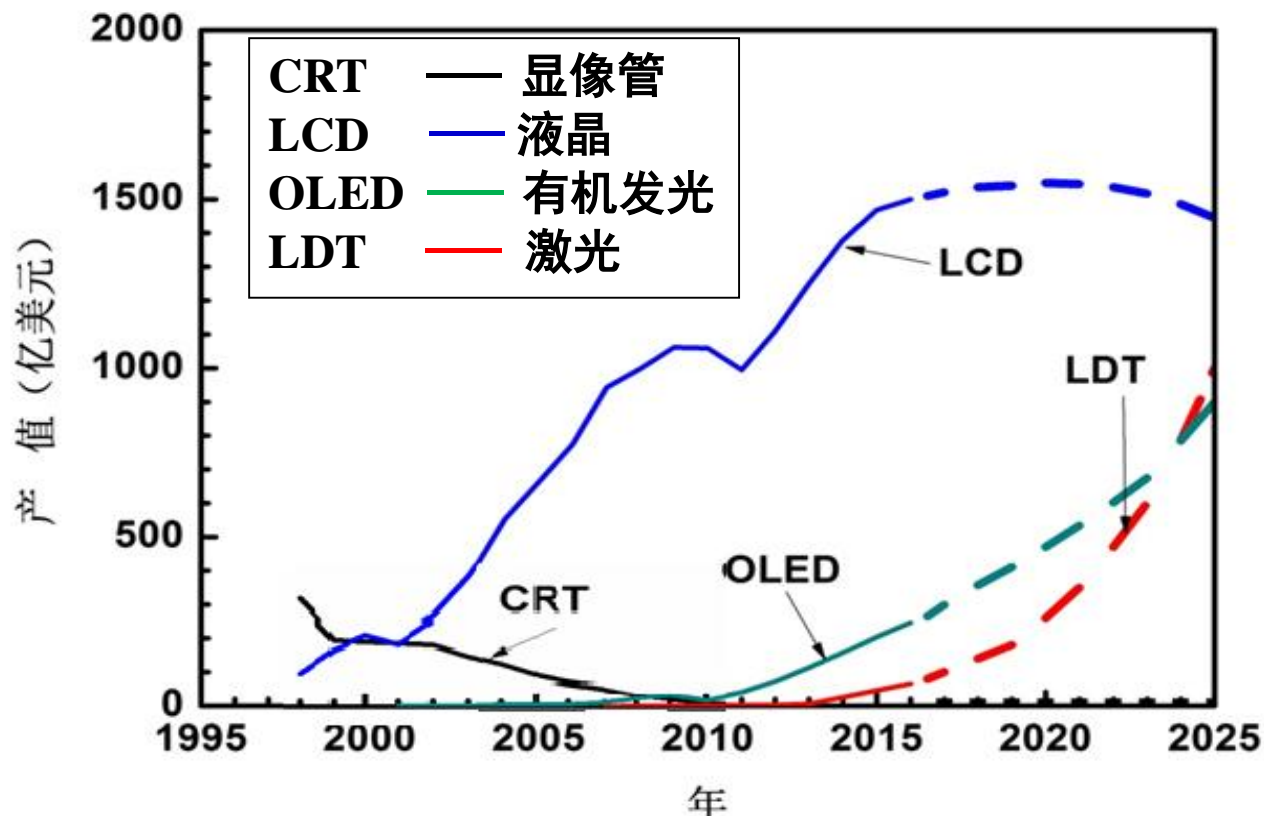


激光显示可实现显示三要素的高端目标——
物理量提升到人眼视觉极限
视觉心理感知量成倍的增长

二、激光显示

一条走向显示高端目标之路

激光显示市场



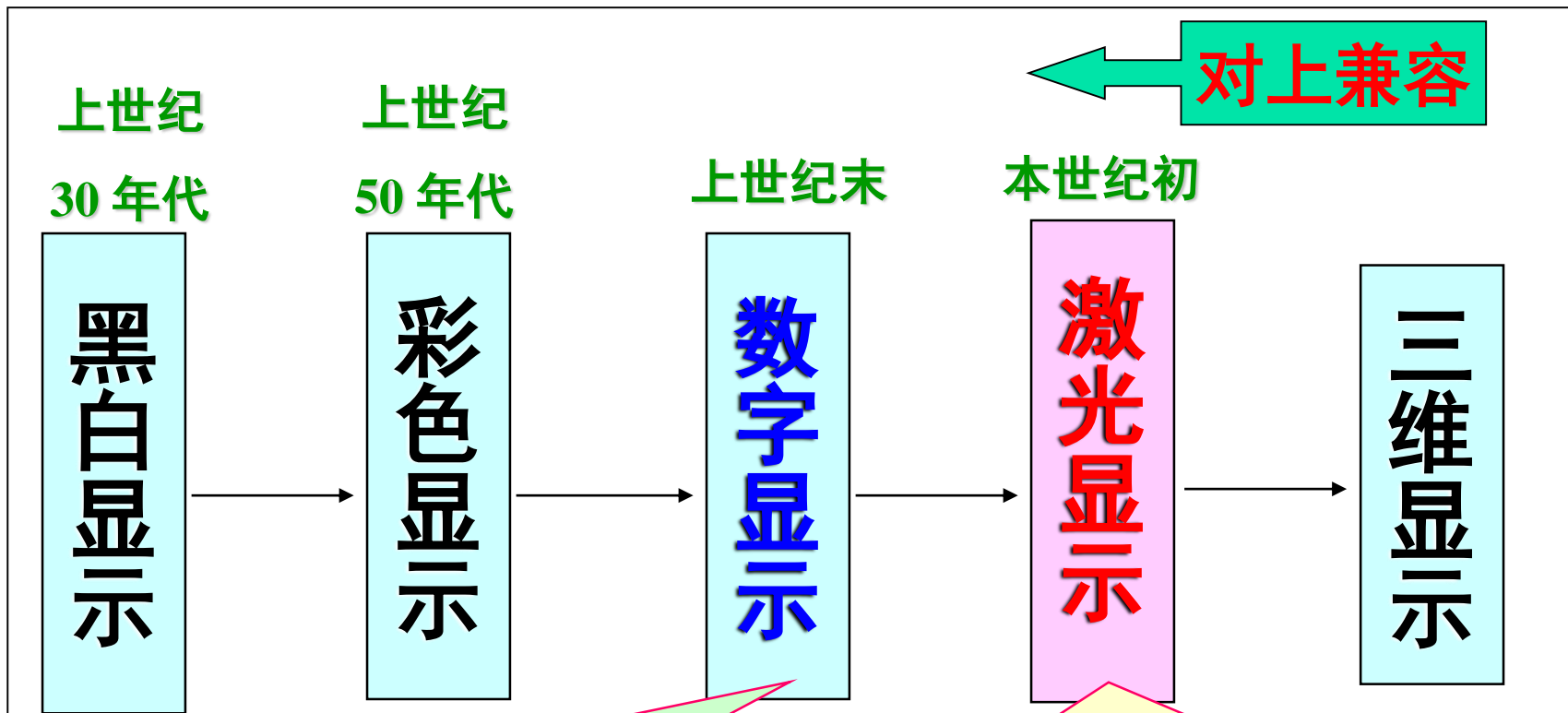
★ (1) 2013年以前为统计数据, 2013~2016年为预测数据, 来源于Display Search (CRT、LCD、OLED) 和 Laser Focus World (LDT); (2) 2016~2025年数据为我们的预测。

▲ 预计5年左右三基色LD技术可能获得突破
10年左右激光显示器将从试验样机走向规模产品

二、激光显示

一条走向显示高端目标之路

显示技术发展历程

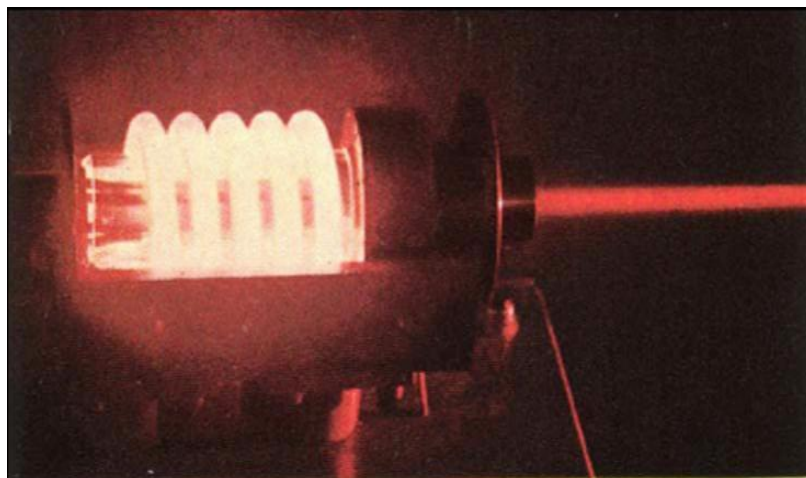
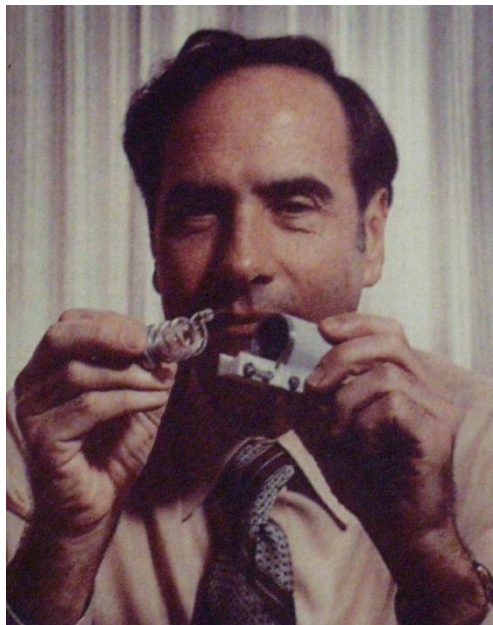


解决清晰问题

解决颜色问题

三、激光显示的历史与现状

激光光源发展历程



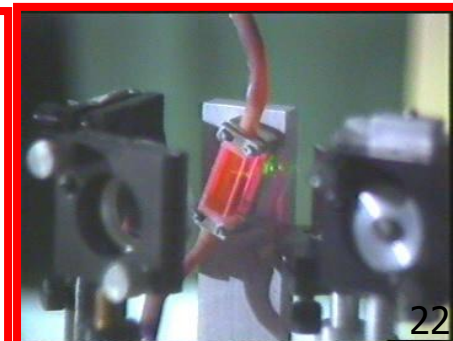
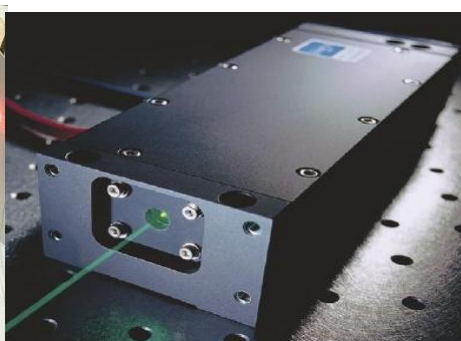
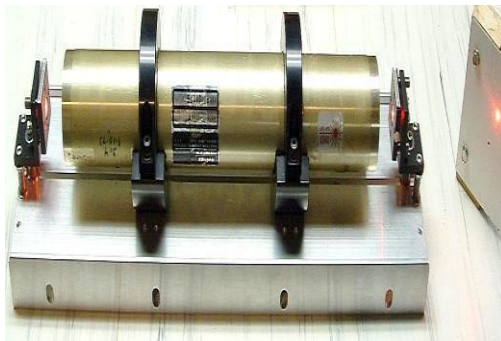
● 1960年5月，休斯实验室的Maiman研制成功世界首台可见光激光器——红宝石激光器（波长694.3nm），打开了激光应用的广阔市场——全世界都开始研究激光显示

三、激光显示的历史与现状

激光光源发展历程

- 固体激光器
- 半导体激光器
- 气体激光器
- 液体激光器
- 化学激光器
- 自由电子激光器
-

已应用于激光显示研发



三、激光显示的历史与现状

激光显示发展历程

自**1965**年美国**Texas**公司发表单色激光扫描显示研究报告以来，全球激光显示走过了**49**年，**国内的发展与国际同步。**

2005年中科院在国内首次研制成功系列激光投影显示样机，完成了研究阶段任务，解决了

两大科学问题

■ 物理问题

——高画质的大色域激光显示器是否能研制出来

■ 认知问题

——激光显示的优势是否能为观众认可

三、激光显示的历史与现状

中科院激光显示样机（2005）



三、激光显示的历史与现状

中科院激光显示样机——色域覆盖率国际领先

2006年1月，中科院、信产部联合鉴定：总体国际同步，色域覆盖率国际领先。

经光度学和色度学检测，证实了激光显示可实现大色域、高画质视频图像显示——回答了物理问题

序号	机构	屏幕（英寸）	分辨率	光通量(lm)	色域 (%NTSC)	色域覆盖 率 (%)
1	中科院	60~200	1024×768	1500	253.4	79.2
2	美LPC	24~120	1280×1024	500	221.7	69.3
3	日本SONY	140	HDTV（高 清）	1400	214.4	67
4	德国LDT	可调	1024×768	1000	209.4	65.4

三、激光显示的历史与现状

中科院激光显示样机

各类样机经领导、专家和各阶层群众的审查、考察、观看，八年的统计结果表明：**公众一致认同激光显示的观赏性优势——回答了认知问题**



三、激光显示的历史与现状

中科院激光显示样机



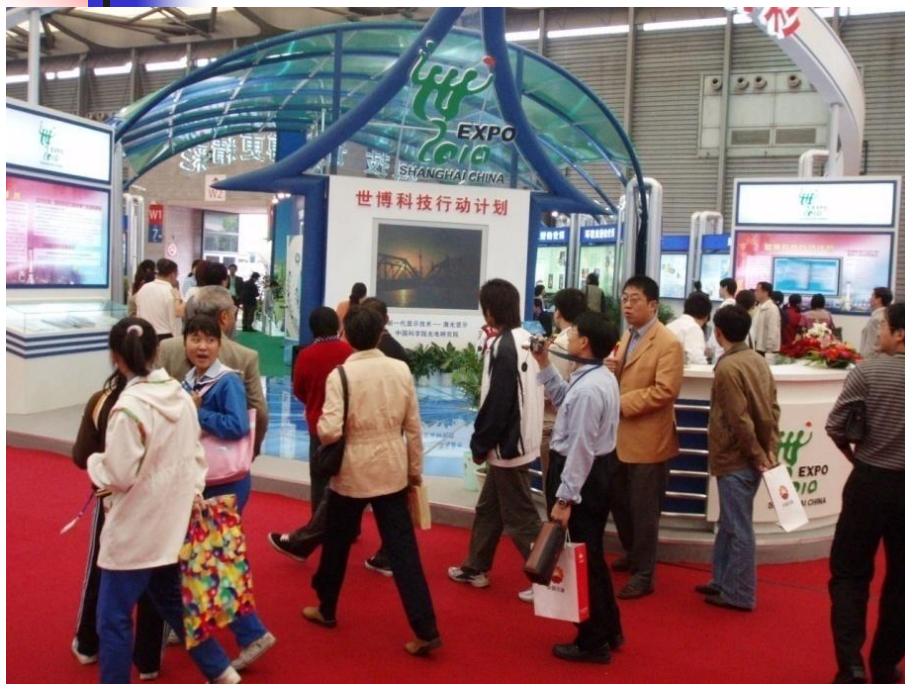
温总理视察



王大珩先生观看

三、激光显示的历史与现状

中科院激光显示样机



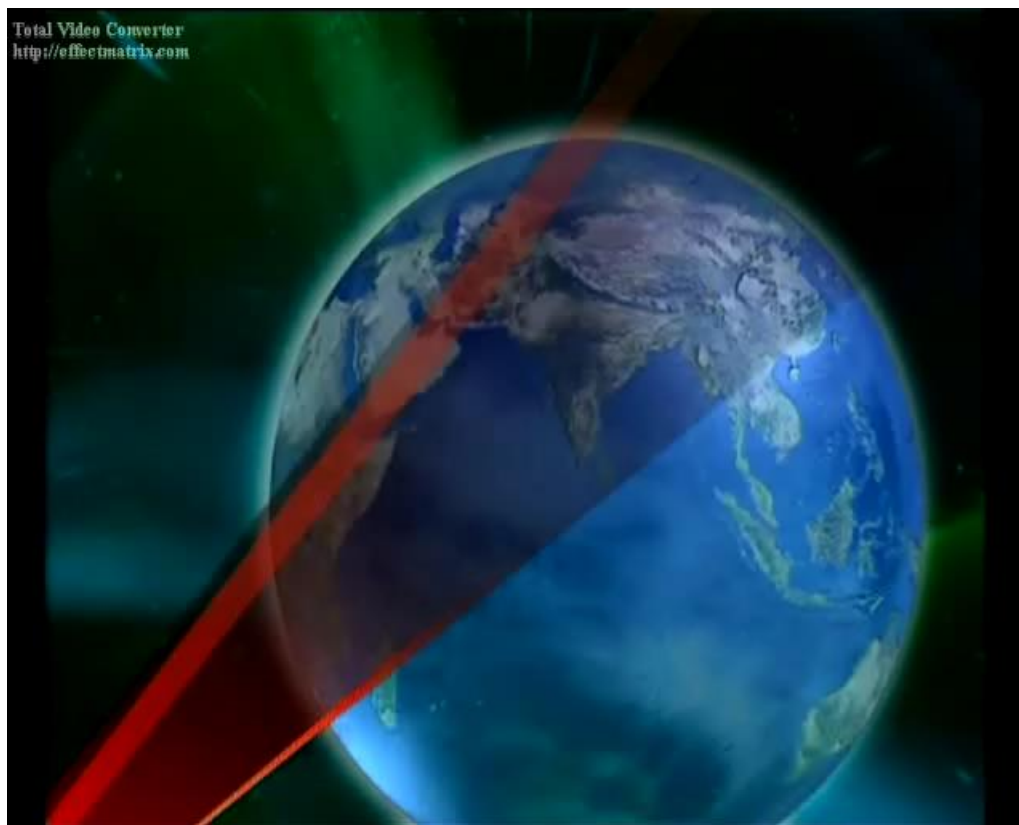
各界群众参观



三星电子副会长参观

三、激光显示的历史与现状

中科院激光显示样机



应用于2008年奥运会

三、激光显示的历史与现状

激光显示技术正在驱动新一代显示产业的形成

国内外研究成果证实激光显示
具有不可取代的优势

□高画质、大视场、多模式

- 高色饱和度——颜色最鲜艳
- 大色域——色彩最丰富
- 高分辨——图像最清晰，颜色最细腻
- 高亮度——大视场、大屏幕
- 色温可调——可无缝拼接超大屏幕

□节能、环保

- 功耗小——比液晶电视节能50%以上
- 寿命长——~5万小时

三、激光显示的历史与现状

全世界都开始了激光显示产业化开发

► 激光家庭影院/电视



日本三洋

分辨率：1920×1080

流明数：~7000



2012年韩国LG

超短焦距投影

1080P全高清

三、激光显示的历史与现状

全世界都开始了激光显示产业化开发

➤ 大屏幕/超大屏幕激光显示



2013年中科院 3D 放映机
色域：160%NTSC
分辨率：1920×1080
流明数：50000



2012年加拿大科视公司
电影放映机
流明数：~72000

三、激光显示的历史与现状

全世界都开始了激光显示产业化开发

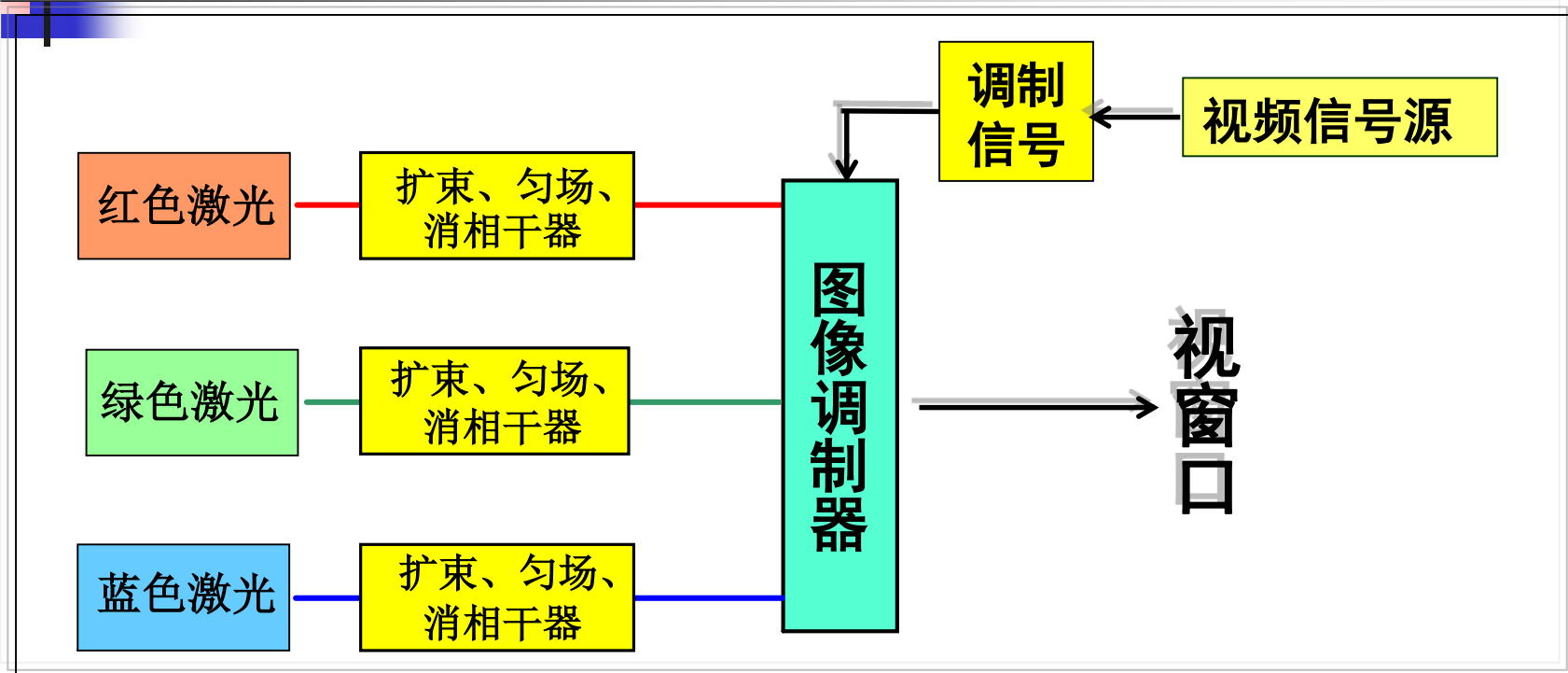
➤ 大屏幕/超大屏幕激光显示



索尼公司，500平米超大屏幕，12台激光投影机拼接

四、激光显示产业发展路线图

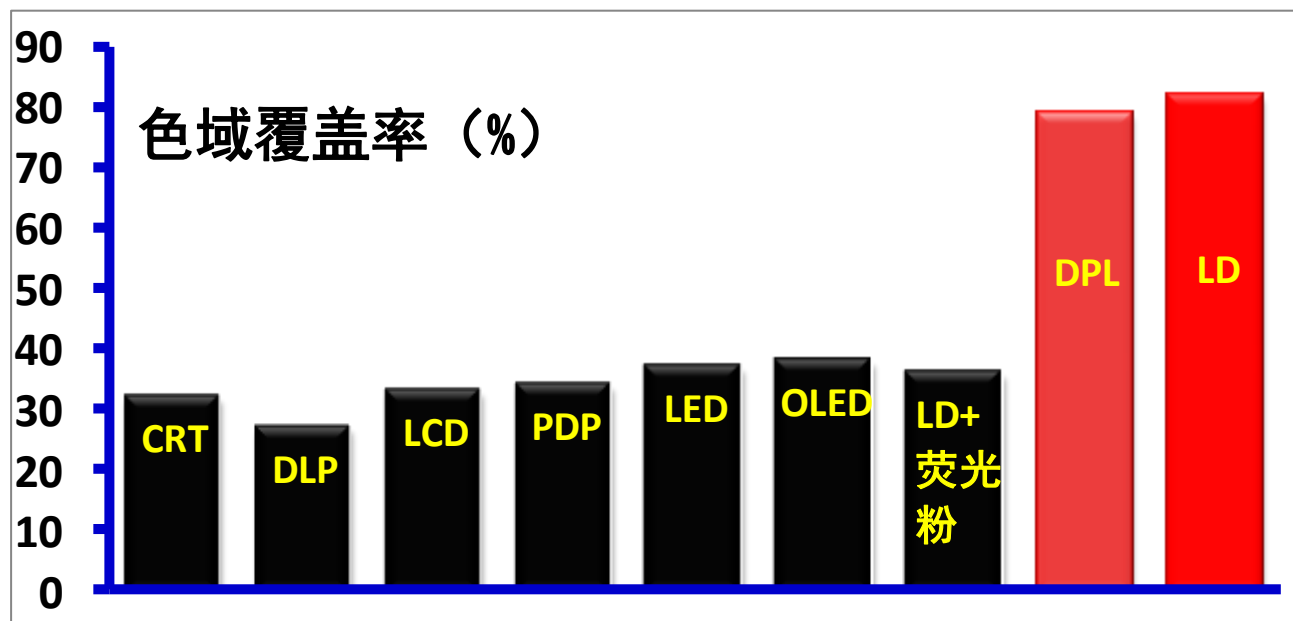
激光显示产业化关键技术



- 红绿蓝三基色激光源
- 激光干涉噪音抑制
- 图像调制(光阀、液晶面板等)
- 总体集成

四、激光显示产业发展路线图

红绿蓝三基色激光源



LD — 激光二极管
DPL — 全固态激光
OLED — 有机LED
LED — 发光二极管
PDP — 等离子
LCD — 液晶
CRT — 显像管
DLP — 灯泡投影

各种显示色域覆盖率

现有显示: <33%

激光显示: >79%

四、激光显示产业发展路线图

红绿蓝三基色激光源

●三基色 LD 的优势

◆电激发

◆高效率

◆波长可调控

◆大消光比

◆长寿命

◆全固态

◆小型化

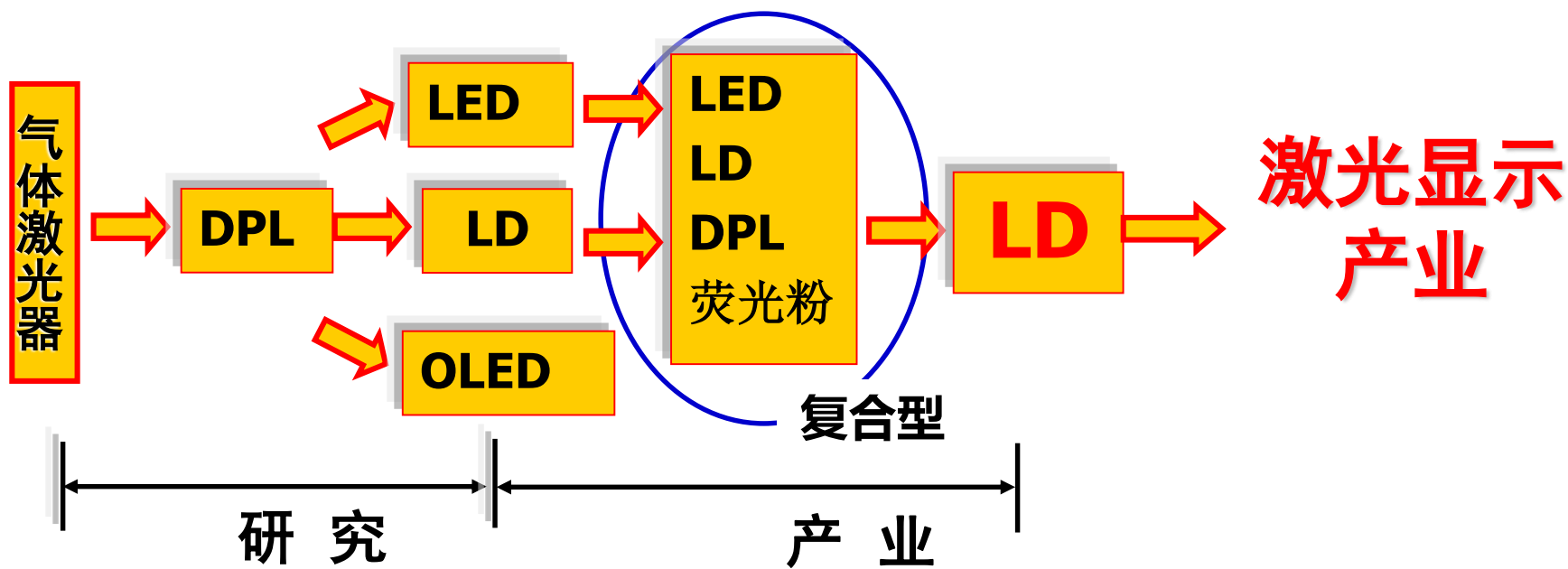
◆成本低

(可利用半导体工艺规模量产)

★ 三基色 LD 是产业化激光显示器最佳光源

四、激光显示产业发展路线图

红绿蓝三基色激光源



先进显示光源发展路线图

四、激光显示产业发展路线图

三基色 LD 的现状

国外

- ◆红光：1W（单管）
10W级（bar条）
- ◆绿光：120mW（单管）
- ◆蓝光：1.6W（单管）
10W级（bar条）

国内

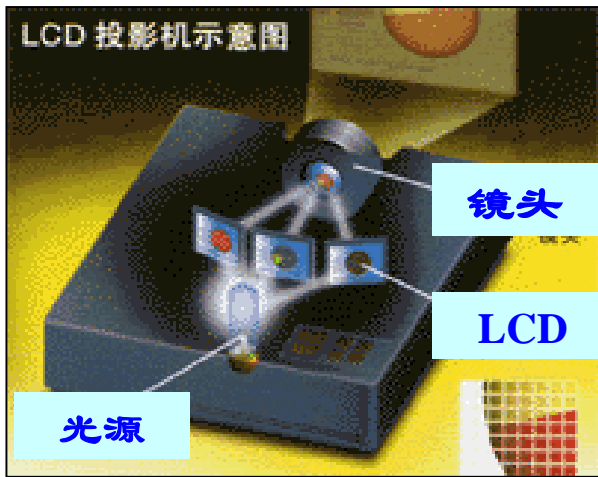
- ◆红光：200mW（单管）
- ◆绿光：在研（实现荧光发射）
- ◆蓝光：50mW（单管）

★ 三基色 LD 材料、器件产业化关键技术攻关是当务之急

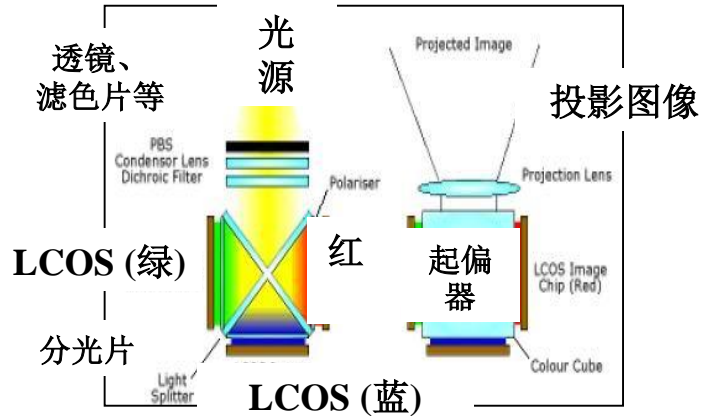
四、激光显示产业发展路线图

视频图像调制器（光阀）

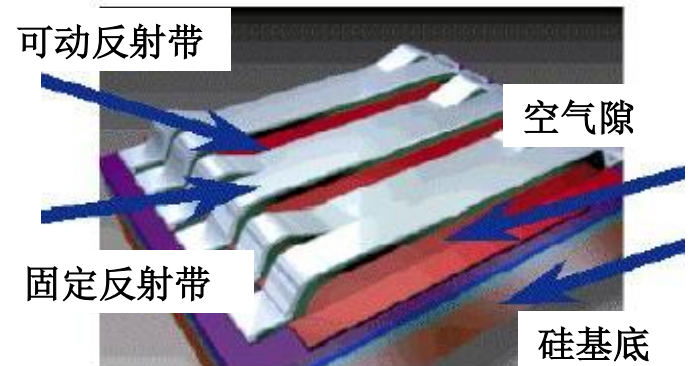
LCD（透射式液晶）



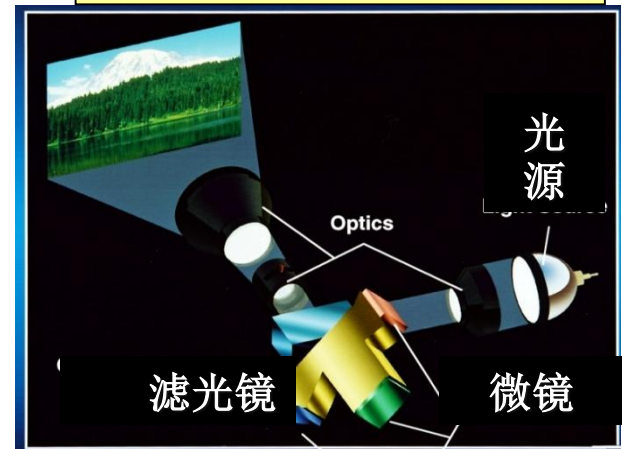
LCOS（反射式液晶）



GLV (光栅光阀)

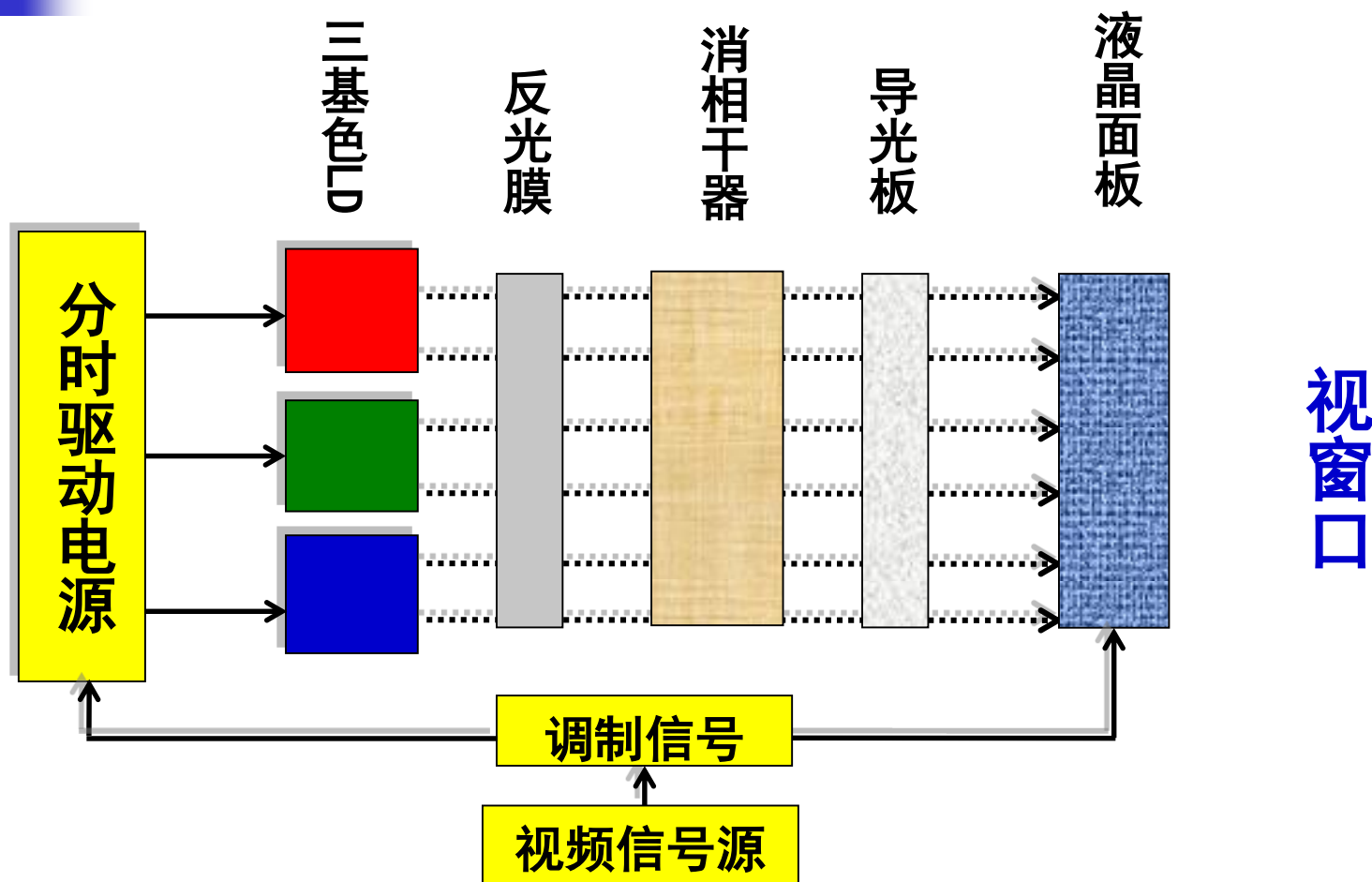


DMD (数字微镜)



四、激光显示产业发展路线图

视频图像调制器（液晶面板）



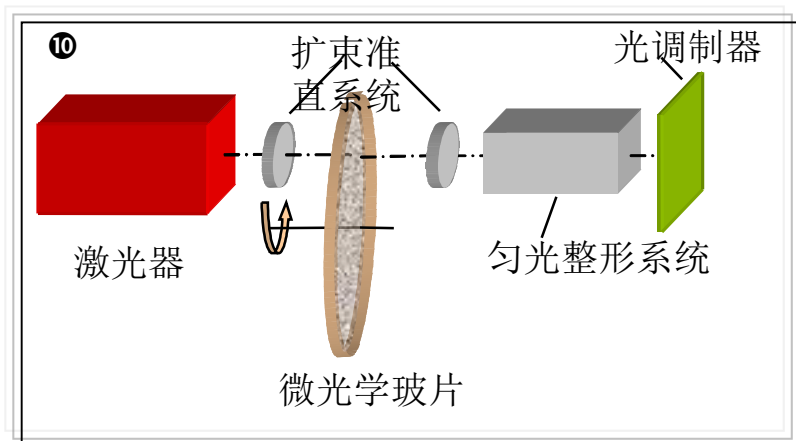
液晶面板激光显示示意图

四、激光显示产业发展路线图

激光干涉噪音抑制技术

■扩束、整形、匀场、消相干

目前，激光光源/照明系统消相干技术已有很多专利
但在产品层面上仍未真正解决，尚待攻关。



微光学玻片消相干

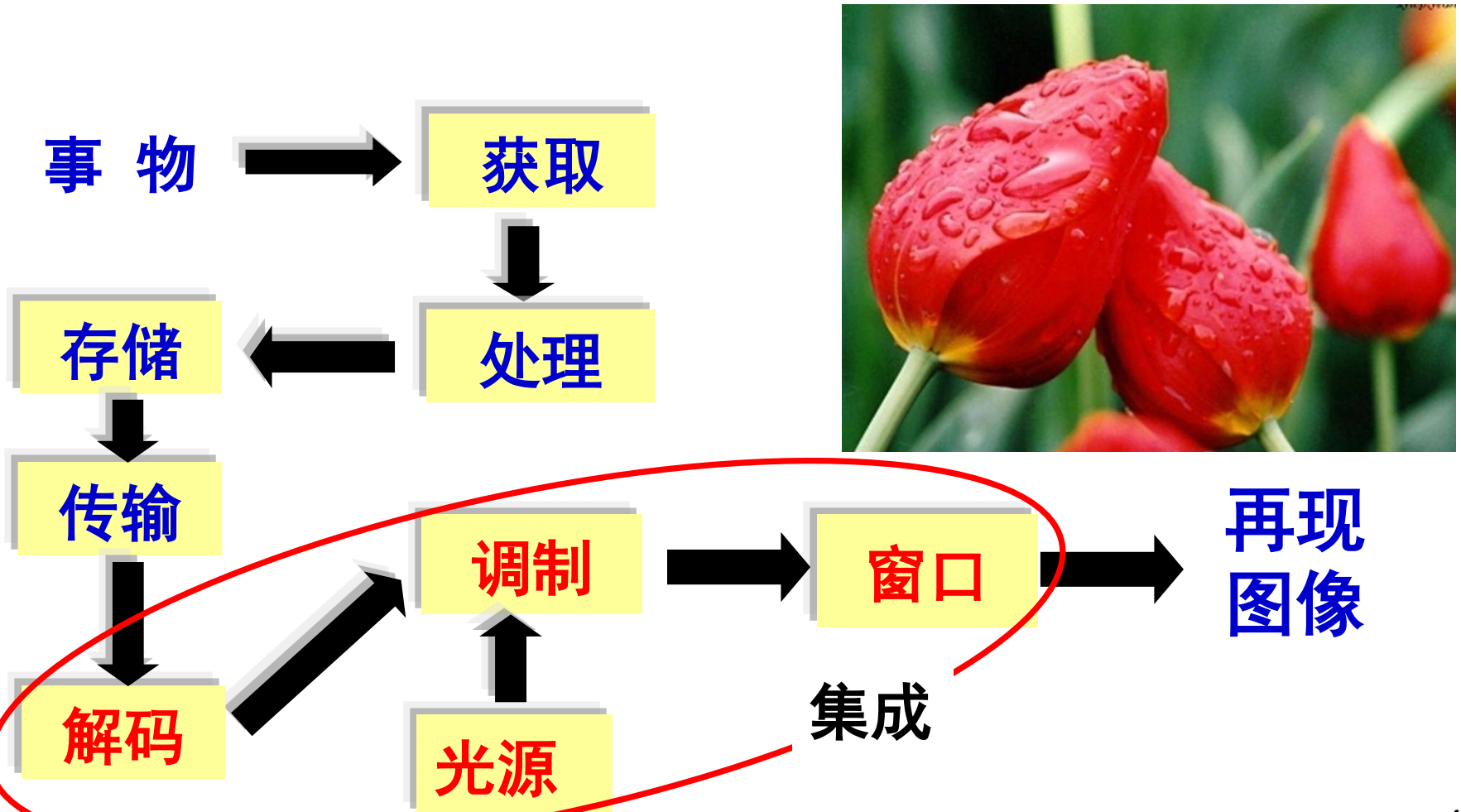


屏幕振动消相干电视机

例

四、激光显示产业发展路线图

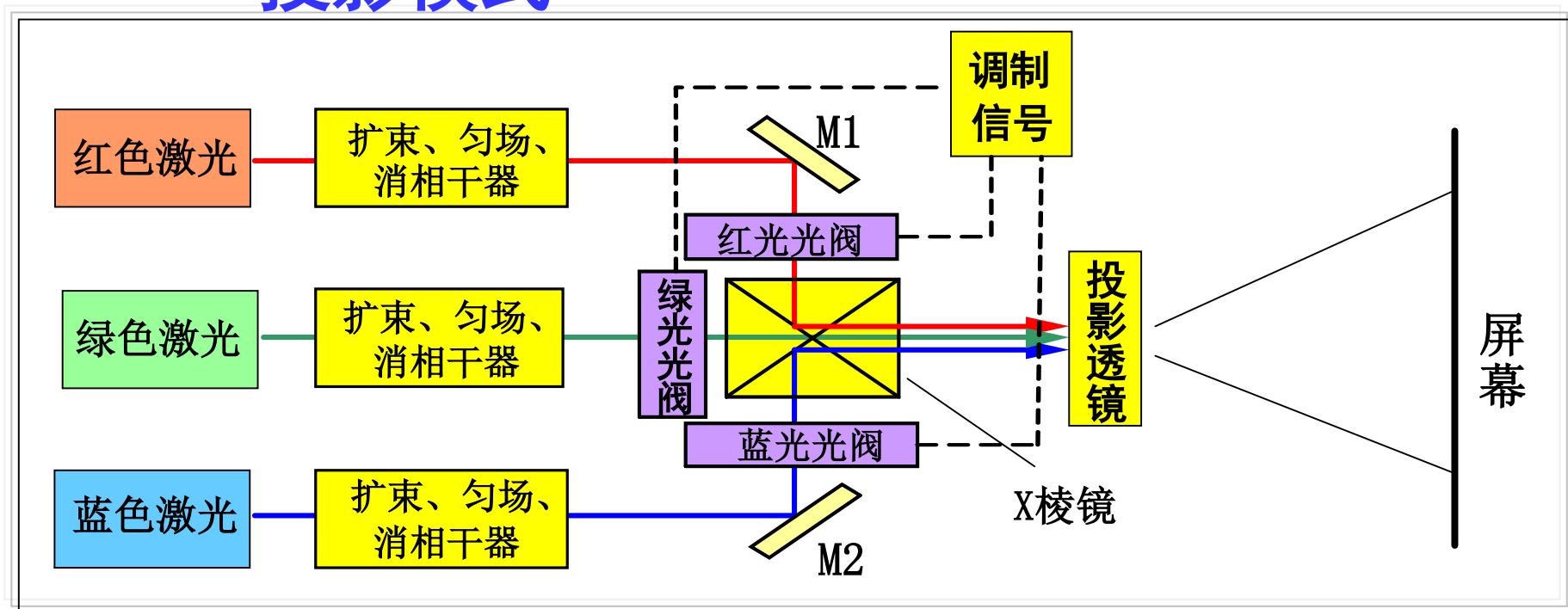
激光显示器总体技术集成



四、激光显示产业发展路线图

激光显示类型

● 投影模式



▲ 屏幕大小灵活

▲ 可无缝拼接超大屏幕

□ 技术基本成熟

□ 无安全问题

四、激光显示产业发展路线图

激光显示类型

● 投影模式

背投式



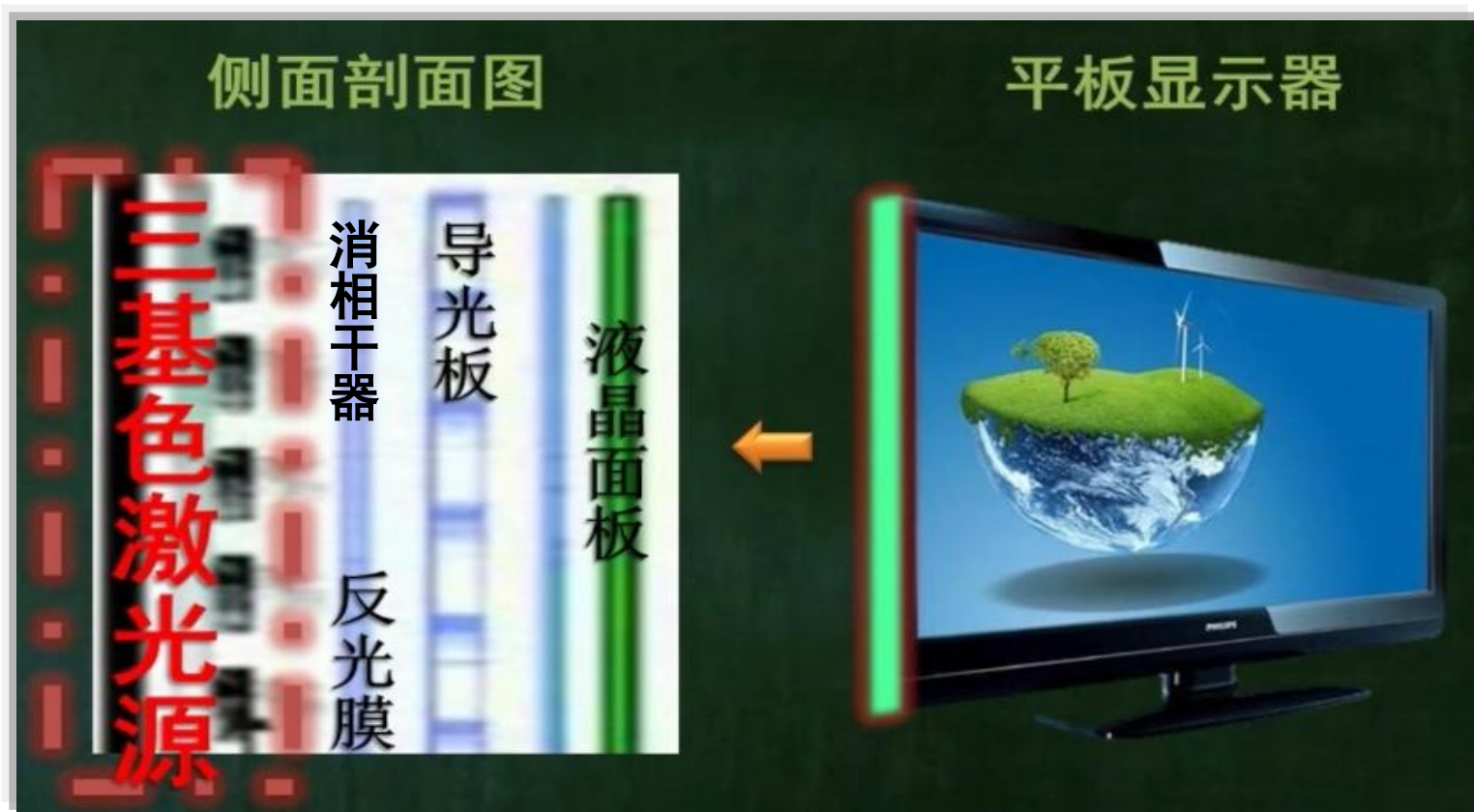
前投式



四、激光显示产业发展路线图

激光显示类型

● 平板模式



▲ 易与现有平板显示技术接轨发展大色域显示产业

四、激光显示产业发展路线图

激光显示类型

●扫描模式

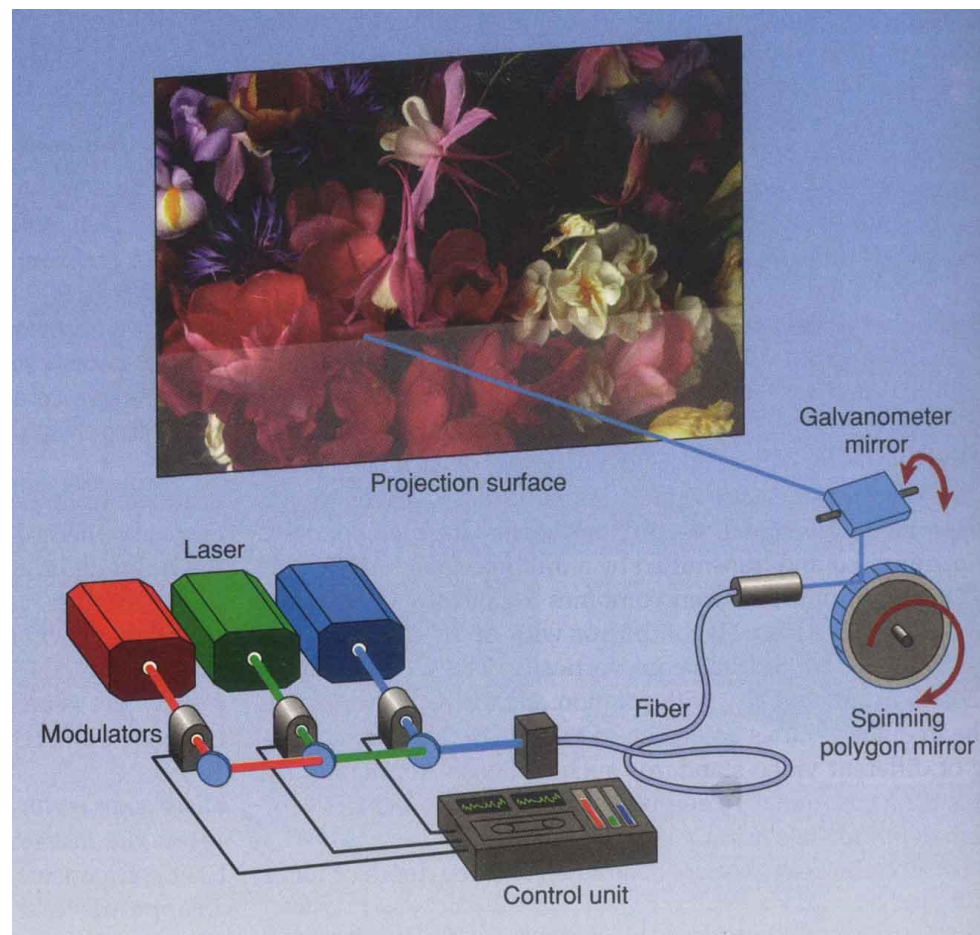
- 可投射非平面屏幕
- 高分辨率、大屏幕、特殊屏幕

□ 技术尚待发展

扫描、调制

□ 可能有安全问题

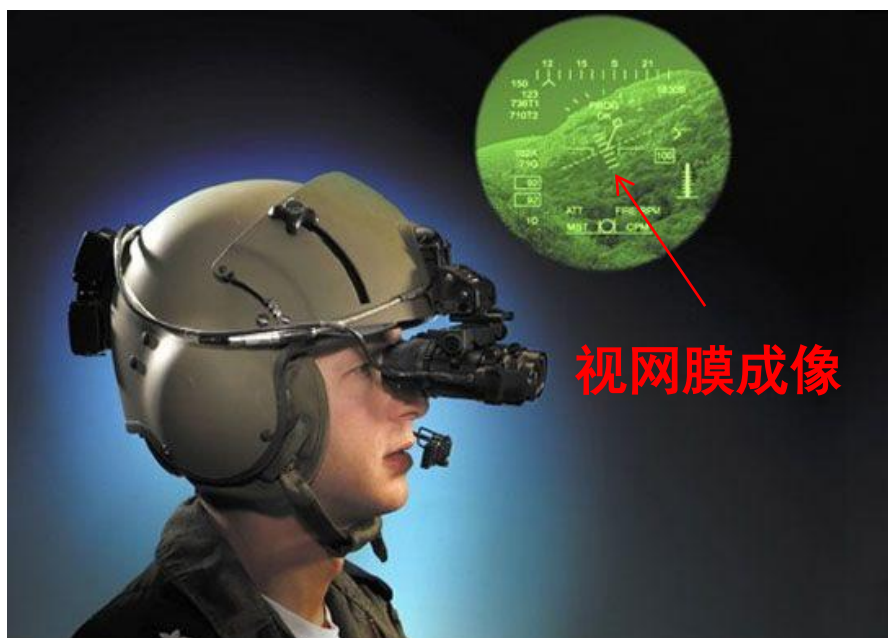
不是主要发展方向



四、激光显示产业发展路线图

激光显示类型

- **头盔模式**——以人眼视网膜为屏幕的微型投影显示



- ▲ 通过多色眼镜，可同时观看视频信息和前方实景
- ▲ 易实现视差三维显示

- 技术基本成熟
- 无安全问题

五、展望

激光显示六大市场

超大屏幕/大屏幕



家庭影院/电视



办公投影/微型投影



计算机屏幕/游戏机



手机投影/个性化显示



真3D显示



五、展望

激光显示将推动视觉革命的不断发展

■ 创新

➤ 发展方向：激光显示走向显示技术的最高境界——

4K线分辨率电视提高 3~5 倍，颜色数提高 500 倍，色域覆盖率提高 3 倍，视差三维变成真三维。

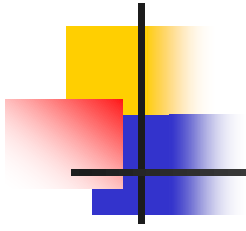
➤ 产业化：

应用半导体工艺，量产三基色LD，降低成本，提高性价比，让激光显示进入寻常百姓家， 开拓 **千亿美元/年**市场

■ 创意

➤ 激光显示优势的充分发挥和应用：

让高保真的激光显示不断满足人类最美好的视觉享受



谢

谢