

《高分子科学与材料概论》

光与聚合物

施文芳

中国科学技术大学
高分子科学与工程系



主要内容

- 一. 何谓辐射固化技术
- 二. 主要工业应用领域
- 三. 发展现状及其机遇
- 四. 当前热点研究课题

主要内容

- 一. 何谓辐射固化技术
- 二. 主要工业应用领域
- 三. 发展现状及其机遇
- 四. 当前热点研究课题

紫外光 (UV)

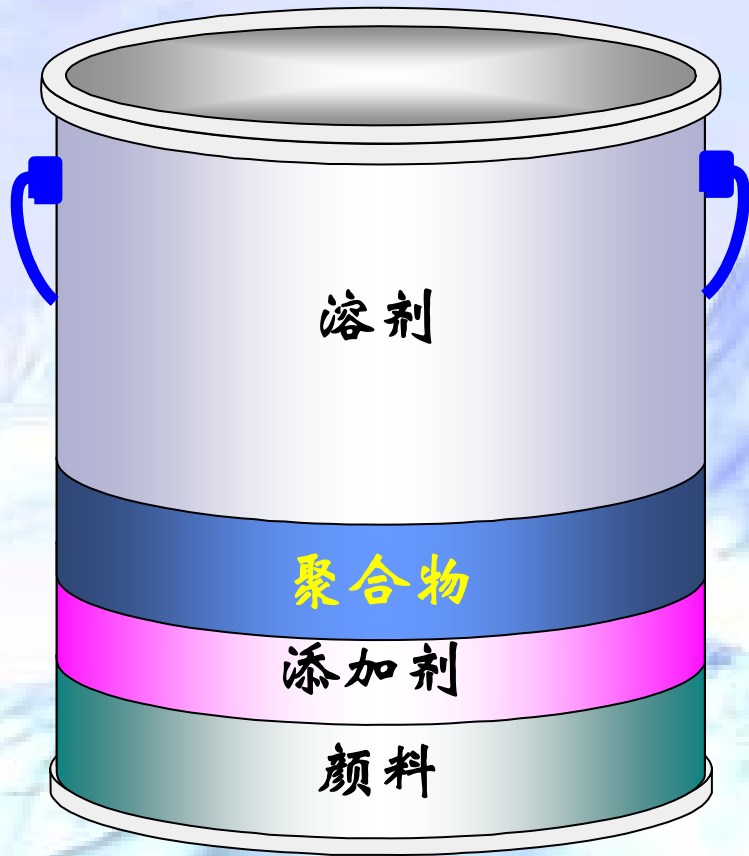
何谓辐射固化

电子束 (EB)

所谓UV固化：UV固化即以UV灯为辐射源，辐照添加有光引发剂的液体配方，光引发剂吸收UV光量子引发化学反应，瞬时将液体树脂配方转变成固体薄膜。在大多数情形下，固化反应在0.1~10秒中完成。

所谓EB固化：即通过加速器产生的高速电子的作用，使树脂体系快速固化。它不需要外加光引发剂产生自由基，而是直接作用于活性树脂；通常在几个毫秒内完成固化过程。

UV固化与热固化的区别

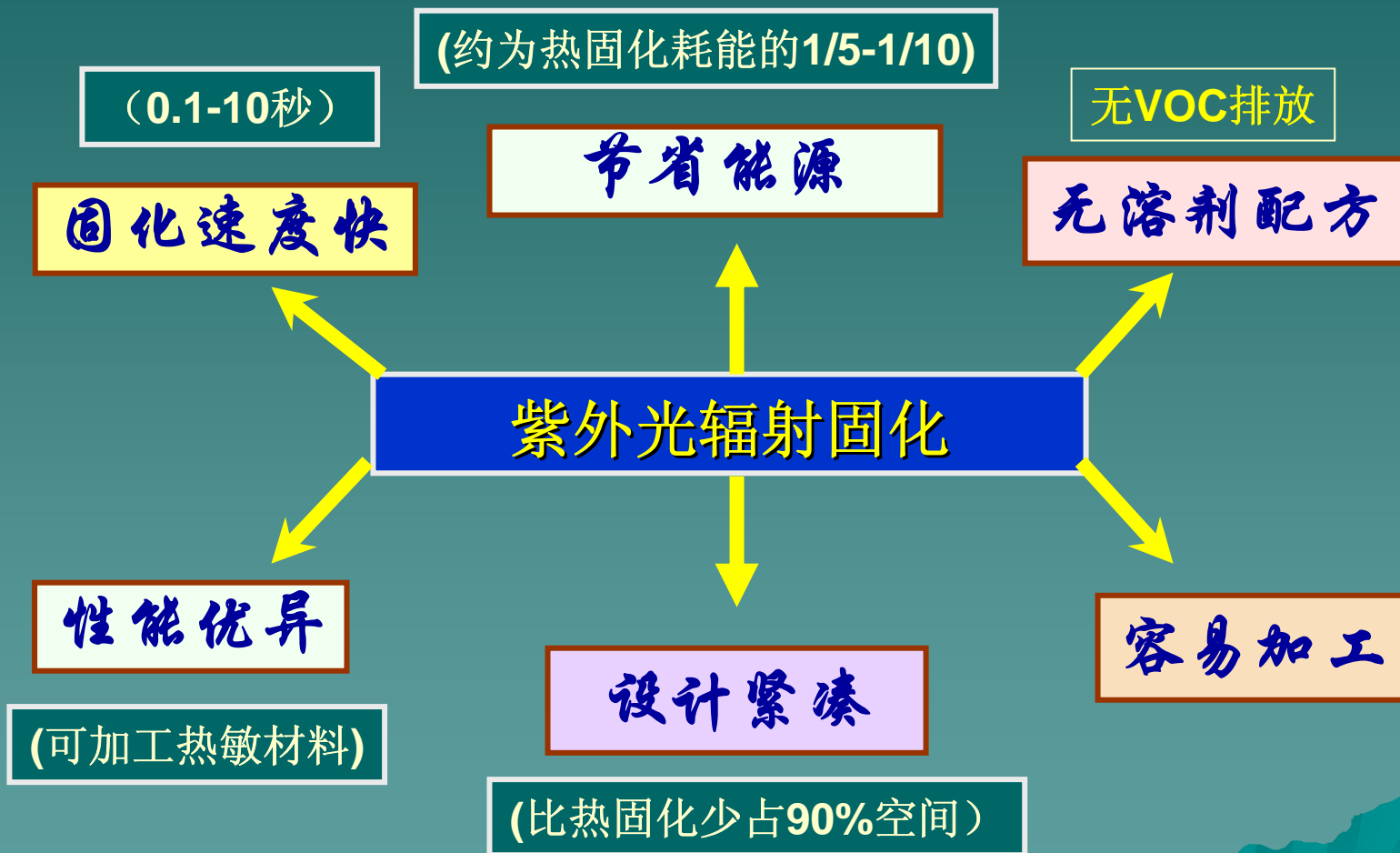


溶剂基油墨



UV油墨

UV固化技术特点



UV固化技术特点

光聚合技术的5E特性:

Ecological

Energy saving

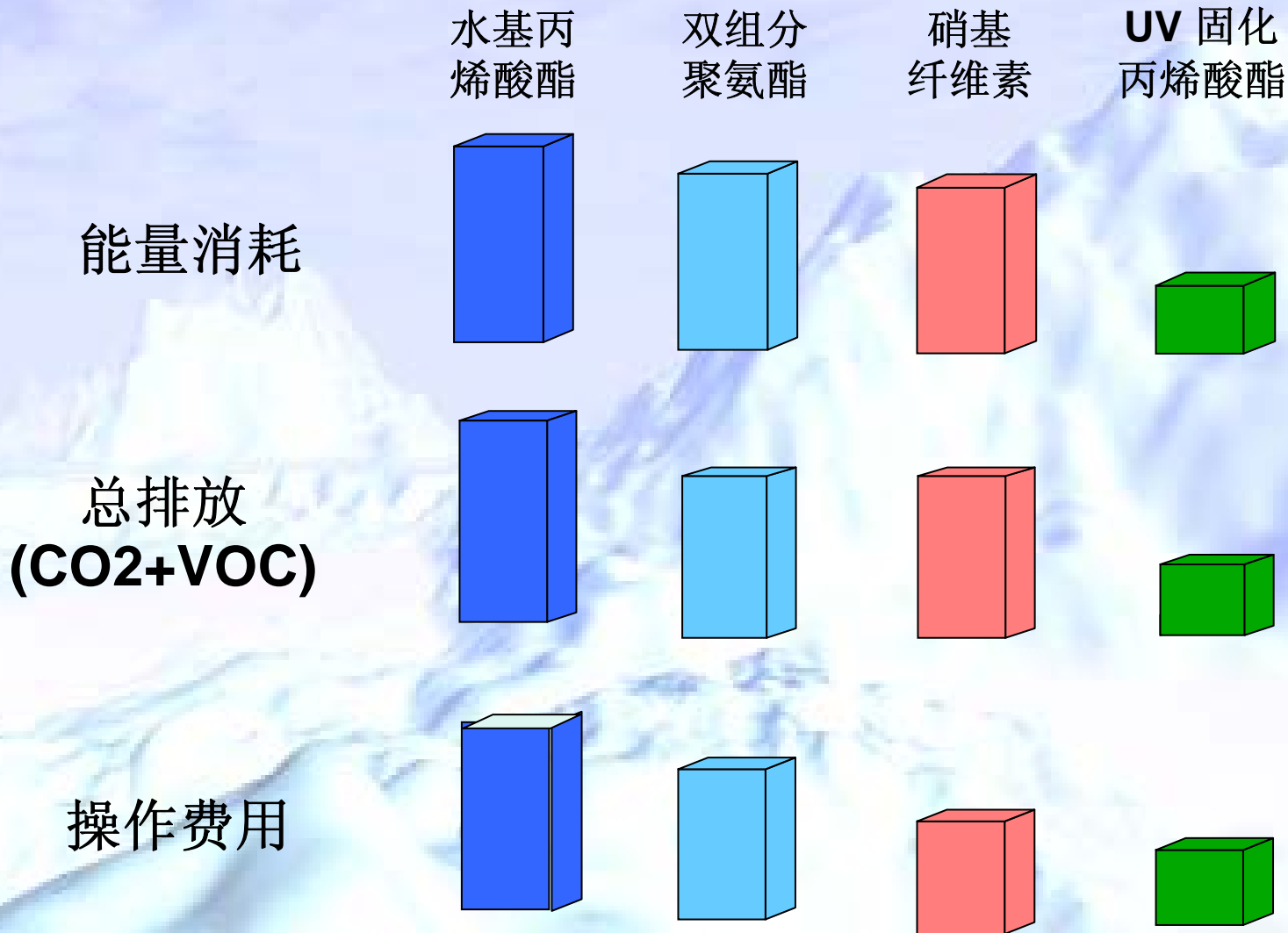
Economic

Easy operation

Excellent finishing

- 生态平衡
- 能耗低
- ✓ 经济效率高
- 设备容易操作
- ✓ 产品性能优异

木材各种涂层费用比较



K. Menzel, P. Saling (BASF) RadTech News, Sept. 2002, p.3

各国对VOC的限制法规

欧盟

以德国条例为准，涂装面积的VOC
排出量在 $35\text{g}/\text{m}^2$ 以下。

北美

经换算VOC限制值：原有设备低于
 $50\text{g}/\text{m}^2$ ，新建设备低于 $<35\text{g}/\text{m}^2$ 。

日本

2010年，原有设备700ppm碳，新设
备400ppm碳以下（下降30%）。

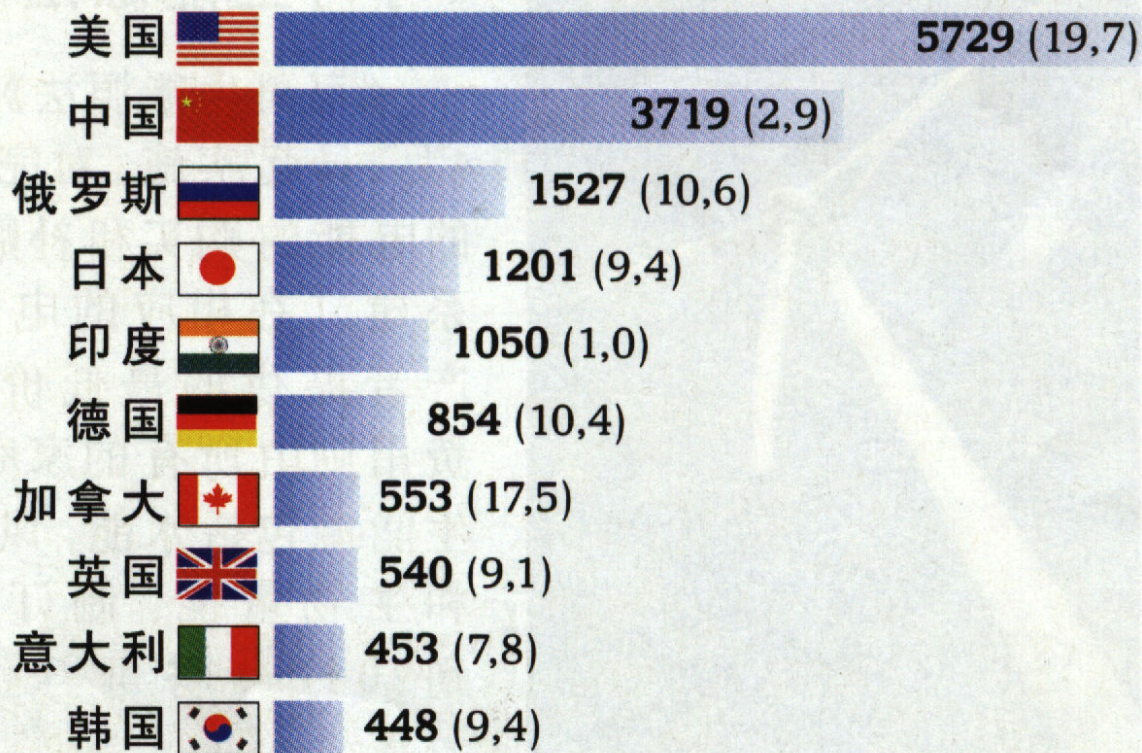
中国

《中华人民共和国清洁生产促进法》
(2003.1.1) 未作具体限制。

- ◆ 国家发改委、科技部和商务部2004年第26号公告：近期产业化的重点是大力发展高效节能和环境友好材料。

全世界VOC排放量统计 (2006)

单位: 100万吨 (括号中为人均排放量, 单位: 吨)



资料来源: IEA

- 27个国家应共同将其二氧化碳排放量较1990年减少20%。
- 据德国在一份政府声明中称, 到2010年, 为此追加的预算资金将高达30亿欧元。德国1997年提出的2012年欧盟目标, 即减少二氧化碳排放量8个百分点。

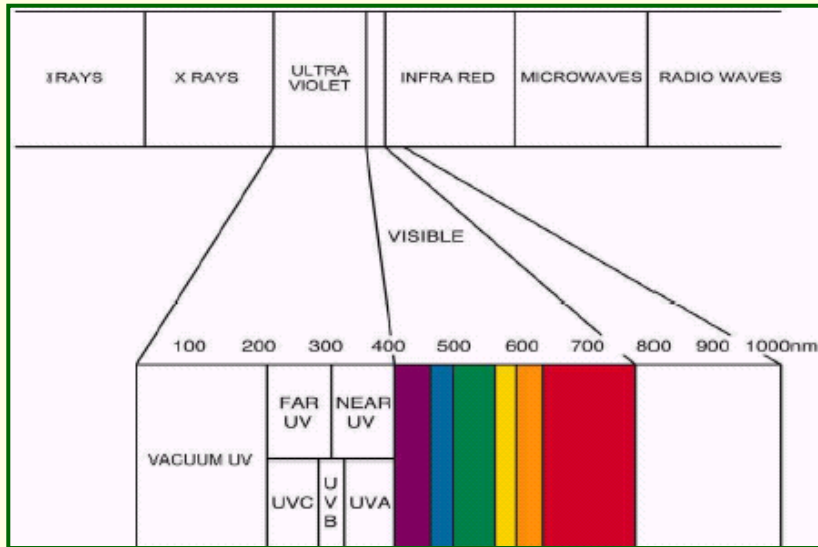
UV固化技术发展过程

- ◆ 1946年，美国Inmout公司获UP/苯乙烯UV固化油墨第一个专利；
- ◆ 50年代初期，大量理论性研究文章的发表；
- ◆ 60年代初期，进入商业化应用；（德国首先生产不饱和聚酯为基的木板填料，UV灯功率密度为30w/cm，线速度为10米/分钟（3个以上灯管同时辐照）；现在UV固化在印刷业中的线速度达到50-400米/分钟。
- ◆ 70年代初期，丙烯酸酯固化体系进入工业化应用，UV灯功率提高到80w/cm以及采用有效的反射镜，克服了氧阻聚的问题；
- ◆ 80年代，仅仅在发达国家和地区得到发展和应用（1986年，美国建立了2400多条UV固化生产线，5.5万人从事此工作；
- ◆ 90年代以后，逐渐发展到世界上多数国家；
- ◆ 80-90年代间，全世界经历了一个迅猛发展阶段，年增长率达20%。

中国辐射固化技术的发展历史

1. 紫外光及其紫外辐照源

紫外光是波长为40-400 nm 的光。



真空紫外 < 200 nm

中紫外 200-300 nm

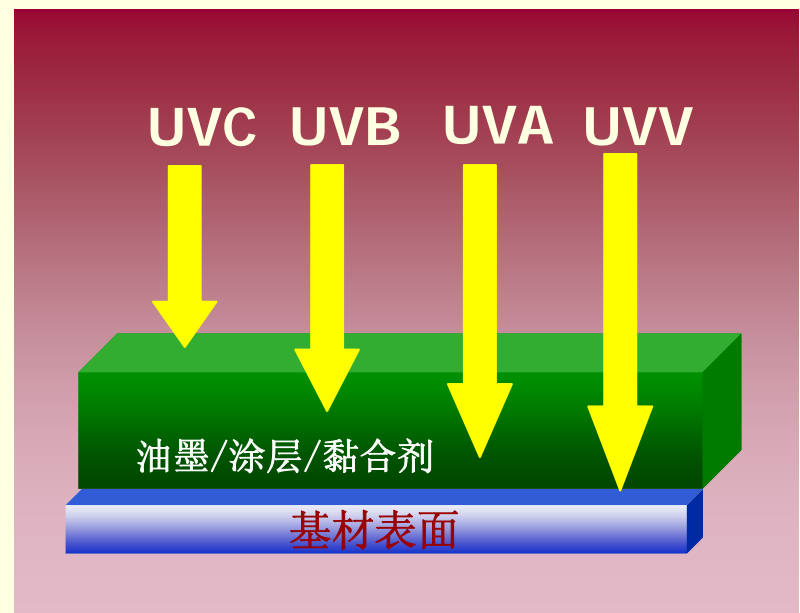
近紫外 300-400 nm

1970年将中紫外和近紫外区的紫外光 (UV) 分为:

UV A 315-400 nm

UV B 280-315 nm

UV C 200-280 nm



(1) 中压汞弧灯



中压汞灯

灯中的汞蒸气压:

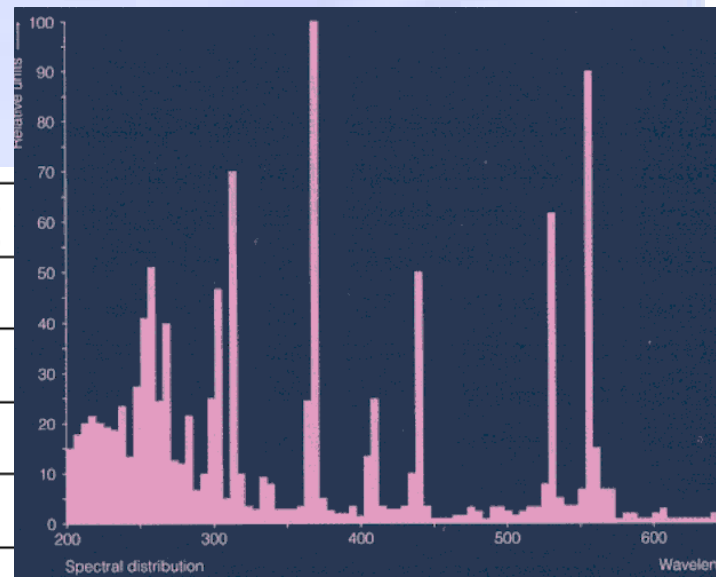
10^5 Pa/1大气压

主要发射波长:

365nm, 313nm、303nm

使用寿命: 1000 ~1500 小时

波长 / nm	相对强度	波长 / nm	相对强度
222.4	14.0	296.7	16.6
232.0	8.0	302.2-302.8	23.9
236.0	6.0	312.6-313.2	49.9
238.0	8.6	334.1	9.3
240.0	7.3	365.0-366.3	100.0
248.2	8.6	404.5-407.8	42.2
253.7	16.6	435.8	77.5
257.1	6.0	546.0	93.0
265.2-265.5	15.3	577.0-579.0	76.5
270.0	4.0	1014.0	40.6
275.3	2.7	1128.7	12.6
280.4	9.3	1367.3	15.3
289.4	6.0		





通用UV手表鞋业 UVA302-30



UV胶水光固化机 UVA503-50hsk

2003 8 16

木质家私地板 UVAX1304-100



www.RW.com.cn

UV-机器人

UV辐照箱



汽车表面处理

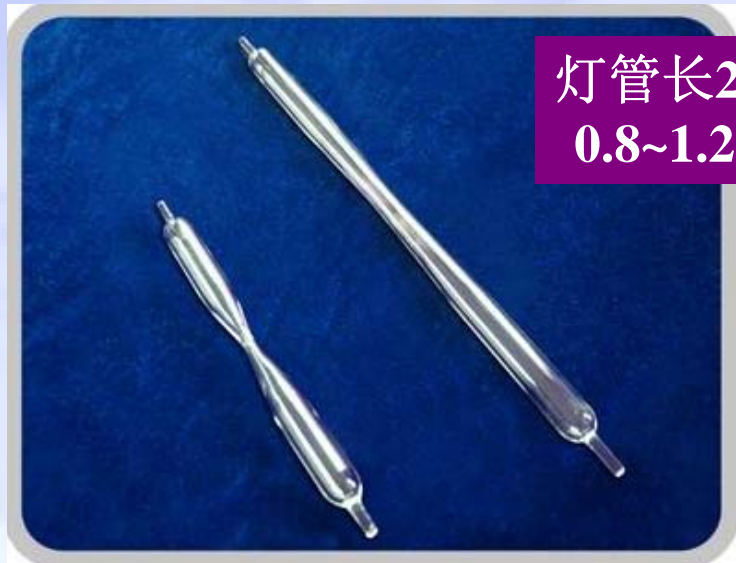


高压汞灯 （超高压汞灯）

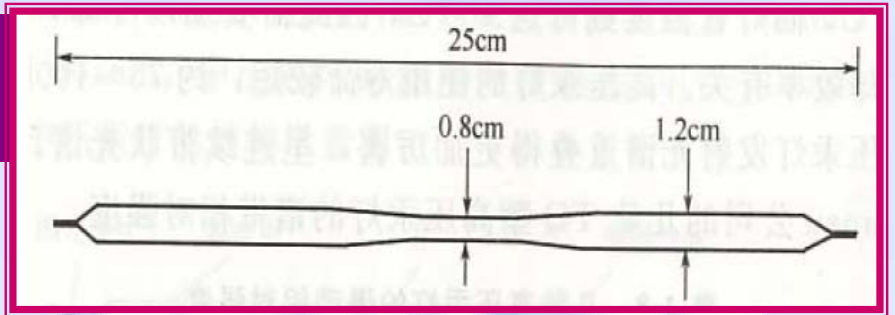
- 汞蒸气压力为 $10^5 \sim 10^6$ Pa，即1~10 大气压；
- 输出功率可达普通中压汞灯的十倍；
- 工作时其电极温度可达 2000°C ，而灯管温度则可达 600°C ；
- 使用寿命约75~100 小时；
- 超高压汞灯发射光谱重叠，呈连续带状光谱。

(2) 无极灯

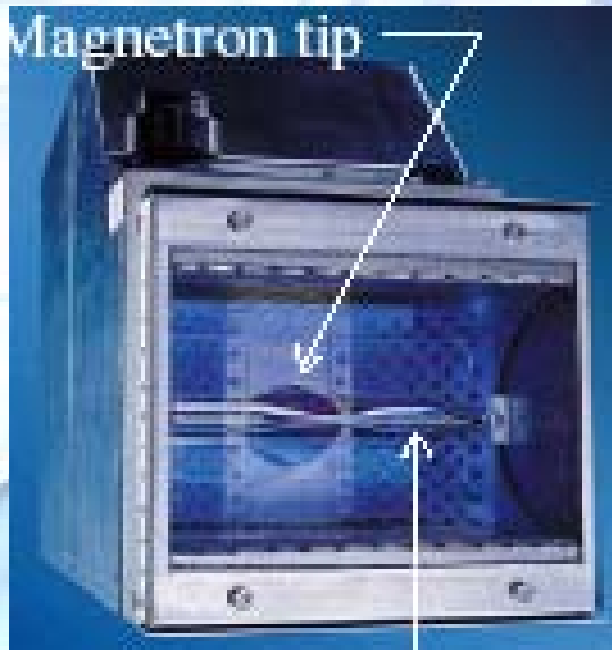
美国 Fusion 紫外灯管

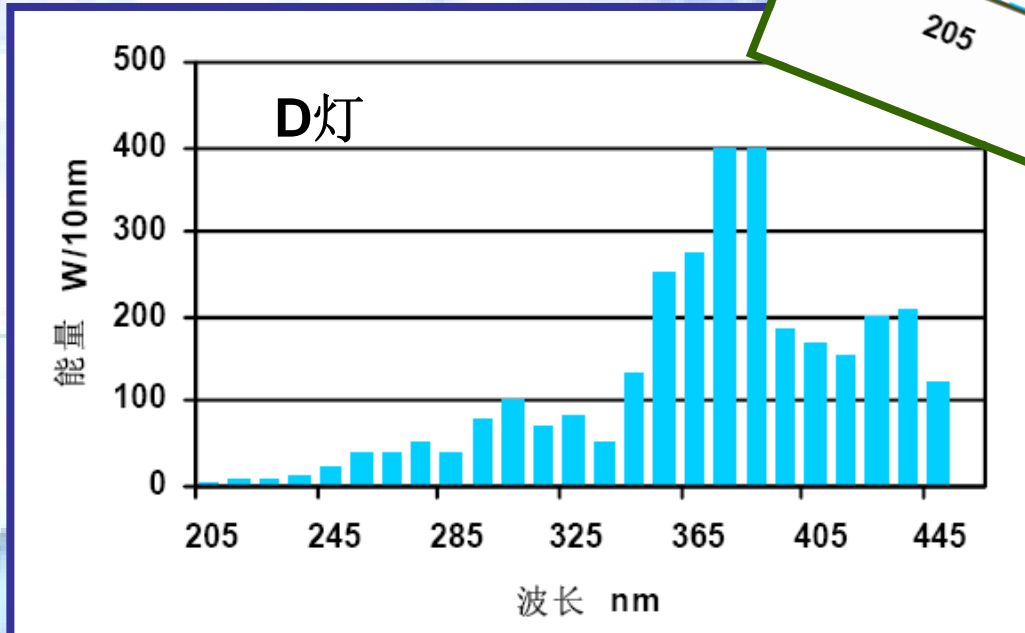
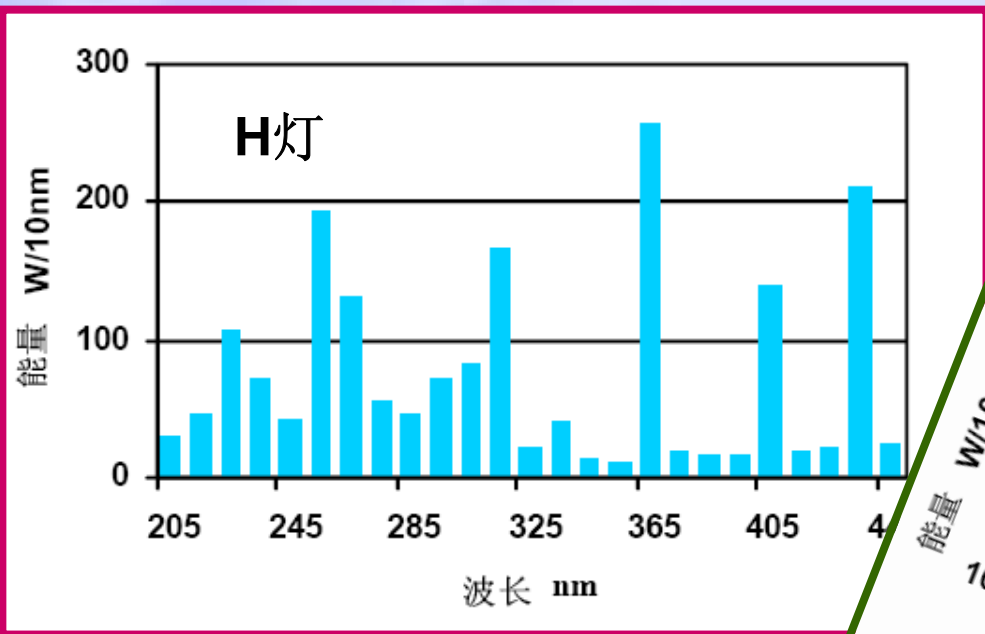


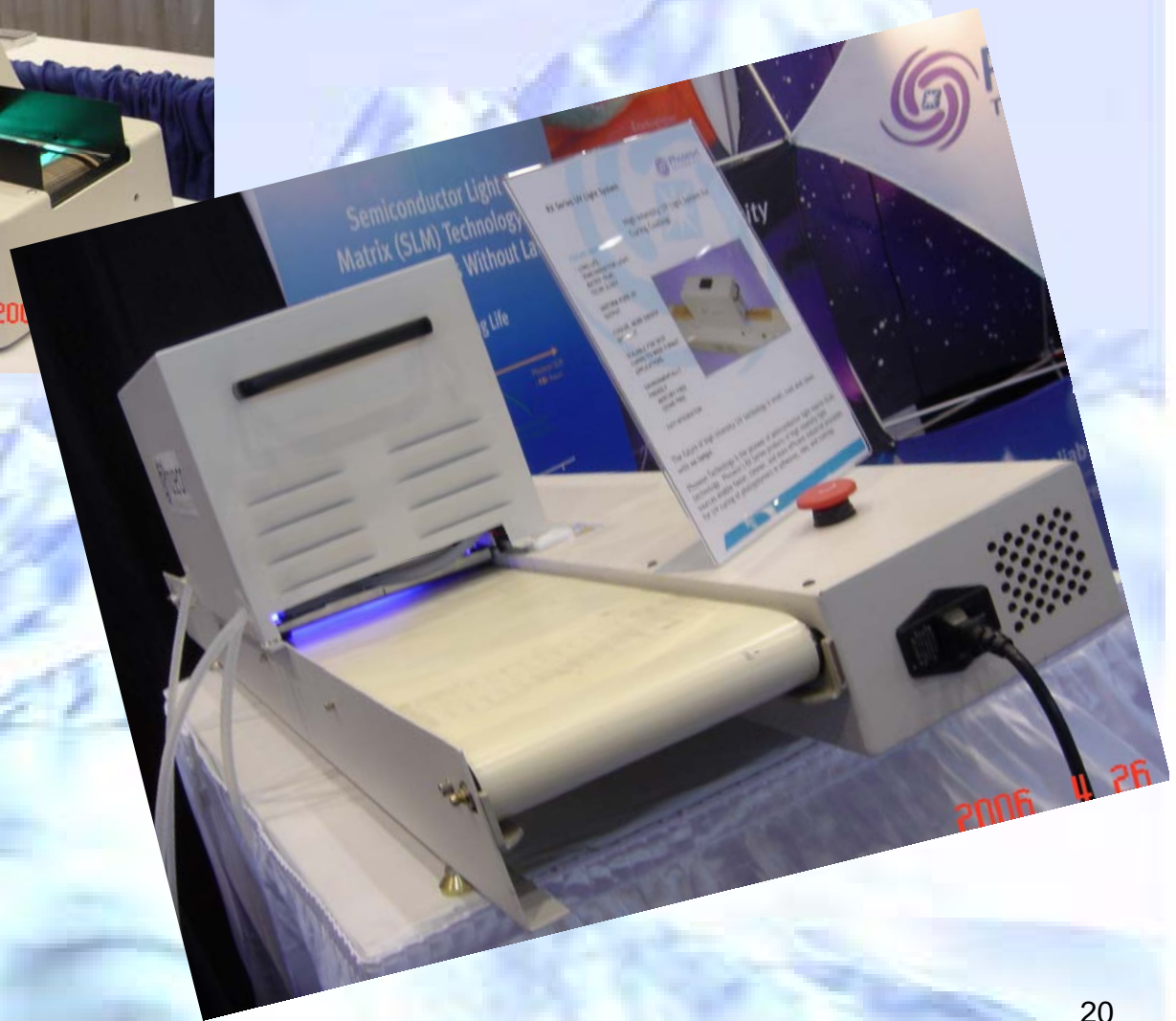
灯管长25cm
0.8~1.2 cm



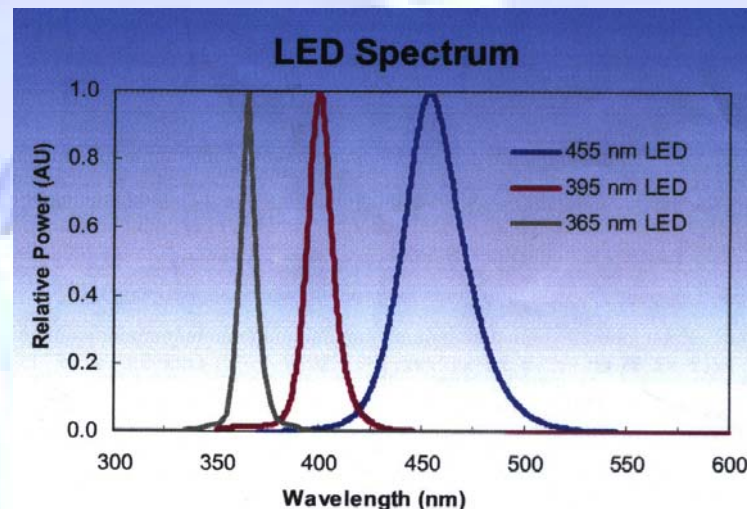
担保**6000**小时以上
功率最高可达**600W/inch**







(3) 发光二极管 (LED) UV-可见光源



Generation I LED Heads

Part Number	Wavelength (nm)	Optical Power* (mW)	Power Density* (mW/cm ²)
LH455AG01	450-460	4600	227
LH395AG01	390-410	3600	178
LH365AG01	360-370	1800	89

* Minimum output, typical results are higher.

发光二极管 (LED) UV-可见光源



The UV LED source
robot testing p
promise.



(4) 微波多灯UV 固化体系 (Quantum Technologies)



1. 多灯均匀激发（100 以上灯管）；
2. 汞灯长96” 或更长；可以即时开关；
3. 石英或玻璃制成，可加入磷，作为荧光UV灯；
4. 灯管寿命100,000小时；
5. 可在灯管内部安装反射罩；
6. 相比FUSION，汞弧灯和荧光UV灯便宜；
7. 用于汽车、飞机、3D 物品 (家具), 以及建筑工业和电子产品。

2. 電子加速器辐照源



Conventional

Mini-EB

従来型EB

Mini-EB

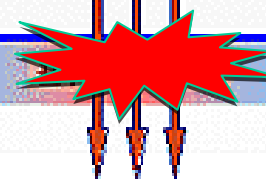


>100keV

25-100 keV

薄膜層
(~数十 μm)

膜ダメージ (基材)



中国第一台低能高密度EB装置

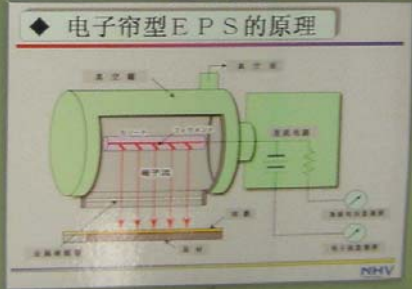
Curetron



高分子

NHV Corporation

操作員姓名

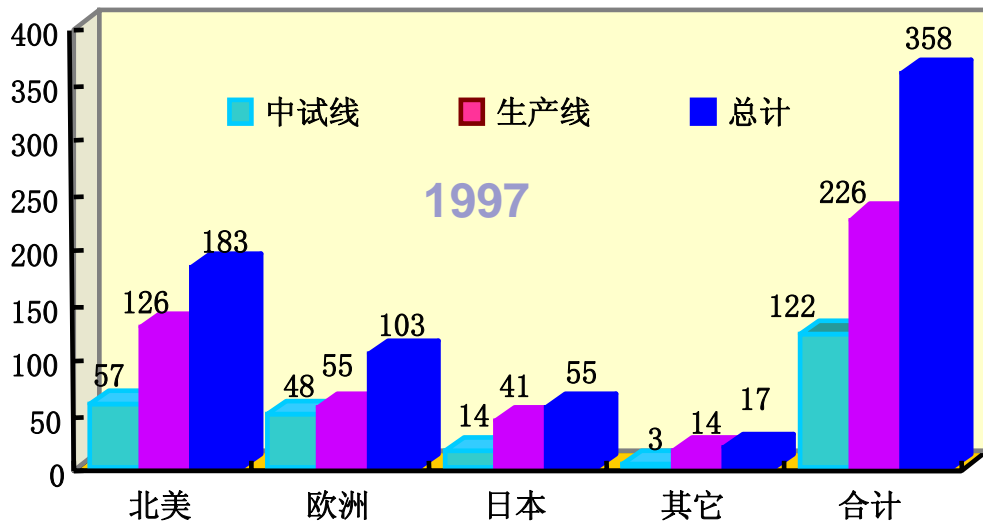
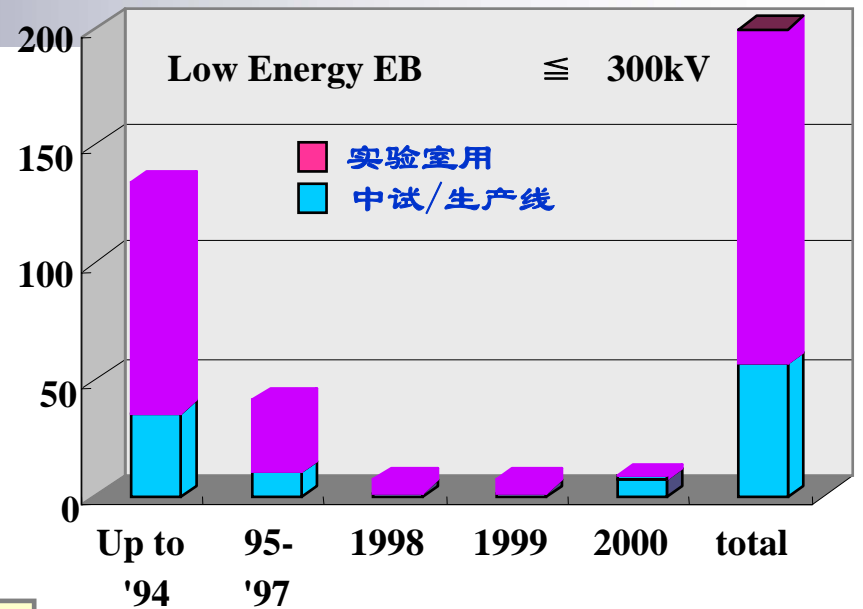


NHV Corporation

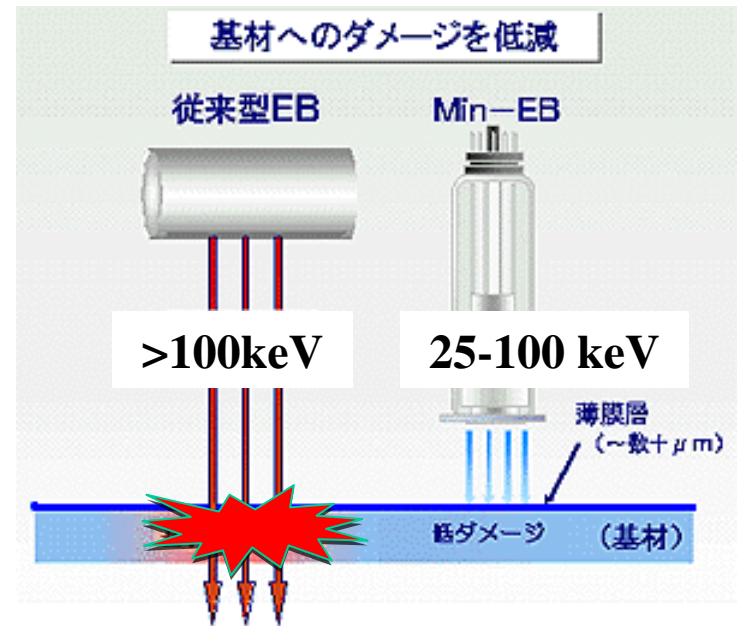
2006 9 7

- 欧洲每年增加10~20条EB生产线
- 美国100多条EB油墨印刷生产线

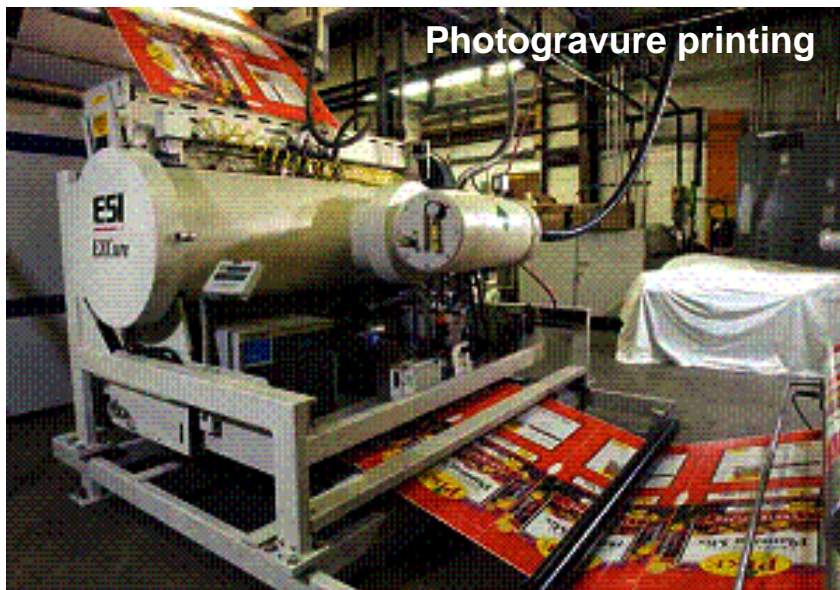
食品包装 电子产品
 彩色印刷 航天航空
 汽车制造 钢铁材料



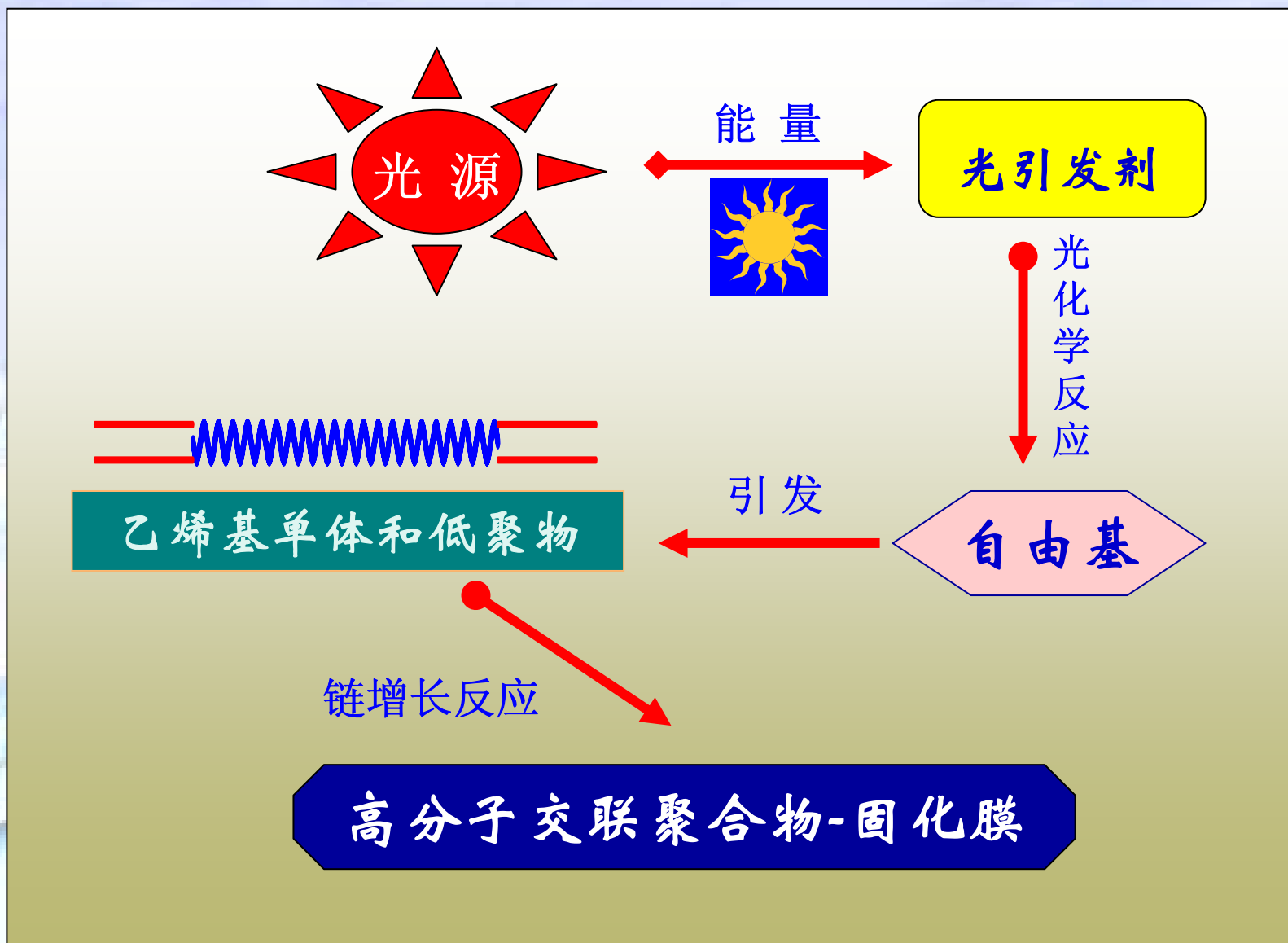
To avoid the damage at the surface of the substrate



电子束固化生产线



3. 紫外固化基本反应机理



光聚合反应机理

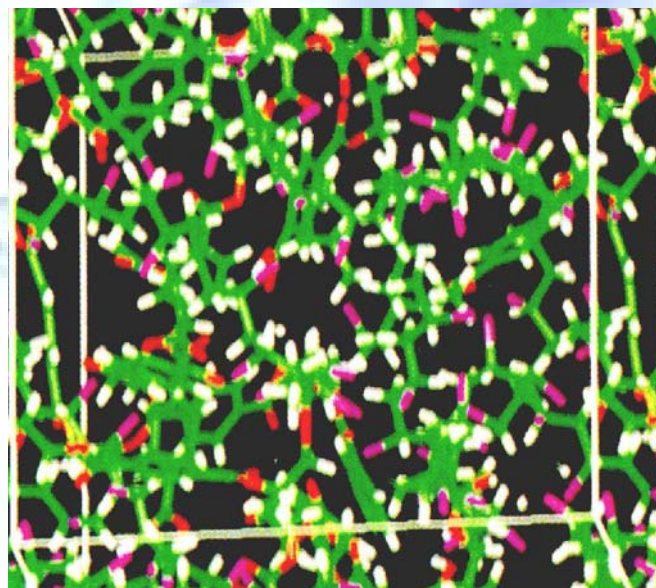
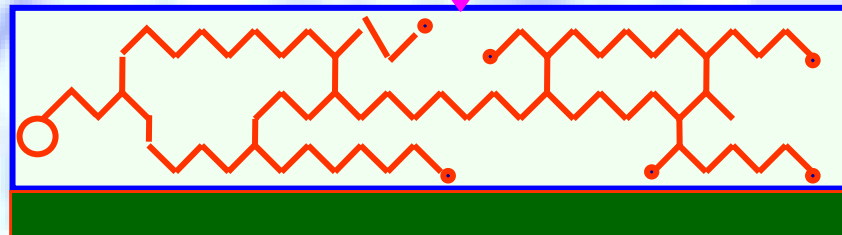
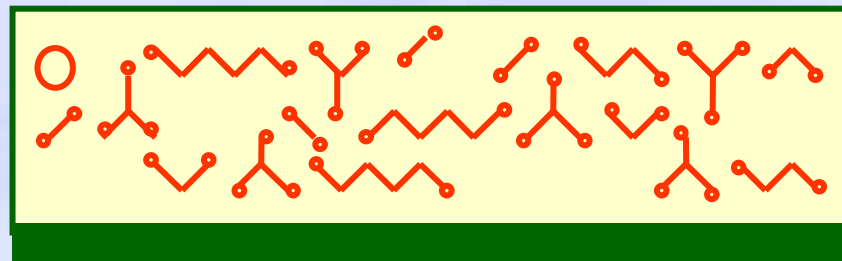
Initiation



Propagation



Termination




树脂成膜方式

✦ 溶剂挥发和热熔：分子量不变

✦ 化学成膜方法

化学成膜：先将可溶的（或可熔的）低分子量的聚合物涂覆在基材表面以后，在加温或其它条件下，分子间发生反应而使分子量进一步增加或发生交联而形成坚韧的薄膜。

感光树脂组成

- 反应性低聚物
 - 反应性单体
 - 光引发剂
 - 添加剂：链转移剂、还原剂、光或热稳定剂、增塑剂、增色剂、氧抑制剂或自由基辅捉剂 (500-1000 ppm)
- 成膜物
- 
- The diagram shows a list of four components on the left, with a large pink arrow pointing from the first two items to the text '成膜物' (Film-forming material) on the right. The components are: 反应性低聚物 (Reactive oligomers), 反应性单体 (Reactive monomers), 光引发剂 (Photoinitiator), and 添加剂 (Additives). The additives are further specified as: 链转移剂 (Chain transfer agents), 还原剂 (Reducing agents), 光或热稳定剂 (Light or heat stabilizers), 增塑剂 (Plasticizers), 增色剂 (Colorants), 氧抑制剂 (Oxygen inhibitors), and 自由基辅捉剂 (Radical scavengers) at a concentration of 500-1000 ppm.

(1) 紫外光引发剂

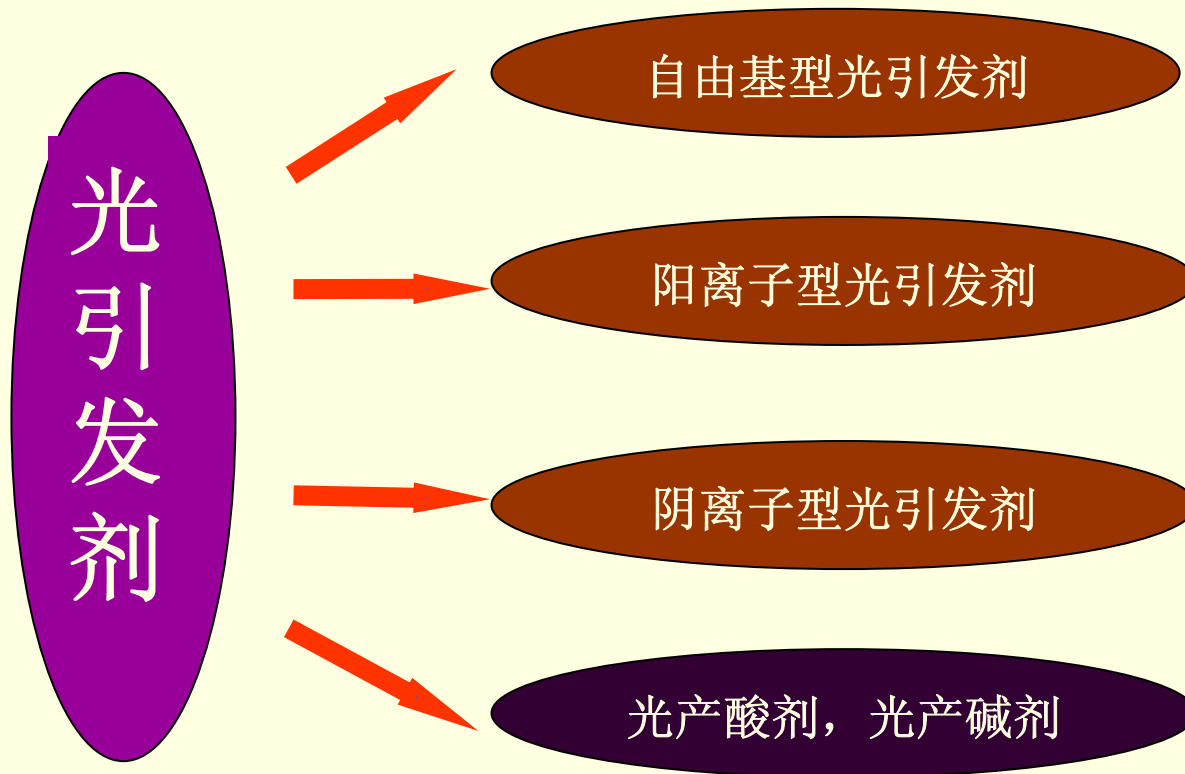
光引发剂 (photoinitiator, PI) :

是光固化体系的关键组分，它关系到配方体系在光辐照时，低聚物及活性稀释剂能否迅速交联固化。

作用特点：

引发剂分子在紫外光区间 (250-420nm) 或可见光区间 (400-800nm) 有一定吸光能力，在直接或间接吸收光能后，引发剂分子从基态跃迁到活泼的激发单线态，还可继续经系间窜跃，跃迁至激发三线态，经历单分子或双分子化学作用后，产生能够引发单体聚合的活性碎片，可以是自由基、阳离子、阴离子或离子自由基。

光引发剂的分类

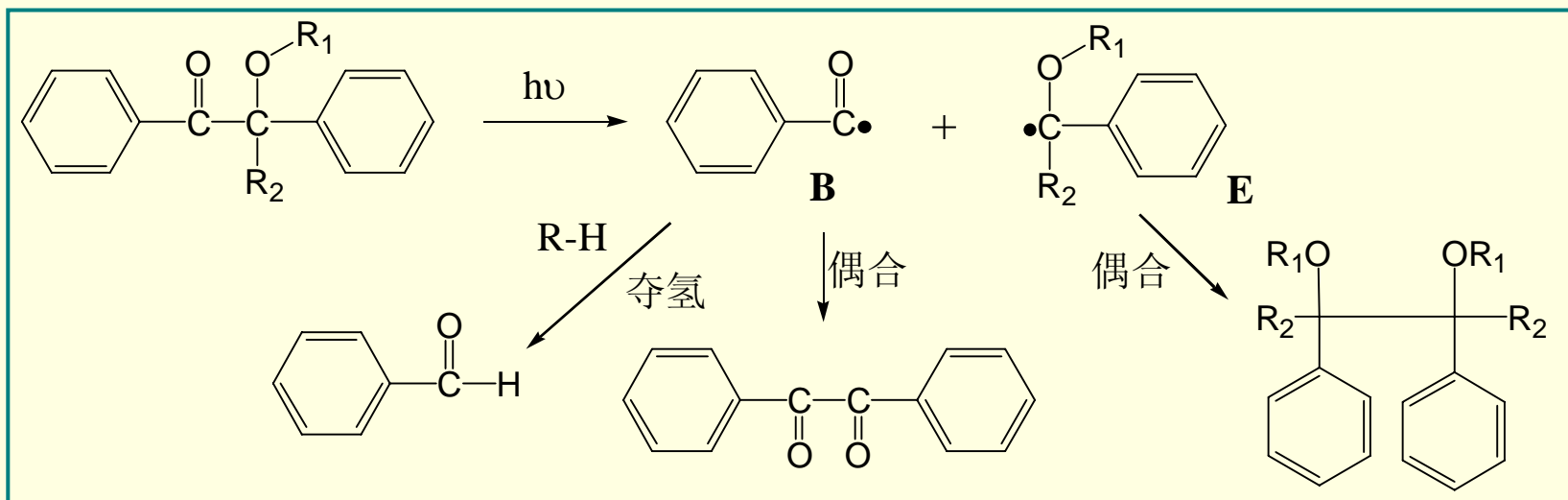


按作用机理：

主要分为两大类：裂解型光引发剂，也称I型光引发剂；夺氢型光引发剂，又称II型光引发剂。

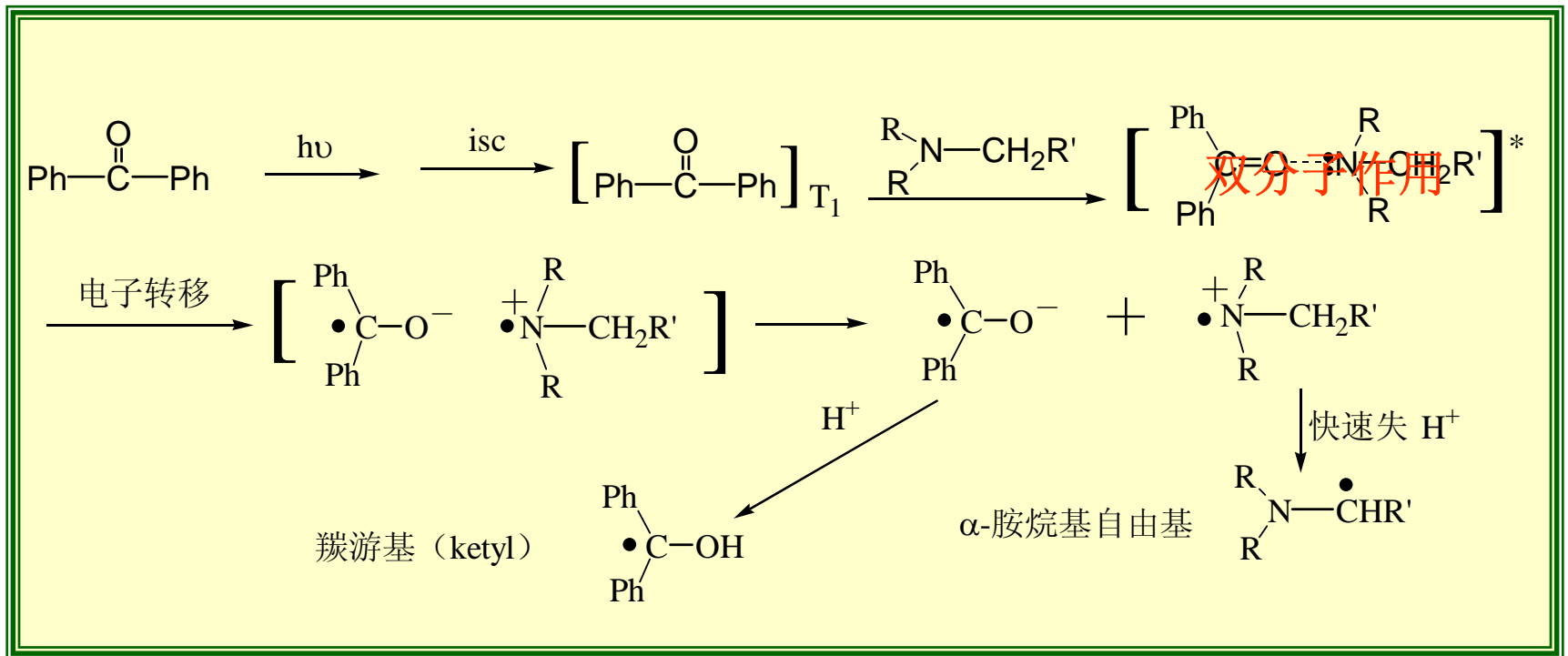
裂解型

光引发剂1-羟基-环己基苯酮（HCPK，商品名Irgacure 184），光解反应：



夺氢型光引发剂以芳香酮结构为主，包括稠环芳烃，它们具有一定吸光性能，而与之匹配的助引发剂，即氢供体，本身在常用长波紫外光范围内无吸收。夺氢型光引发剂吸收光能，在激发态与助引发剂发生双分子作用，产生活性自由基。叔胺是常用的助引发剂，以二苯甲酮为例。

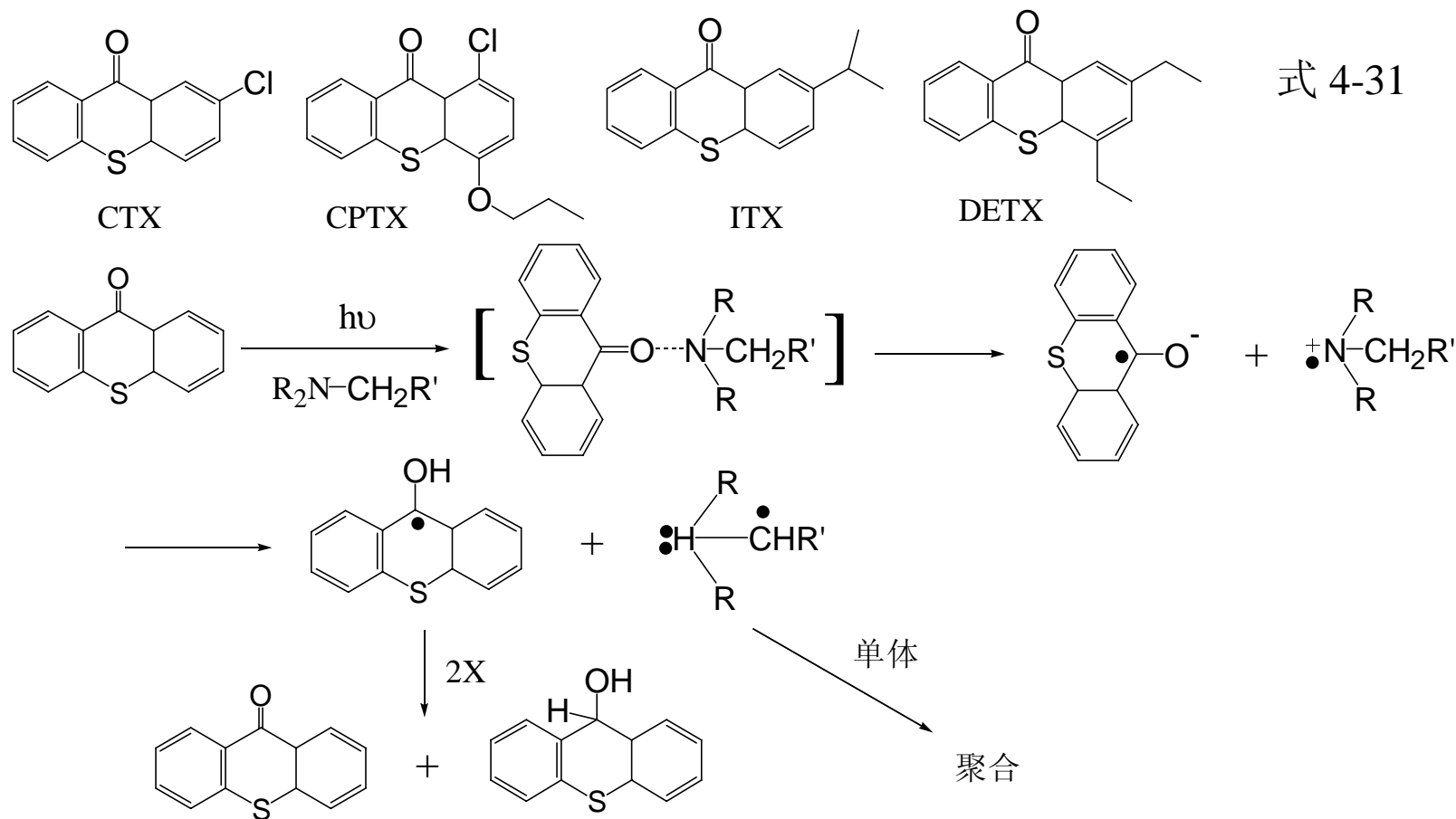
以芳香酮结构为主



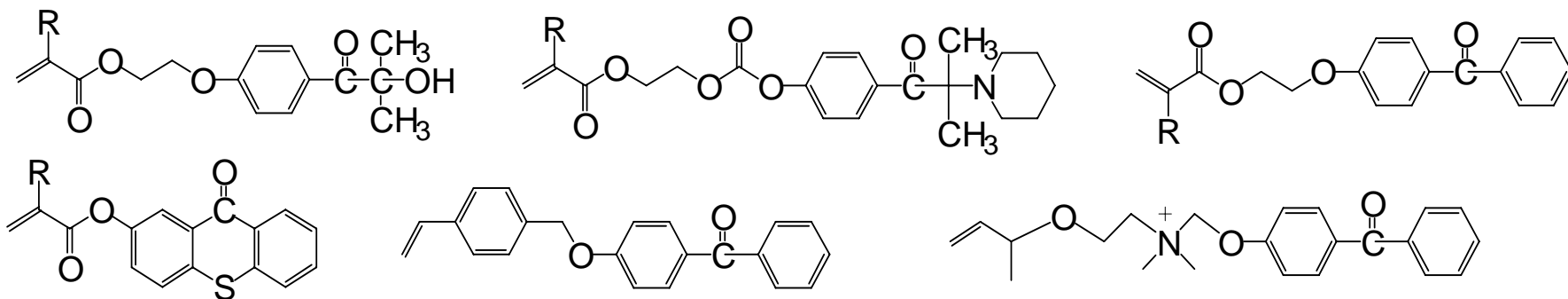
形成的胺衍生物自由基也能引发反应，同时生成酮自由基结构不引发聚合反应。

硫杂蒽酮/叔胺光引发体系

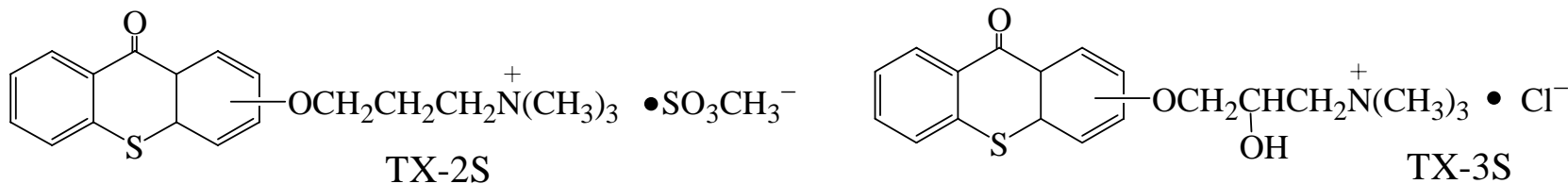
硫杂蒽酮同样作为夺氢型光引发剂，其最大吸收波长可达380-420纳米，相应的消光系数也较高，约为 10^2 数量级，可充分利用光源365纳米和405纳米发射线，比二苯甲酮有效得多。



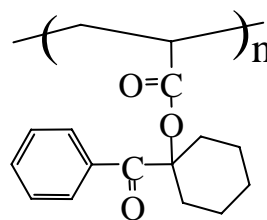
可聚合的光引发剂



水性光引发剂



大分子化光引发剂

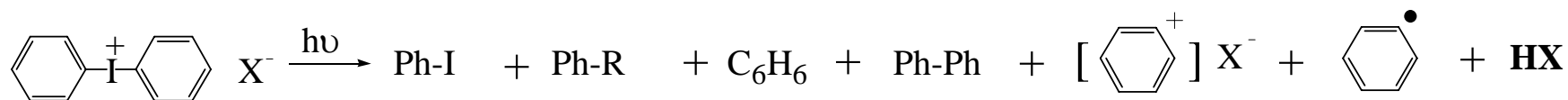


HCPK-1

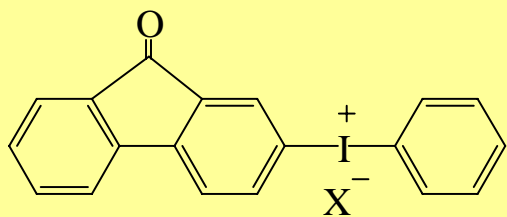
阳离子型光引发剂与阳离子光引发聚合

阳离子光引发聚合一般作用原理

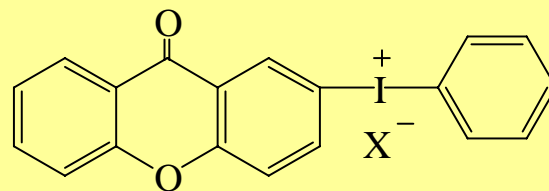
包括重氮盐、二芳基碘鎓盐、三芳基硫鎓盐、烷基硫鎓盐、铁芳烃盐、磺酰氧基酮及三芳基硅氧醚。它的基本作用特点是光激发光引发剂到激发态，分子发生系列分解反应，最终产生超强质子酸（也叫布朗斯特酸Brönsted acid）或路易斯酸(Lewis acid)，之所以称为超强酸，是因为与酸中心配对的阴离子亲核性非常弱，酸中心束缚很小。



二芳基碘鎗盐光引发剂

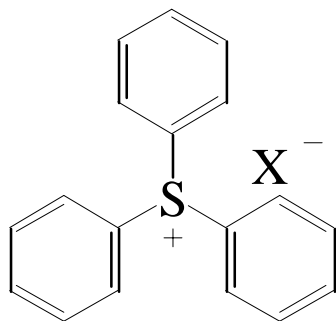


296nm与 366nm吸收峰

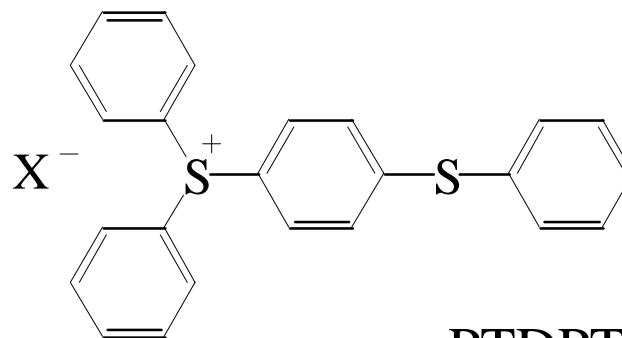


335nm 最大吸收峰

三芳基硫鎗盐光引发剂



三苯基硫鎗盐



PTDPT

(2) 多官能团单体 (活性稀释剂)

定义：能够参与固化成膜反应的稀释剂。

种类：

- 按官能团数目分：单官能团活性稀释剂、双官能团活性稀释剂、多官能团活性稀释剂；
- 按官能团种类分：（甲基）丙烯酸酯类、乙烯基类、乙烯基醚类、环氧类；
- 按固化机理分：自由基型、阳离子型；

(甲基)丙烯酸酯类

1, 6己二醇二丙烯酸酯 (HDDA)

甲基丙烯酸- β -羟乙酯 (HEMA)

乙烯基类

苯乙烯 (St), N-乙基吡咯烷酮

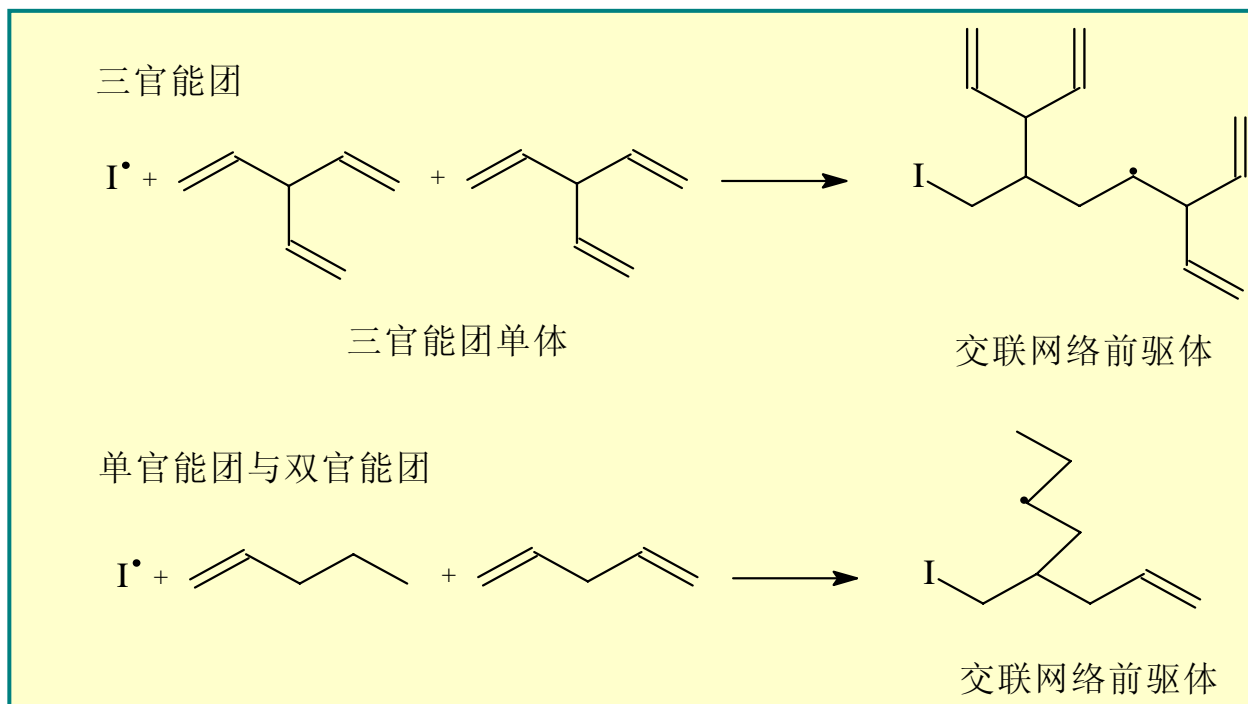
乙烯基醚类

羟丁基乙烯基醚 (HBVE)

二缩乙二醇二乙烯基醚 (DVE-3)

环氧类

苯基缩水甘油醚 (PGE)



(3) 低聚物(预聚物)

低聚物(oligomer), 也称为预聚物 (寡聚物) (prepolymer)。

低聚物是配方的基体树脂, 构成产品的基本骨架, 决定产品的基本性能 (包括硬度、柔韧性、附着力、光学性能、耐老化等) 主要由低聚物树脂决定。

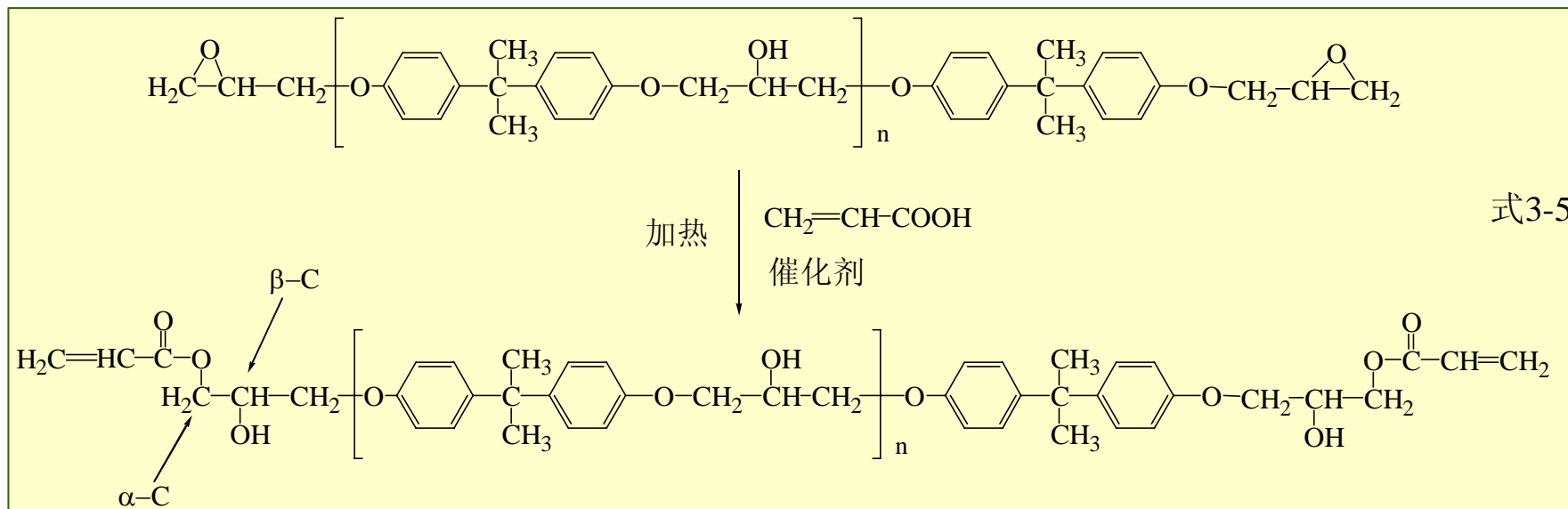
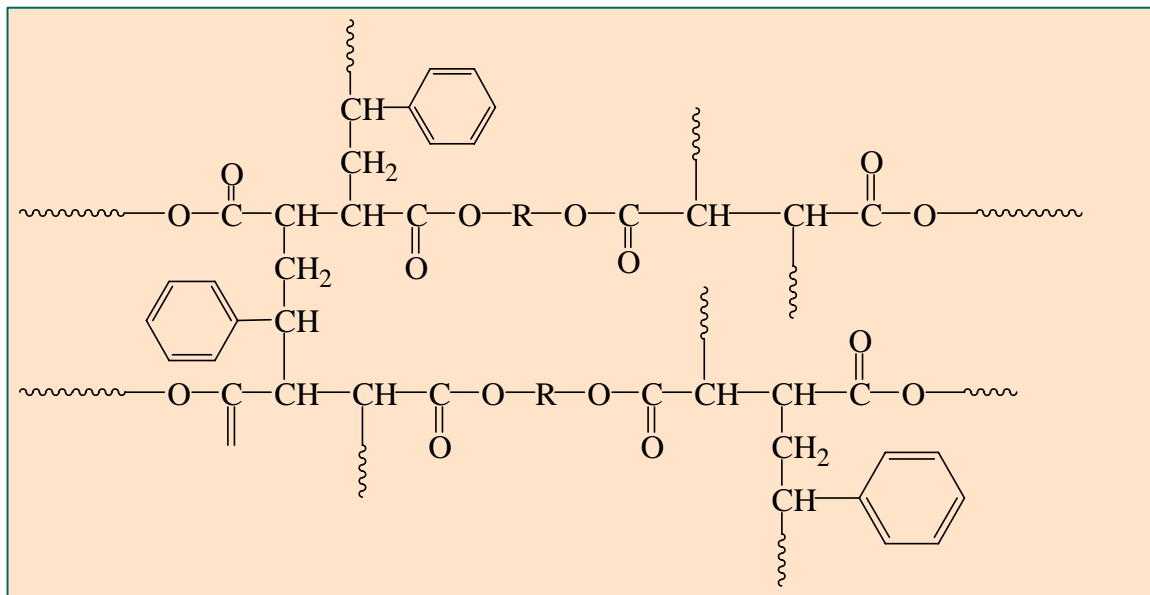
光固树脂低聚物分子量相对较低, 大多为几百至几千, 含有一个或最多几个重复单元。

传统溶剂型树脂分子量一般较高, 约为几千至几万。

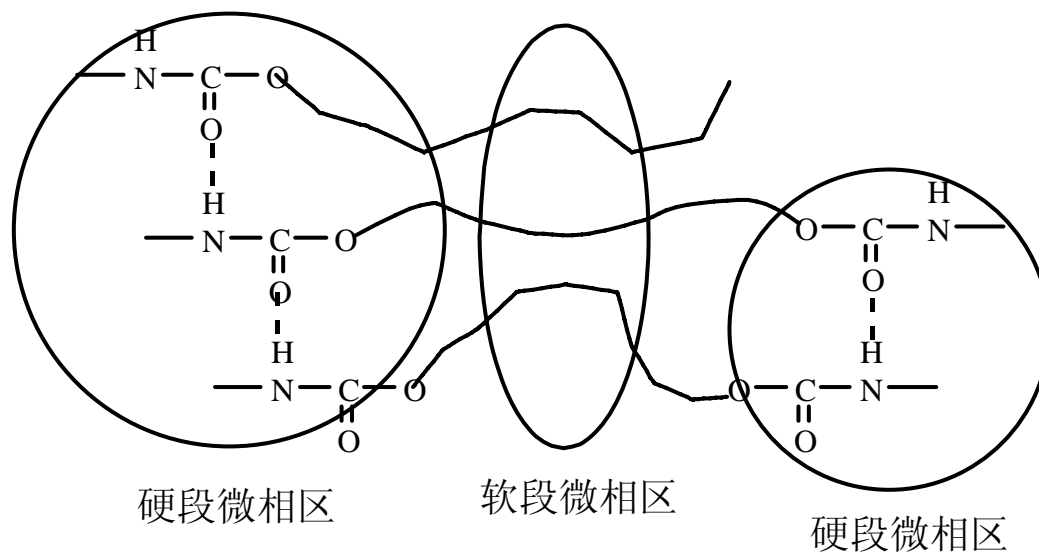
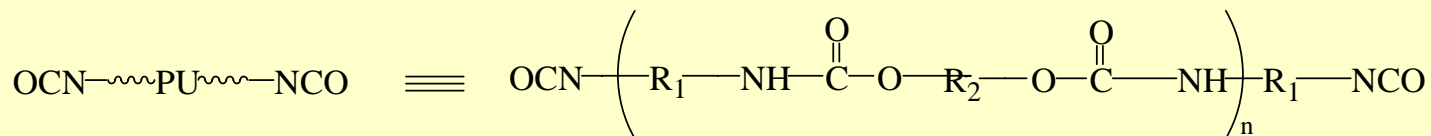
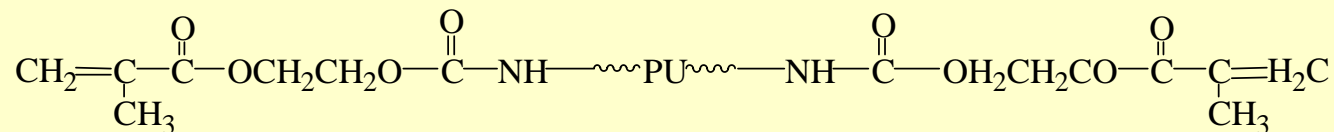
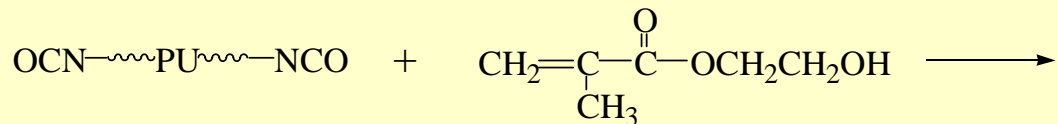
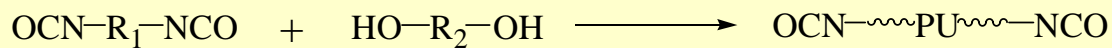
- 主要包括不饱和聚酯、环氧丙烯酸酯、聚氨酯丙烯酸酯、聚酯丙烯酸酯、聚醚丙烯酸酯、丙烯酸酯官能化的聚丙烯酸酯树脂
- 阳离子树脂，适合的低聚物包括各种环氧树脂、环氧官能化聚硅氧烷树脂、具有乙烯基醚官能基的树脂等。

不饱和聚酯

环氧丙烯酸酯



聚氨酯丙烯酸酯



其它光固化树脂

1

多烯烃低聚物

2

丙烯酸酯化氨基树脂

3

纤维素丙烯酸酯

4

电荷转移复合树脂

5

有机磷低聚物

6

氟碳化光固化树脂

主要内容

- 一. 何谓辐射固化技术
- 二. 主要工业应用领域
- 三. 发展现状及其机遇
- 四. 当前热点研究课题
- 五. 辐射固化组织及其活动

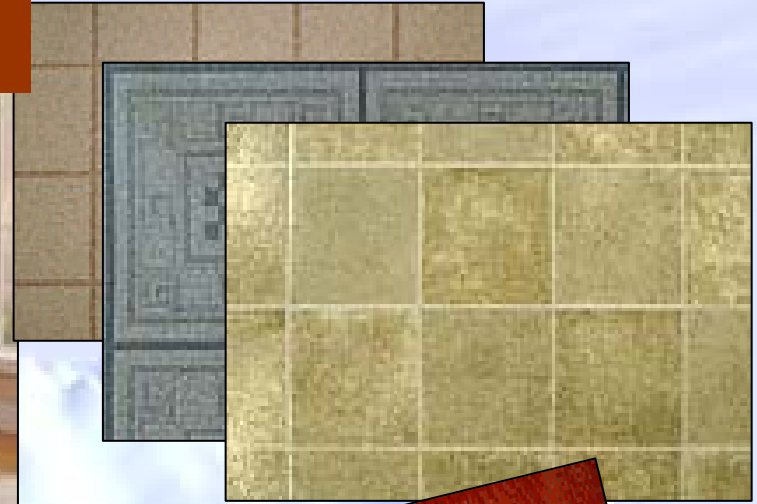
各种基材印刷油墨和上光



各种基材印刷油墨和上光



家具、地板表面涂饰



UV inkjet on electronic parts



UV Equipment
for UV inkjet marking
on electronic
components
Irradiation time 0.5
seconds

光纤涂层



UV coating on fibre optics



UV Equipment
on a
Nextrom Colorline
max. 3000 m/min

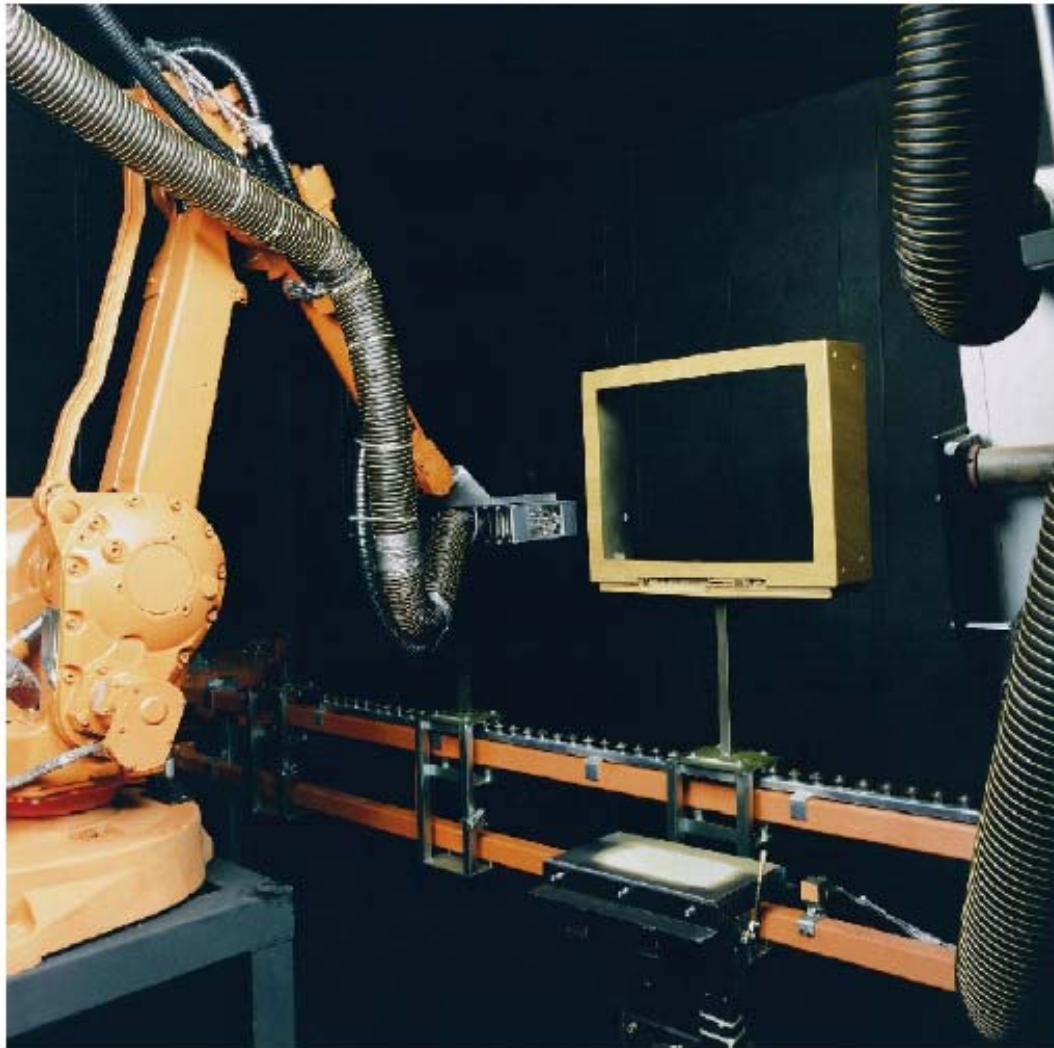
显示器涂层



手机表面处理



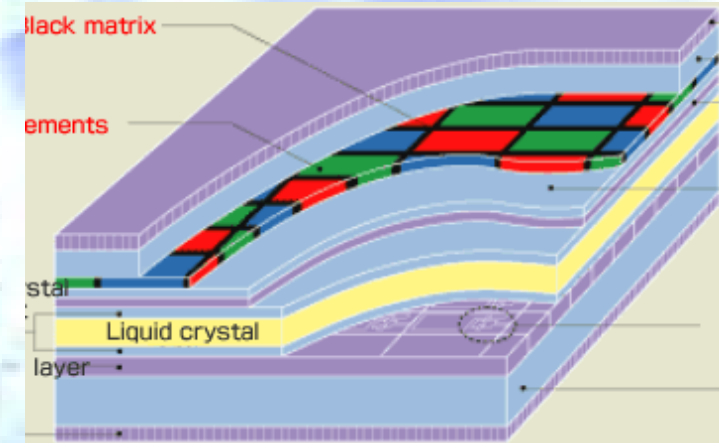
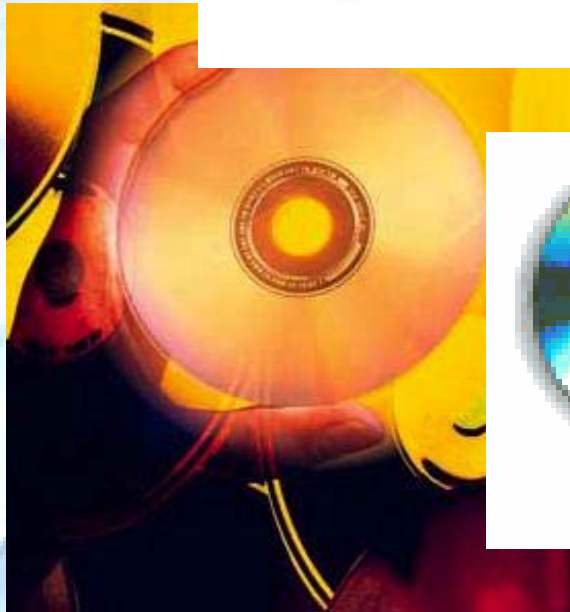
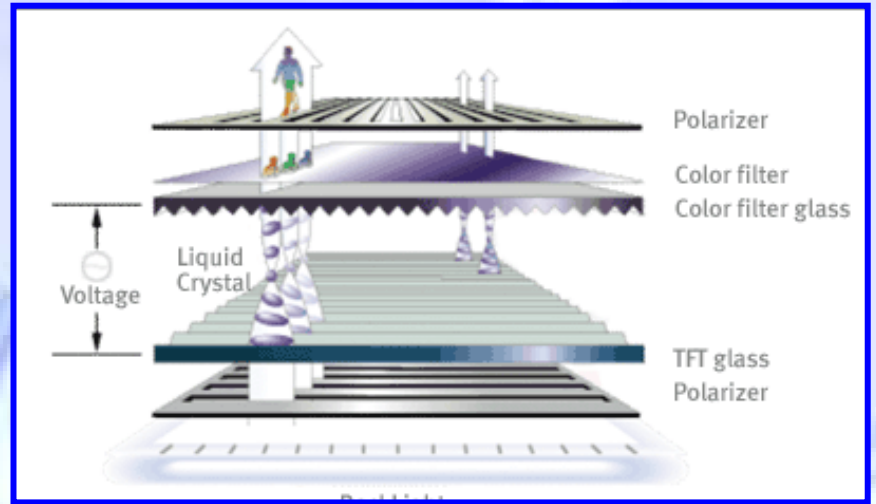
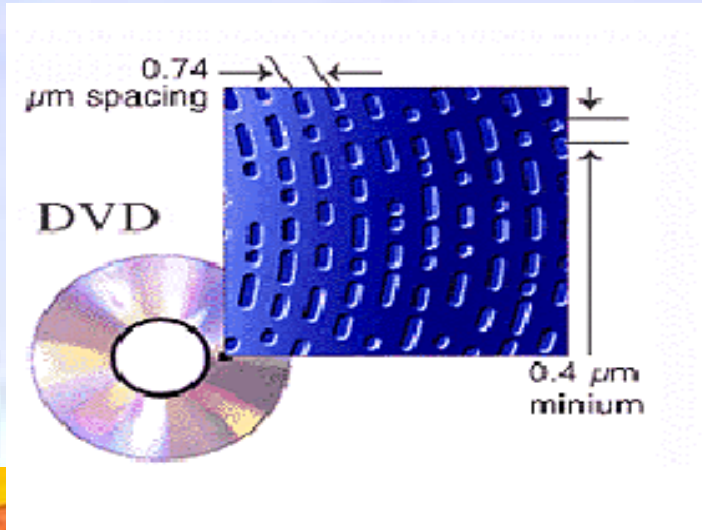
3D Coating



UV Equipment
for
3D – coating on TV
 housings

CD - VCD - DVD - LCD-

清漆 - 油墨 - 黏合剂...



UV curing for CD / DVD- manufacturing



UV Equipment
on a
Krauss Maffei
machine

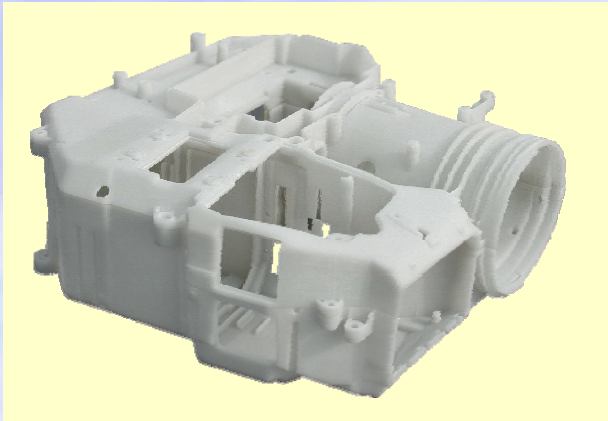
原型制备 (快速成型)



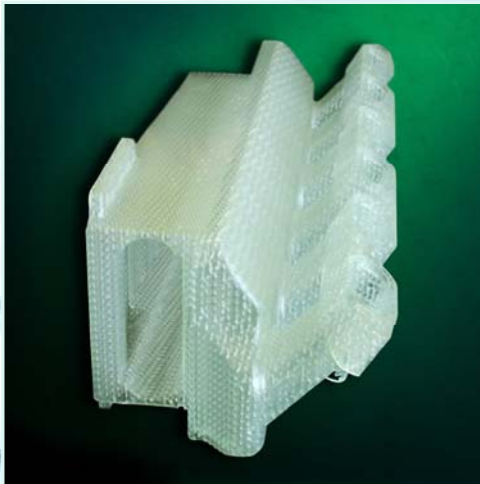
Elevated Temperature Performance



Snap Fits



**Composite
Stiffness & HDT**



**Dimensionally Consistent
Investment Casting Patterns**



ABS Like



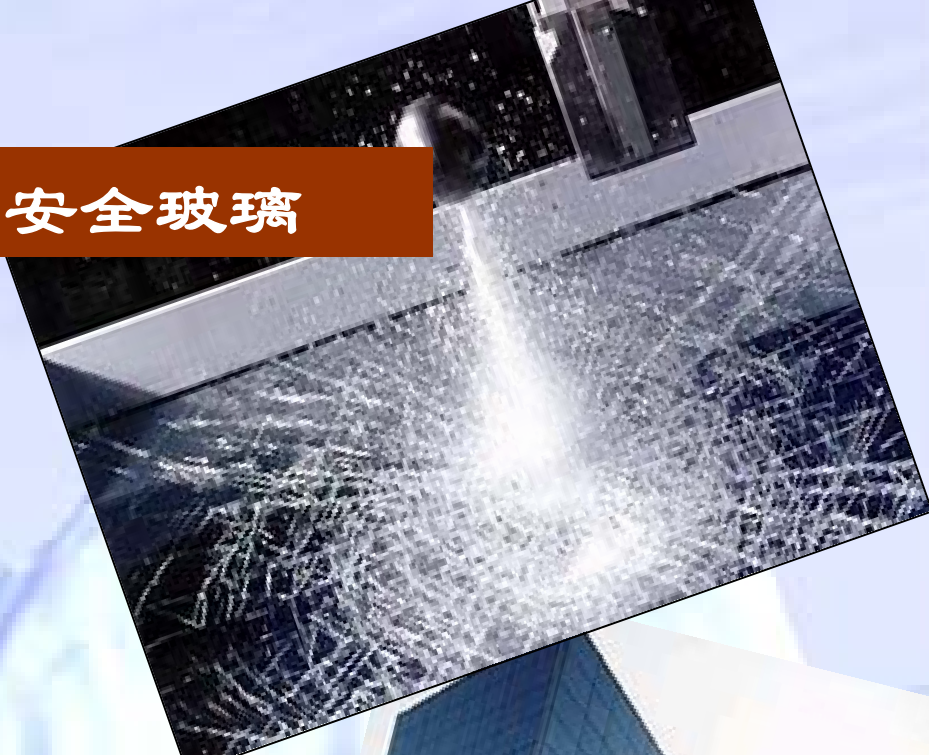
医学临床人体模型



建筑表面涂饰



安全玻璃



隔音玻璃



医疗器件粘结



眼镜粘结



钟表粘结



钢板表面涂饰

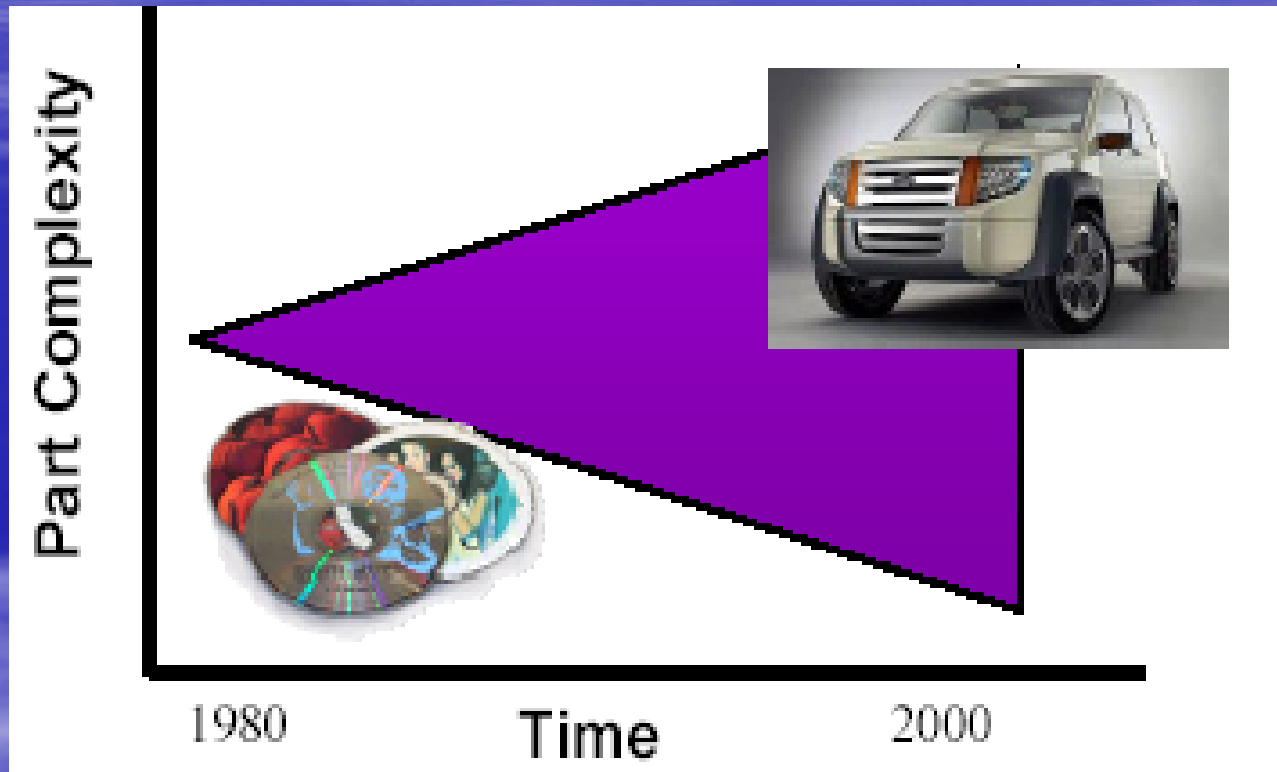


UV固化产品—无处不在

主要内容

- 一. 何谓辐射固化技术
- 二. 主要工业应用领域
- 三. 发展现状及其机遇
- 四. 当前热点研究课题
- 五. 辐射固化组织及其活动

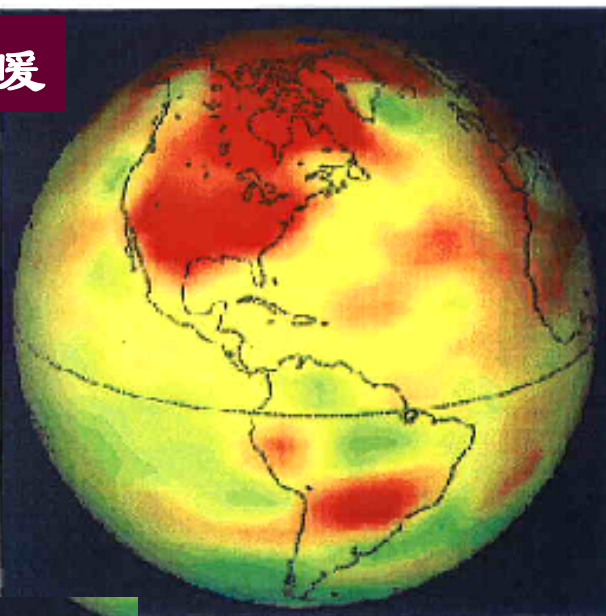
40年迅猛发展



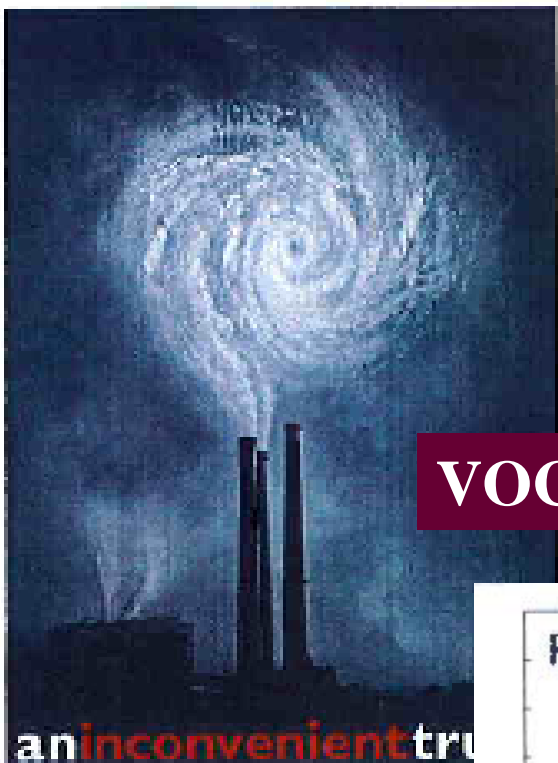
我国辐射固化产业的发展机遇

世界在不断变化

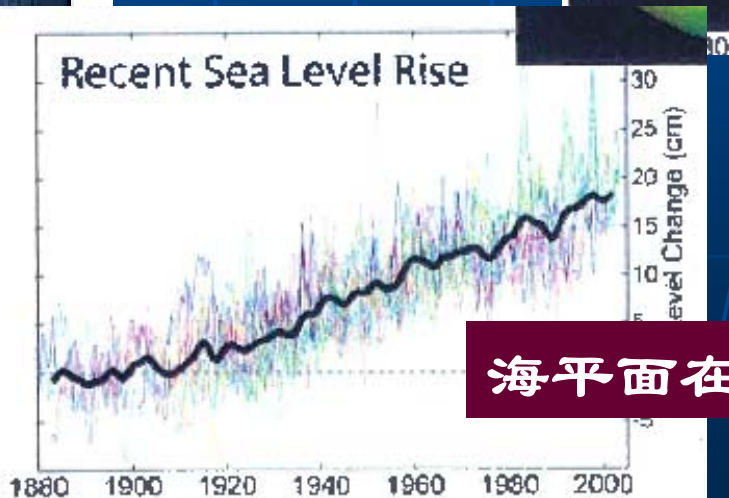
地球气候变暖



VOC排放量增加



Recent Sea Level Rise



海平面在上升

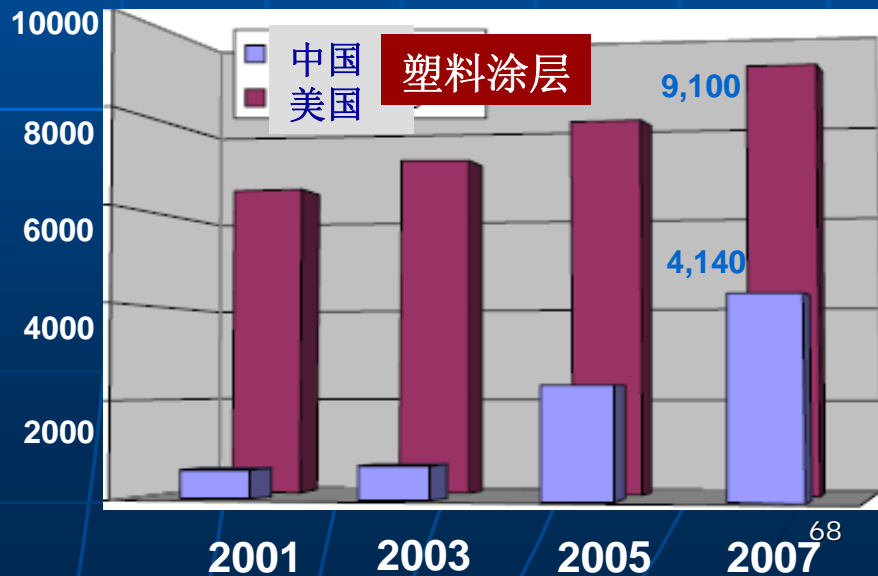
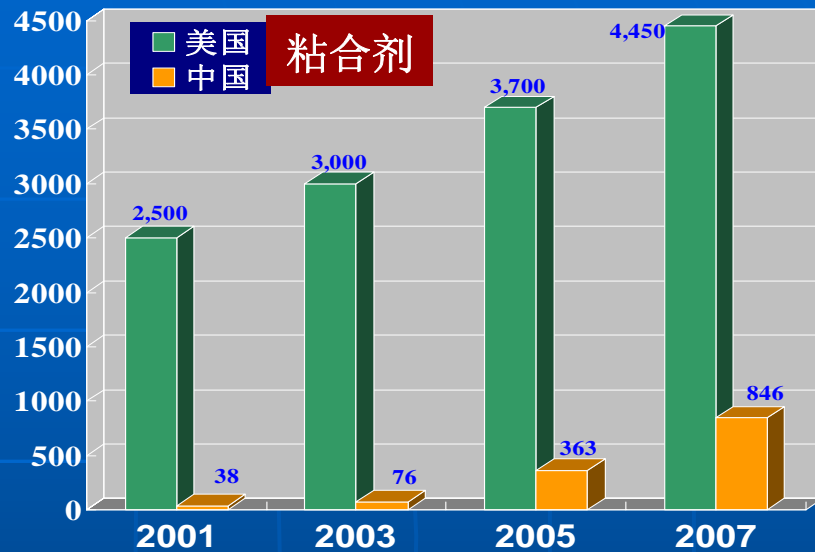
(2) 国际UV/EB产品市场继续快速增长

全球各地区UV/EB配方产量和预测

地区	1995	2000	2004	2008	2015	年增长率 95-04	年增长率 04-15
欧洲	32000	46000	63200	77400	138000	8%	7%
北美	35000	51000	64700	81500	147000	7%	8%
亚洲	13000	26000	40000	56200	132000	13%	12%
南美洲	—	—	4400	5700	11500	—	9%
其它地区	1000	4000	7000	10900	34500	24%	16%
总计	81000	127000	177000	230000	463000	9%	9%

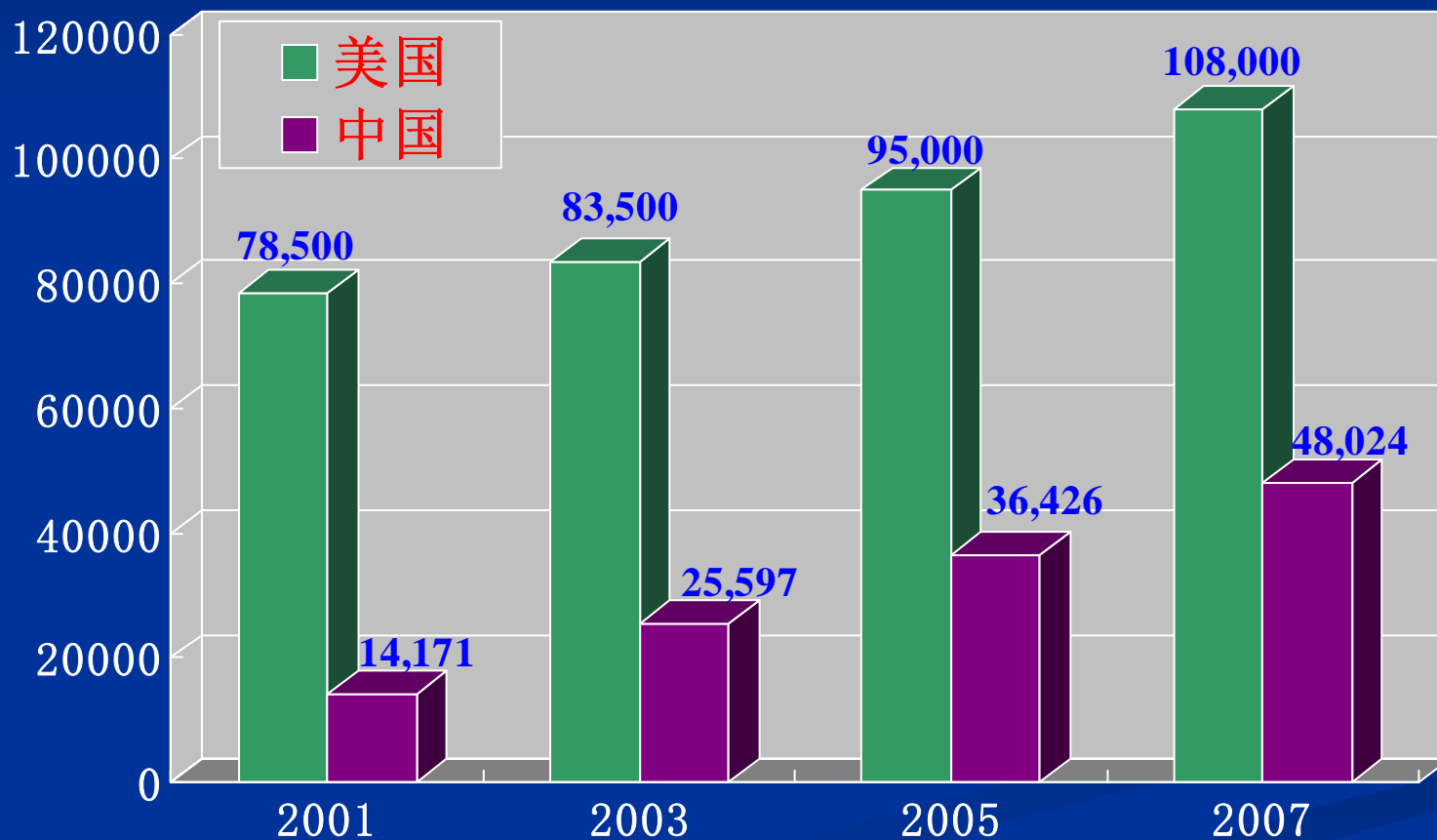
Source: BASF

中国与美国UV/EB 产量的比较 (吨)



中国与美国UV/EB配方产品总产量的比较 (吨)

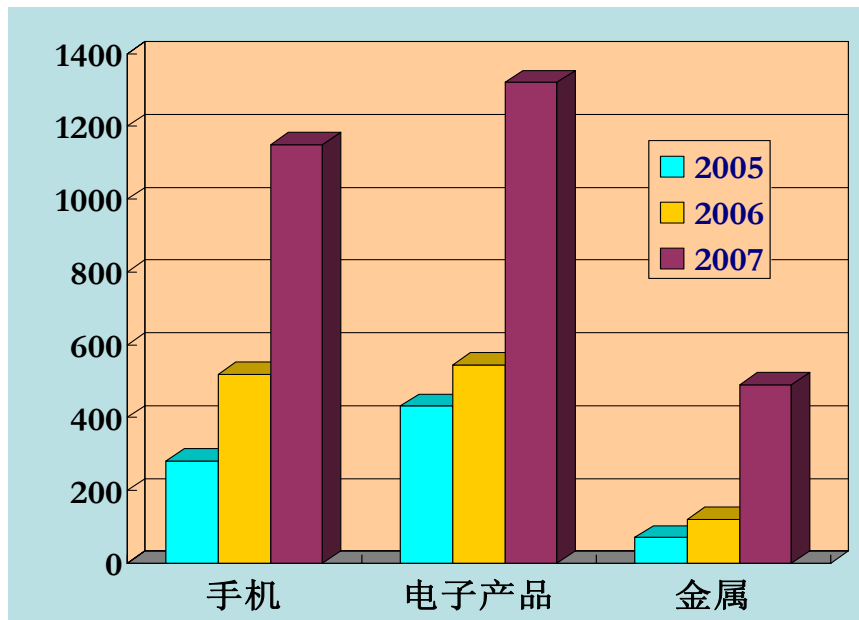
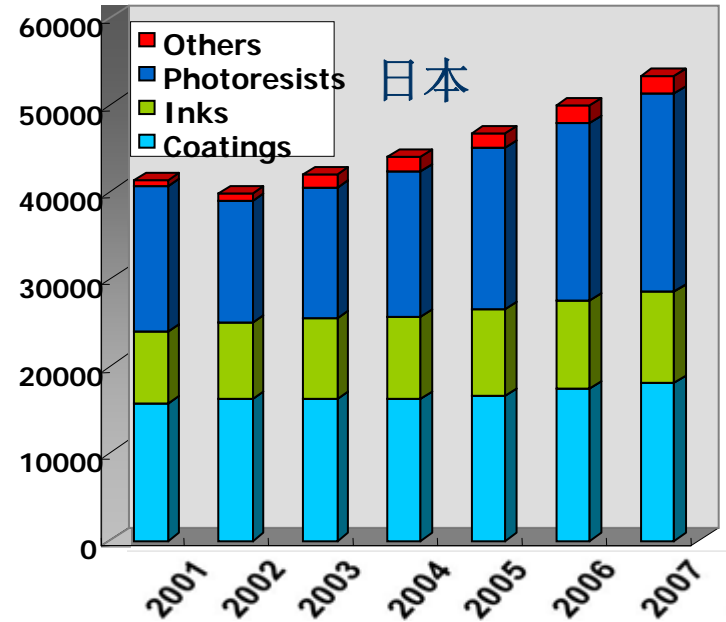
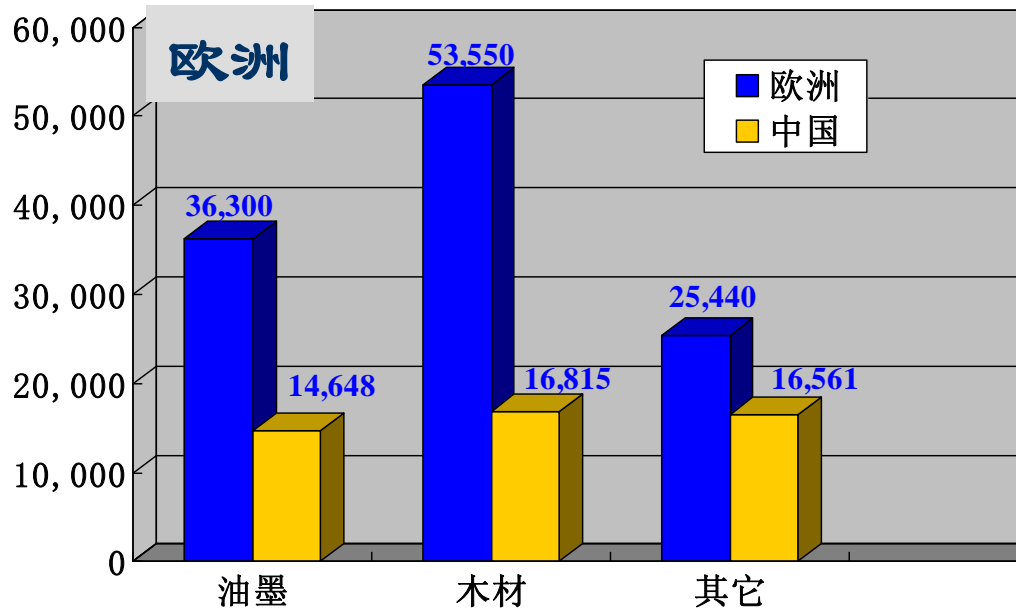
2007年 美国108,500吨; 中国48,024吨



美国两位数的年增长率

Application growth projections	2006	2009
Solid Modeling/Prototyping	28%	26%
Medical Devices	24%	25%
Ink Jet Printing	22%	24%
Other Automotive Applications	18%	20%
Spray applied coatings - 3D	17%	18%
Structural Adhesives	15%	17%
Electronics	14%	15%
Pressure Sensitive Adhesives	13%	16%
Plastic Coatings	13%	14%
UV Cured Powder Coatings	12%	13%
Clear Coats for Exterior Metalized Plastics	12%	18%
Clear Coats for Automobile Exteriors	11%	16%

中国与欧洲/日本UV/EB产品产量的比较 (吨)

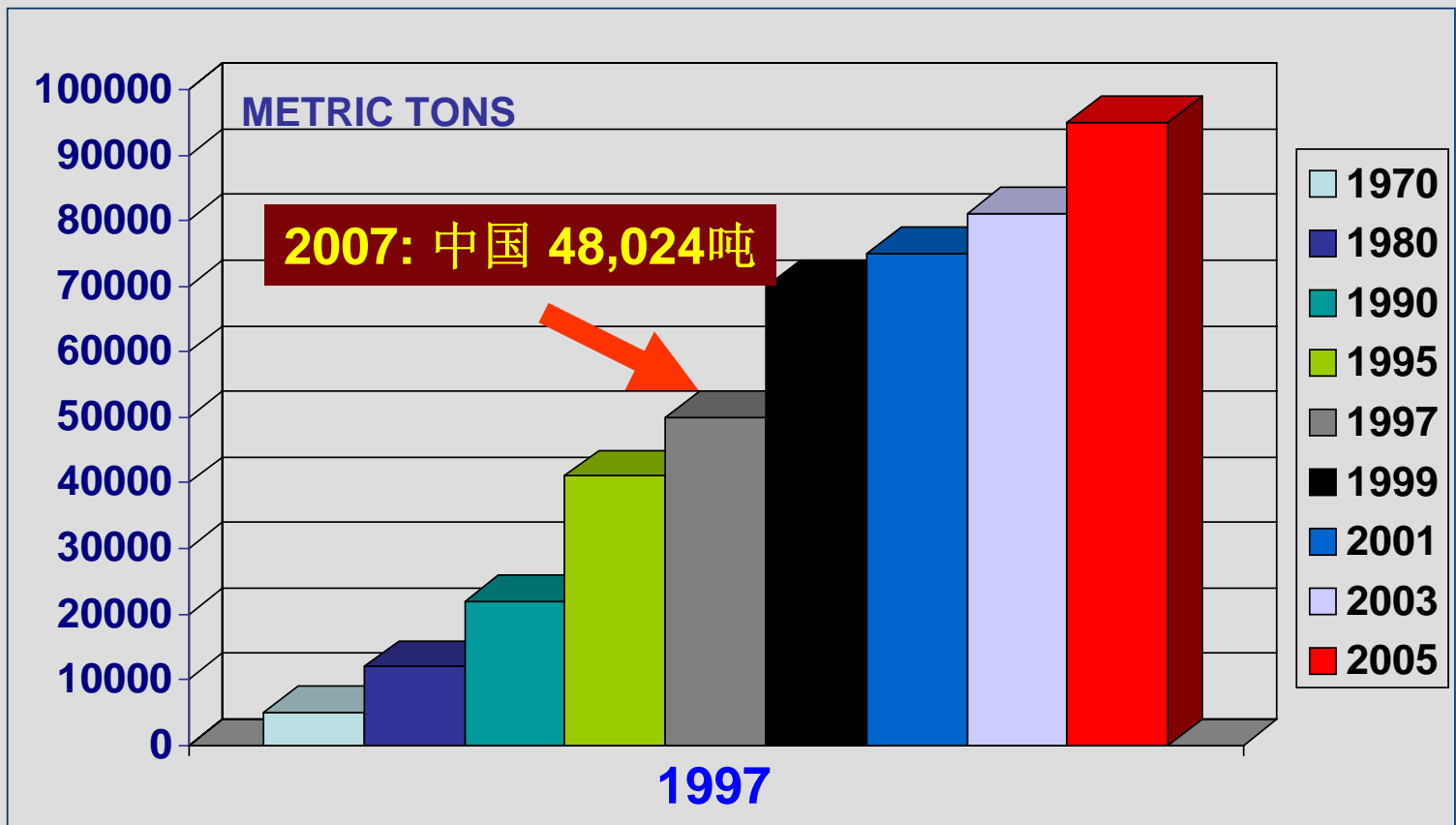


By Takashi Yamadera from Hitachi Chemical Co., Ltd., 30, May, 2007(Shanghai)

手机: 94%
 电子产品: 120%
 金属: 300%

中国滞后欧美整整10年!

UV/EB FORMULATED PRODUCT USAGE - NORTH AMERICA

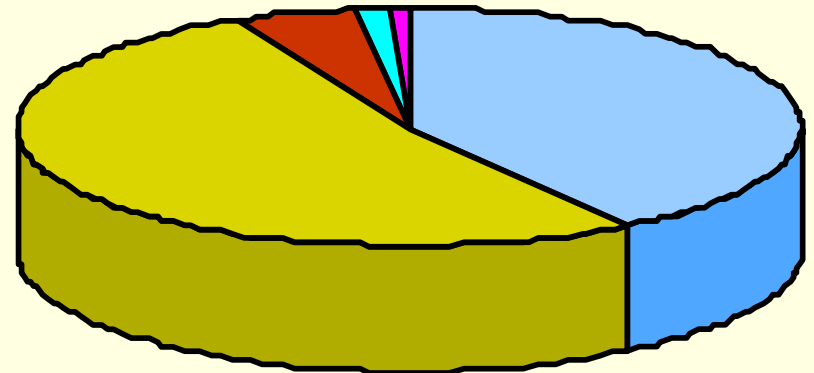
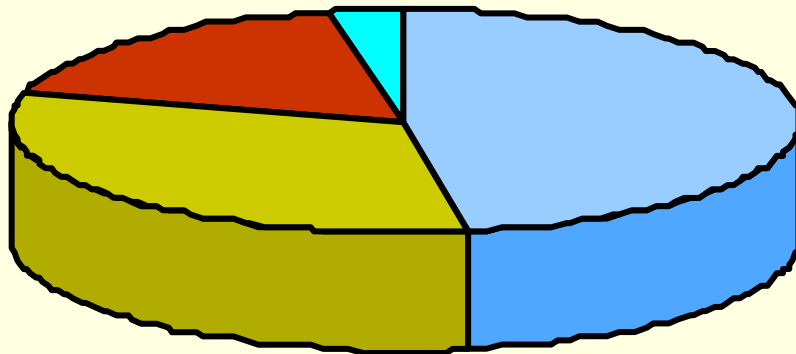


中国滞后欧美整整10年!

2007: 中国 48,024吨

美国 1999 (70,000吨)

欧洲 1998 (48,000吨)



■ 油墨(incl. OPV)

■ 电子产品

■ 其它

■ 涂层

■ 粘合剂

主要内容

- 一. 何谓辐射固化技术
- 二. 主要工业应用领域
- 三. 发展现状及其机遇
- 四. 当前热点研究课题
- 五. 辐射固化组织及其活动

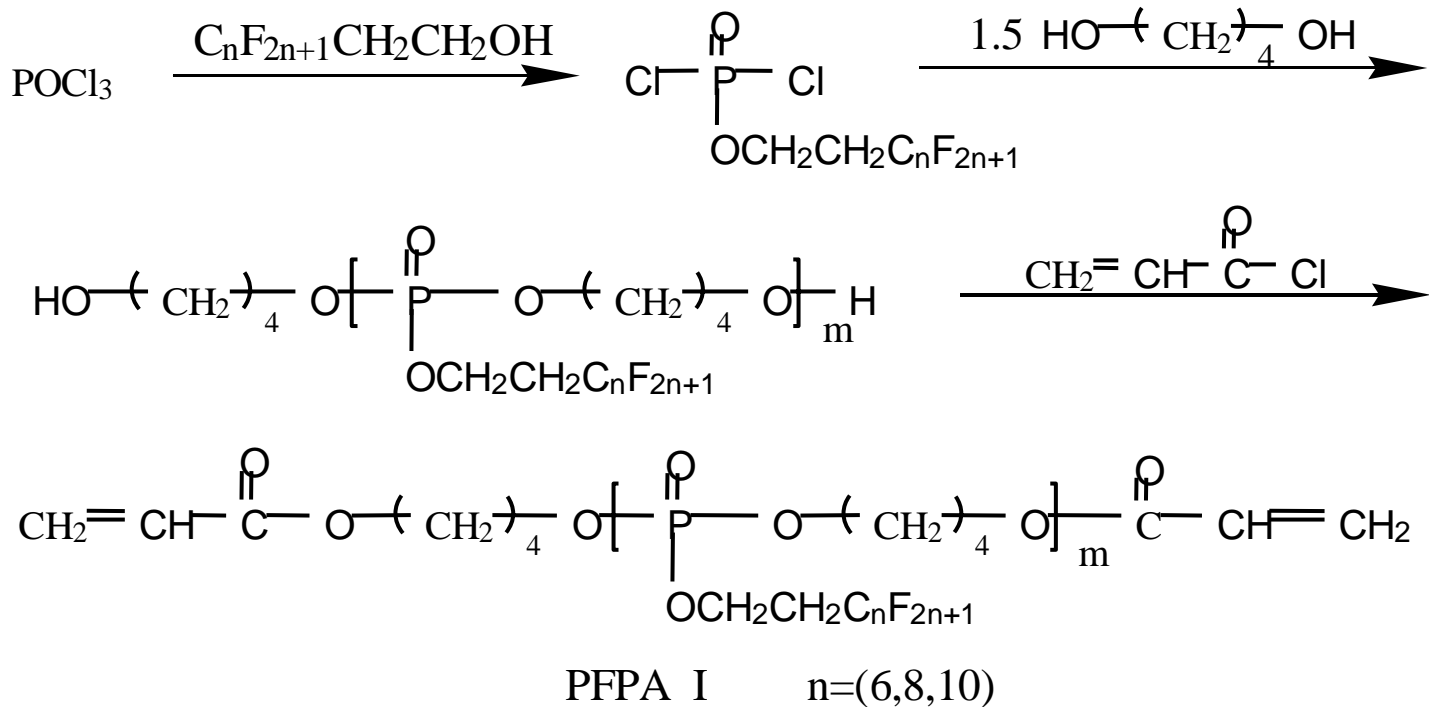
1. UV固化自清洁涂层



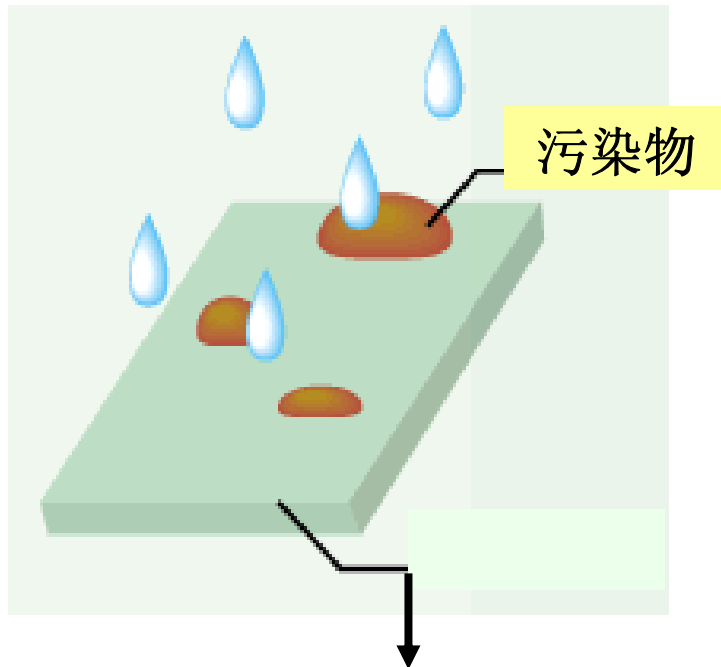
- ◆ 除去建筑物、交通工具及其它公共场所的乱画花费大，尤其是影响环境；
- ◆ 欧洲发展了难涂/易清的UV涂层；
- ◆ 低成本、低挥发性物、快速除去过程，既经济又环保。

氟碳感光树脂

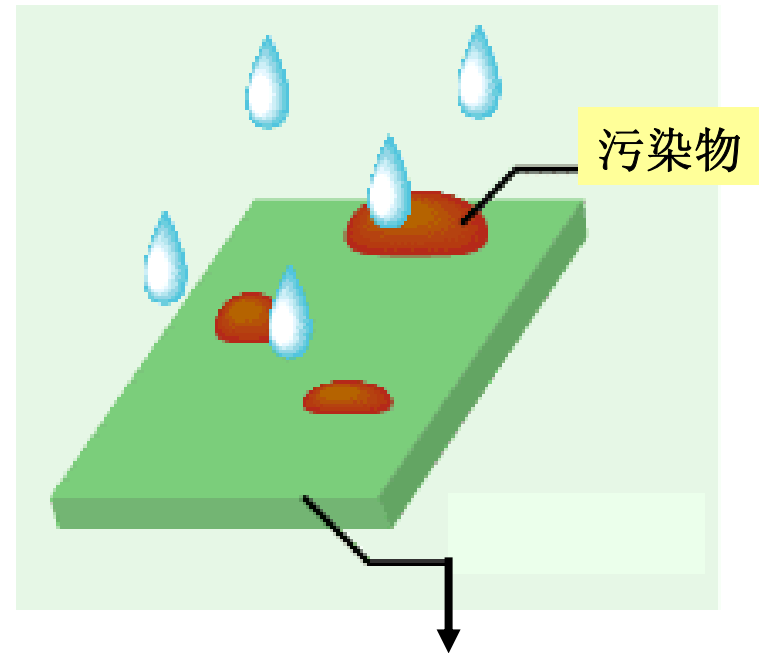
氟化树脂所形成的固化膜具有超低的表面能，防污、防粘性能非常优秀，而且表面十分滑爽，摩擦系数低，耐刮伤性能也相当卓越。可用于计算机硬盘磁蕊片的涂覆保护，防止磁针读写数据时刮伤蕊盘表面。



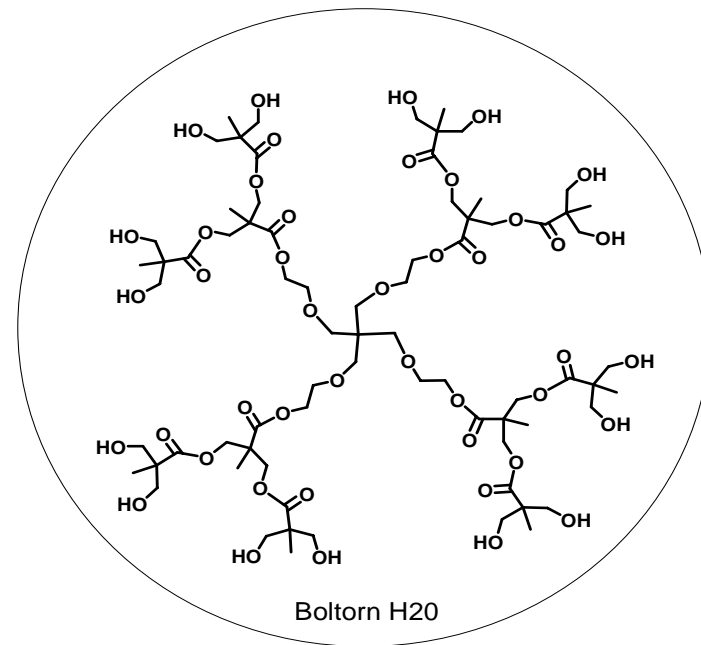
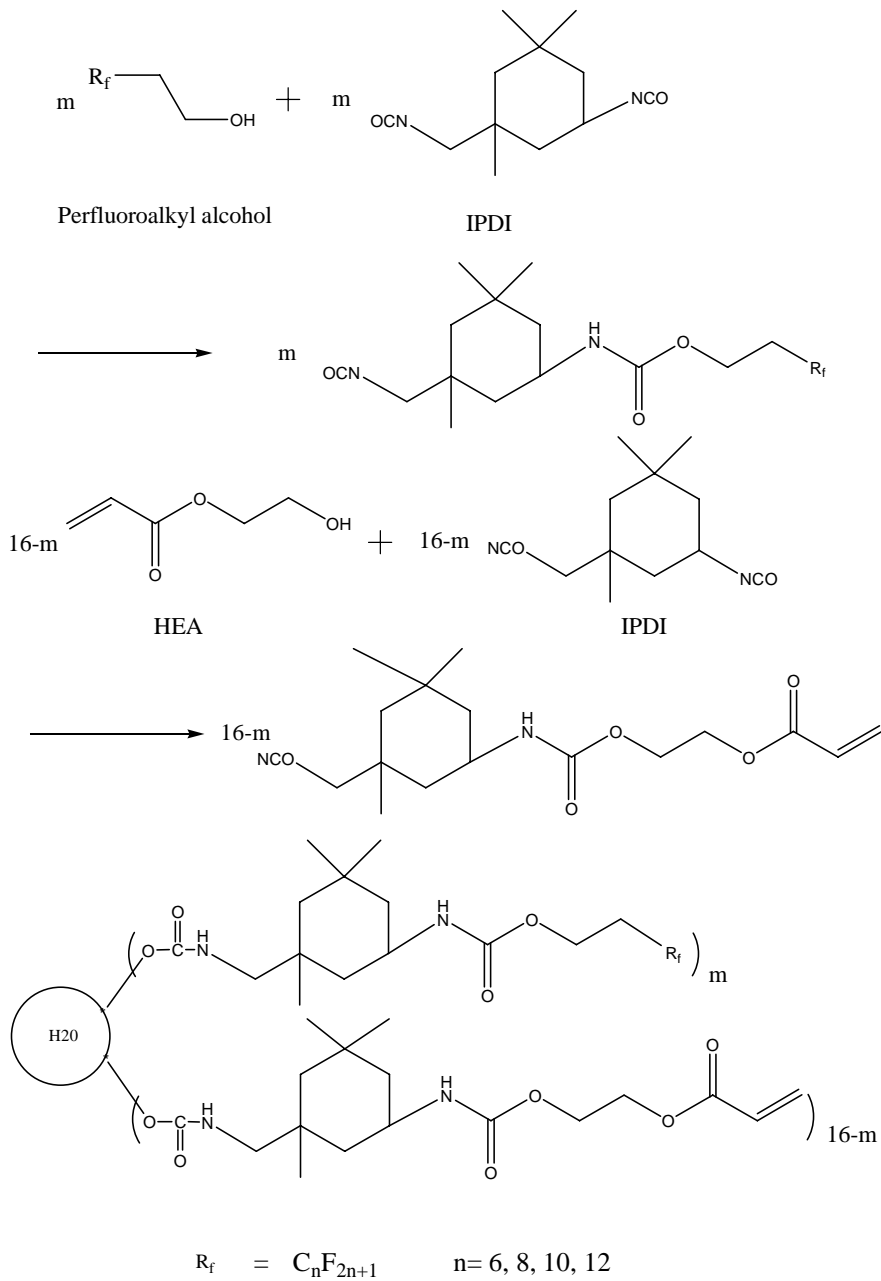
Oil and water repellency ??



water repellency coating

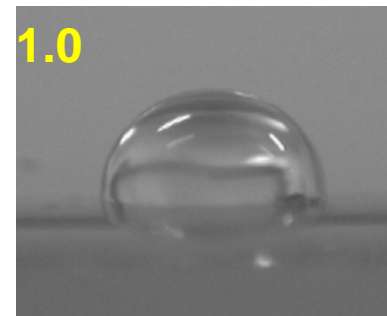
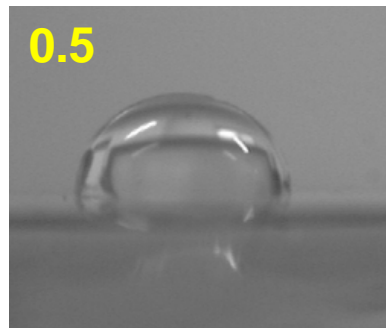
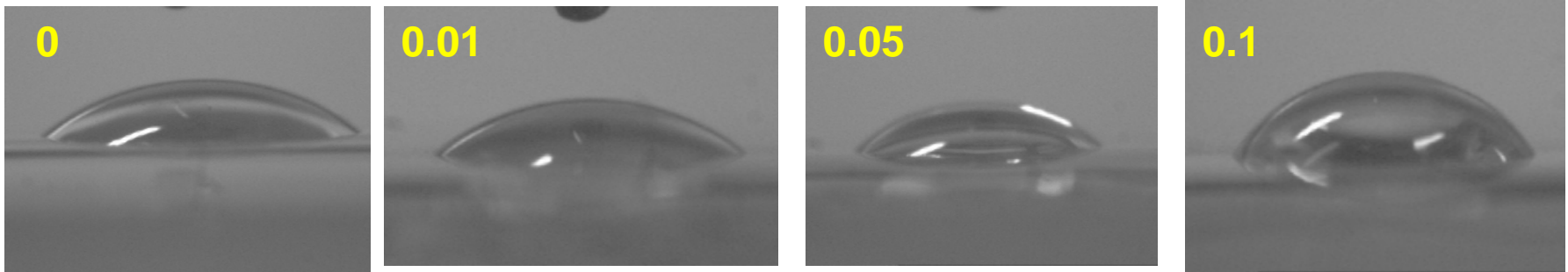
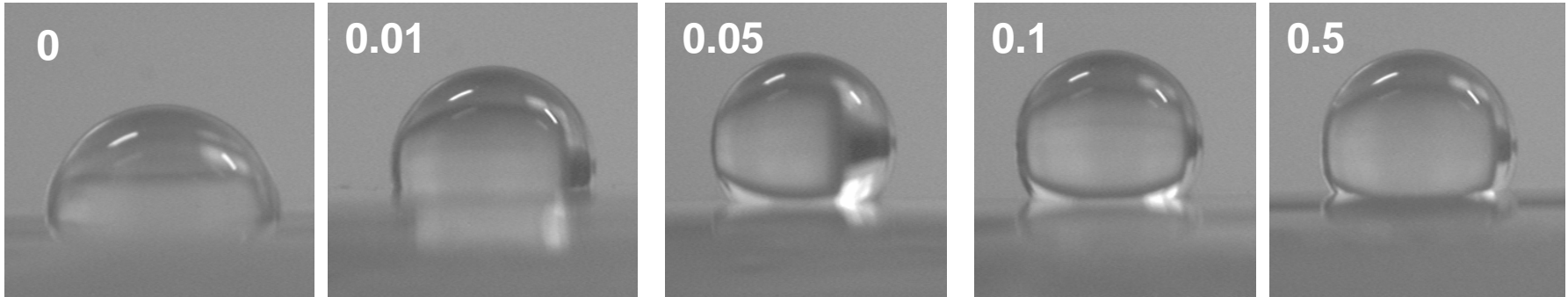


Oil /water repellency coating



	PFPA I	PFPA II
Name		
C1s	45.82	40.04
P2p	0.62	0.99
O1s	18.08	14.12
F1s	34.61	44.86

Water/**1-Bromonaphthalene** drops on UV cured film surface of HFUA 1:1



2. UV/EB卷材涂层（盘绕）

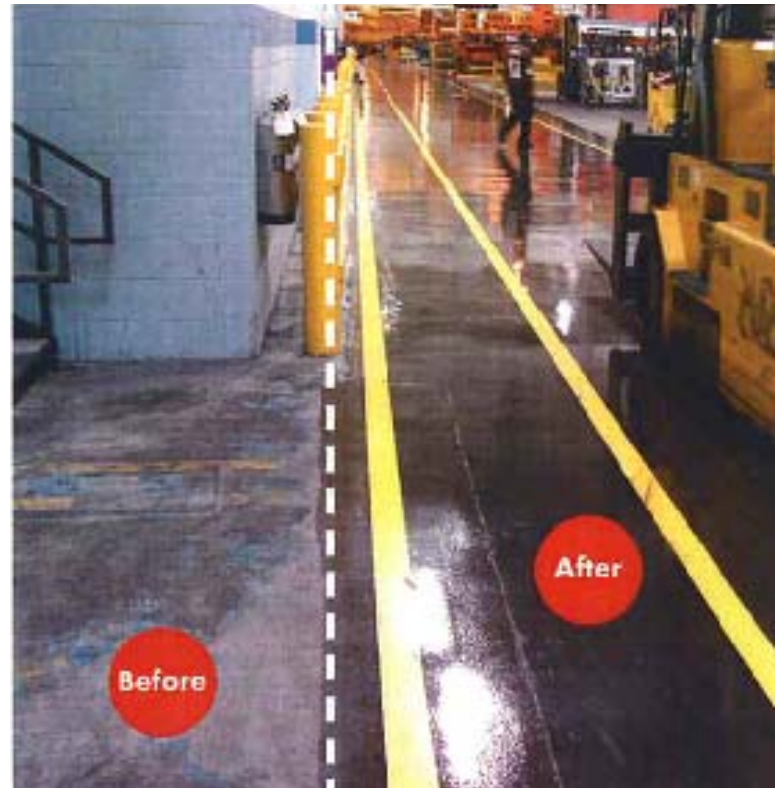
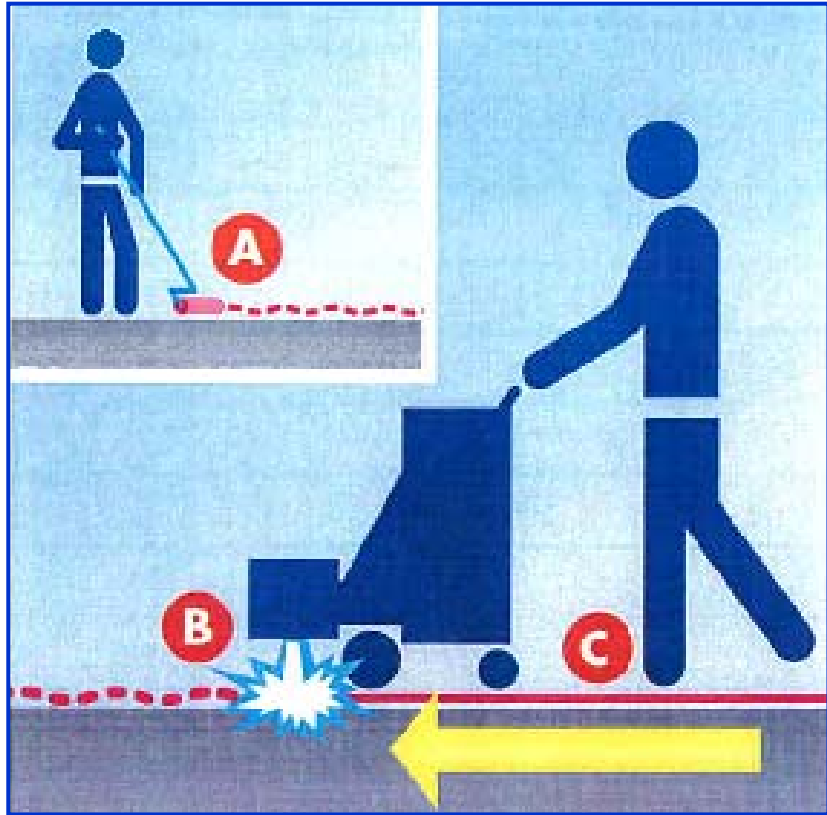
IST Metz Holding



- 德国中试生产线：3个400 mm的UV灯，N₂下辐照，以水冷却。
- 欧洲其它两条较小生产线：锌板底漆和不锈钢防指纹涂层。



3. 光固化地板涂层的保护和维修



保护地板使其耐用、无伤痕和延长寿命

4. 航空航天器涂层和装饰

3rd Advanced Aerospace Coating & Decorating Symposium
January 2008 – Florida, USA

33%的报告与UV固化技术有关。

- ◆ UV固化无铬底漆
- ◆ UV固化高档面漆
- ◆ UV固化飞行器保护涂层
- ◆ UV固化面漆修理
- ◆ UV固化隐形涂层
- ◆ 空军UV固化项目
- ◆ 高档UV固化飞行器粉末涂层

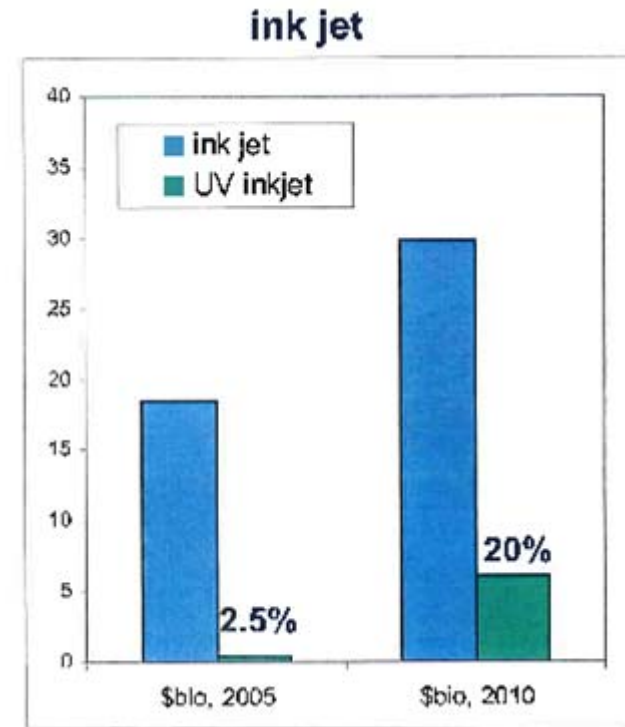
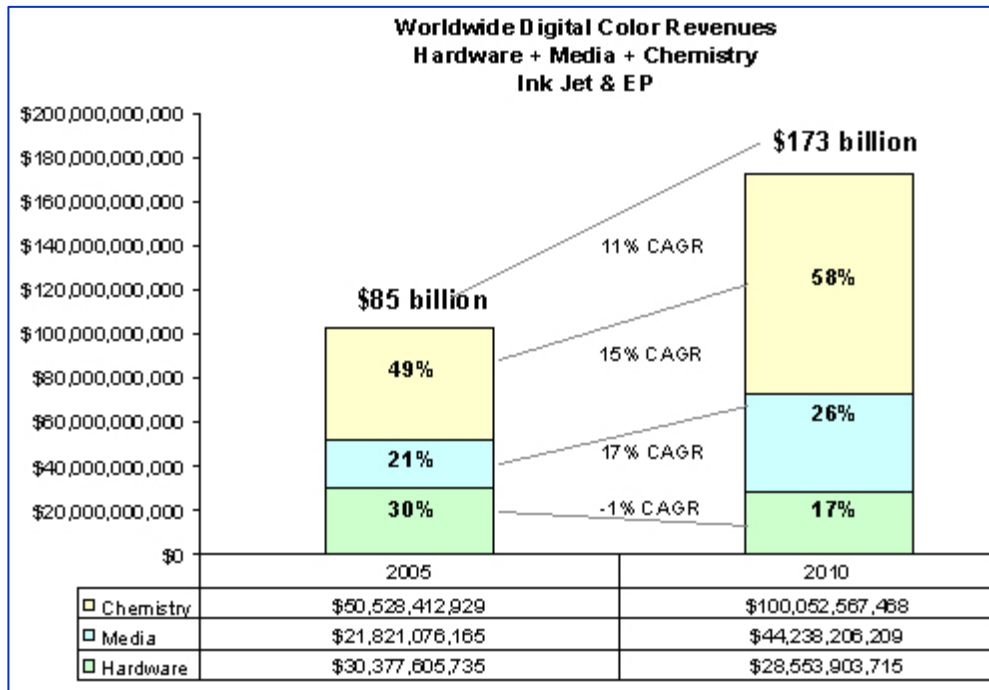


Why UV coatings?

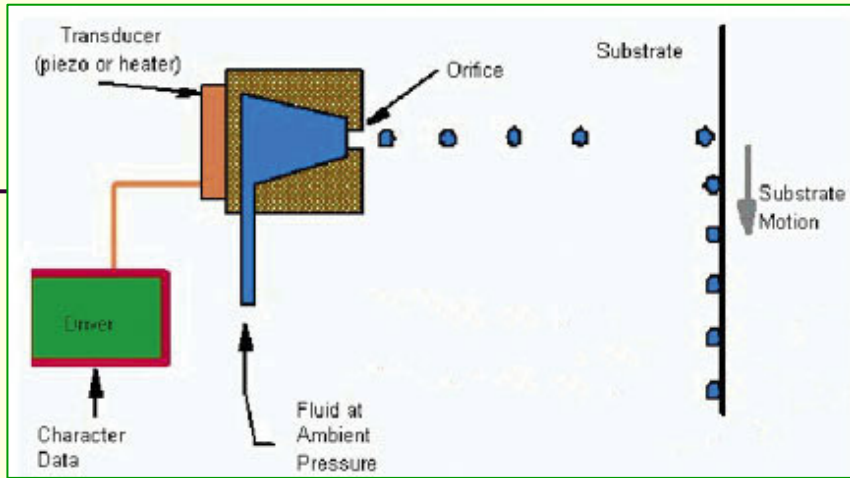
- 聚氨酯面漆需要72小时干燥后才能起飞,如湿度较大时需要7-10天; 减少“dry-to-fly”时间;
- 改进战争“准备就绪”能力;
- 军用的航行器涂层含有340-420g/L的VOC。



5. UV 固化喷墨印刷



* Source: I.T. Strategies – March 2007



UV inkjet on cables



UV Equipment for UV inkjet marking on cables

- Elliptical reflector
- Uniform high intense irradiation in the focus all around the cable
- Production speed 60 m/min

6. UV固化汽车用涂料和修补漆

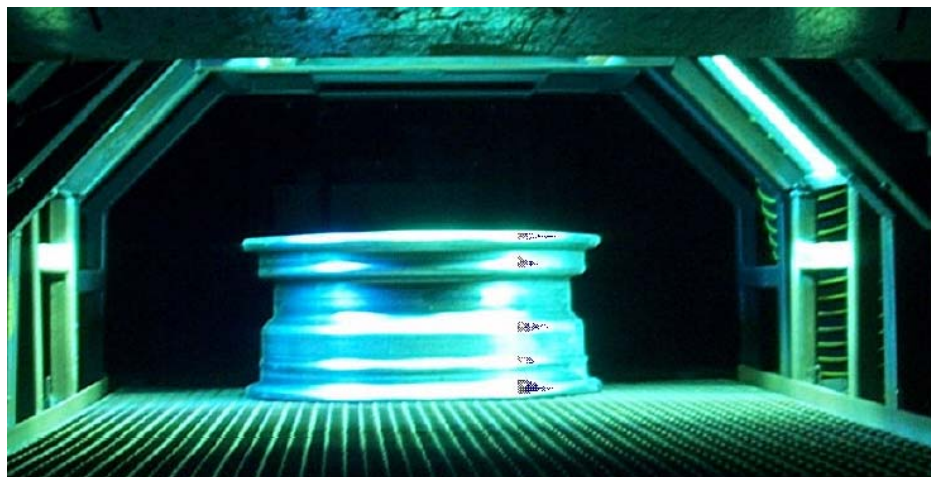
2003.10 巴塞尔



2006.4



汽车零部件



7. 发展EB固化技术

- 高效 — 在线印刷和涂饰，毫秒内固化，即日出货

EB COATING



Print and EB Coat In-Line
(eliminate steps)



Ship the Same Day

- 节能 — 耗能为UV固化的1/3，热固化的1 / 85
- 美国能源部宣称：UV/EB技术是最能利用的可控技术 —
Best Applied Controlled Technology (BACT)

■ 食品包装材料加工

美国FDA批准EB技术可加工与食品直接接触材料

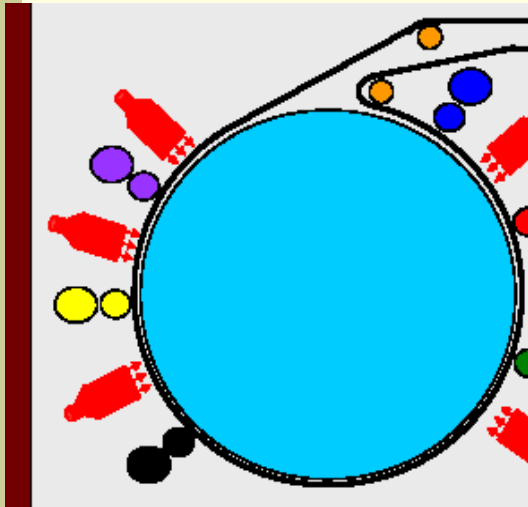
Darocur 2959为第一个通过FDA认证的光引发剂
Food and Drug Administration (FDA)

生产牛奶和饮料纸盒。油墨和清漆在生产线上可以同时固化。电子束还对纸板材料有杀菌作用。

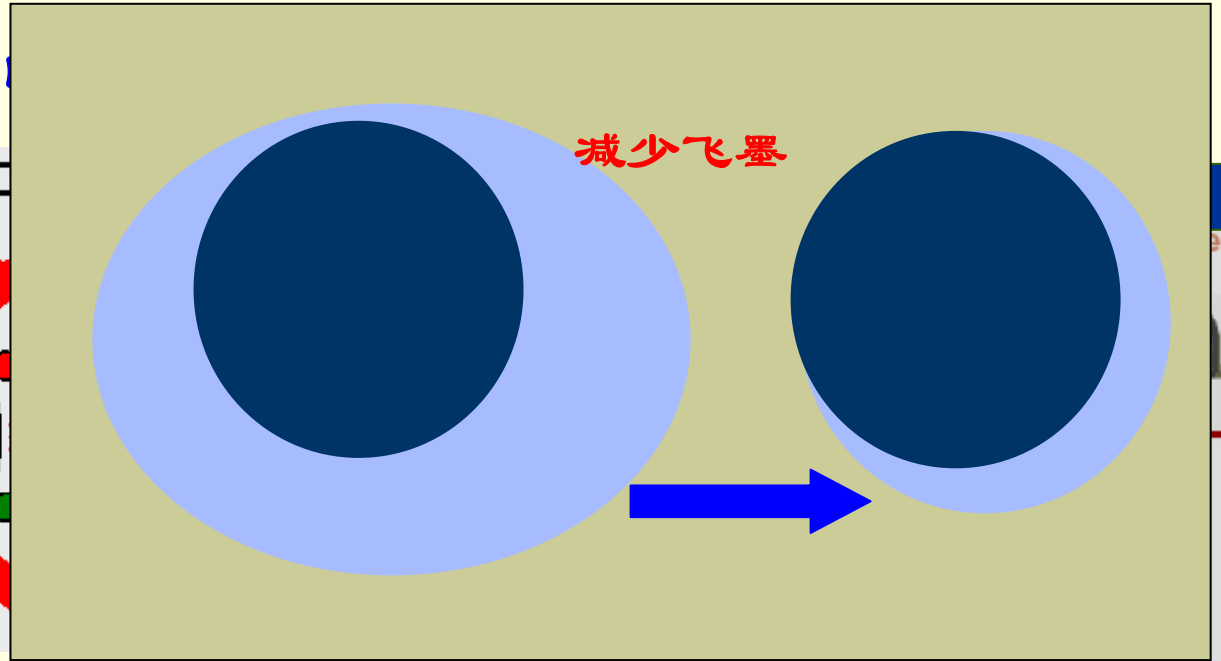


■ EB凸版油墨和涂层一次同时固化

传统凸版油墨



减少飞墨



EB凸版油墨印刷

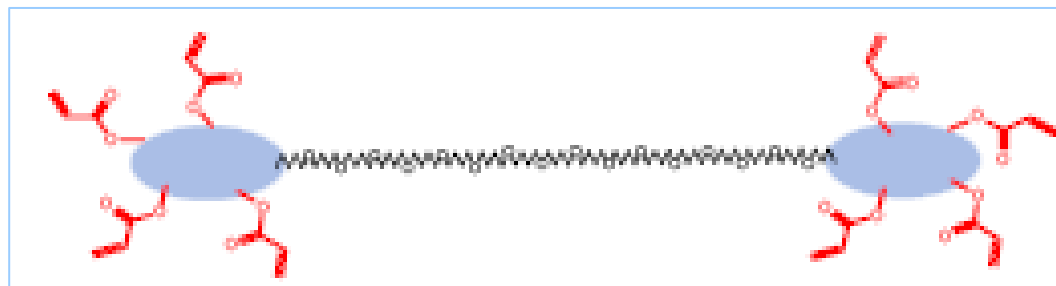
8. 抗刮擦和耐磨损硬涂层

化学结构设计

高交联密度

柔韧性(硬段/软段比例)

分子链规整性 (自相似杠铃形状)



- highly functional head and end groups
 - network density
- long flexible interconnects (low TG)
 - flexibility

- self-similar barbell shape
 - regularity
 - functional separation

纳米复合材料



物理掺杂型
化学键合型

按复合材料的固化类型分：

热固化型：通过热量来完成有机相与无机相之间的缩合。

光固化型：在有机相和无机相中引入可光固化基团，在光照条件下，实现两相之间的缩合。

纳米复合材料无机相分类

粘土 (> 1 nm x 100 nm)

层状双氢氧化物 (>10 nm)

二氧化硅颗粒 (10-50 nm)

炭黑 (>10 nm)

金属氧化物 (Fe, Al, Ti,...)

有机/无机分相

透明性下降

力学/热学性能下降

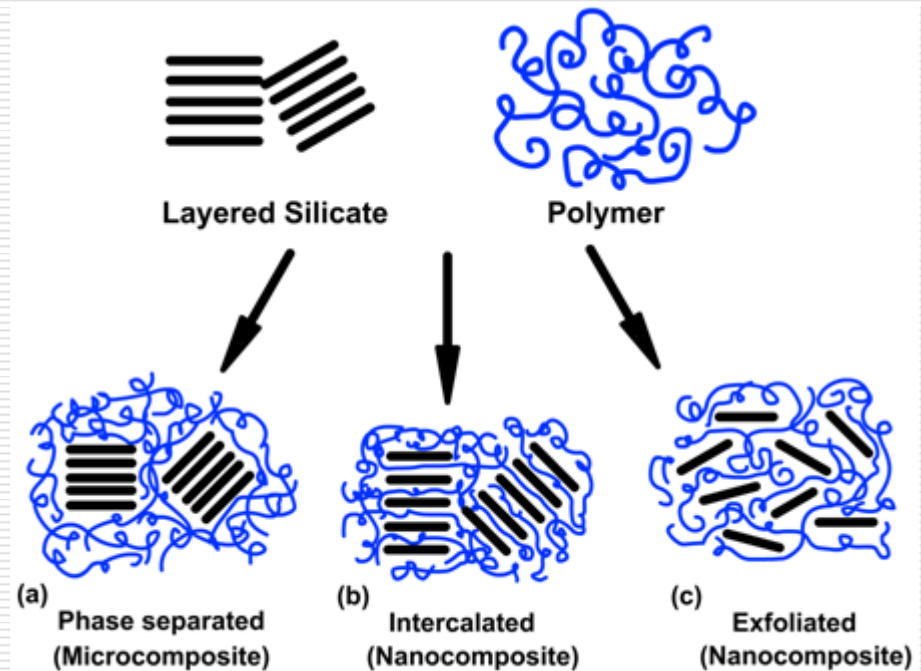
有机可溶性无机填料

含碳原料（主要为石油）经不完全燃烧而产生的微细粉末。

纳米材料及其聚合物复合材料的形成

至少在一个方向上的尺寸在1-100 纳米 (1纳米 = 10倍氢原子的直径或者相当于人的头发的10万分之一)。

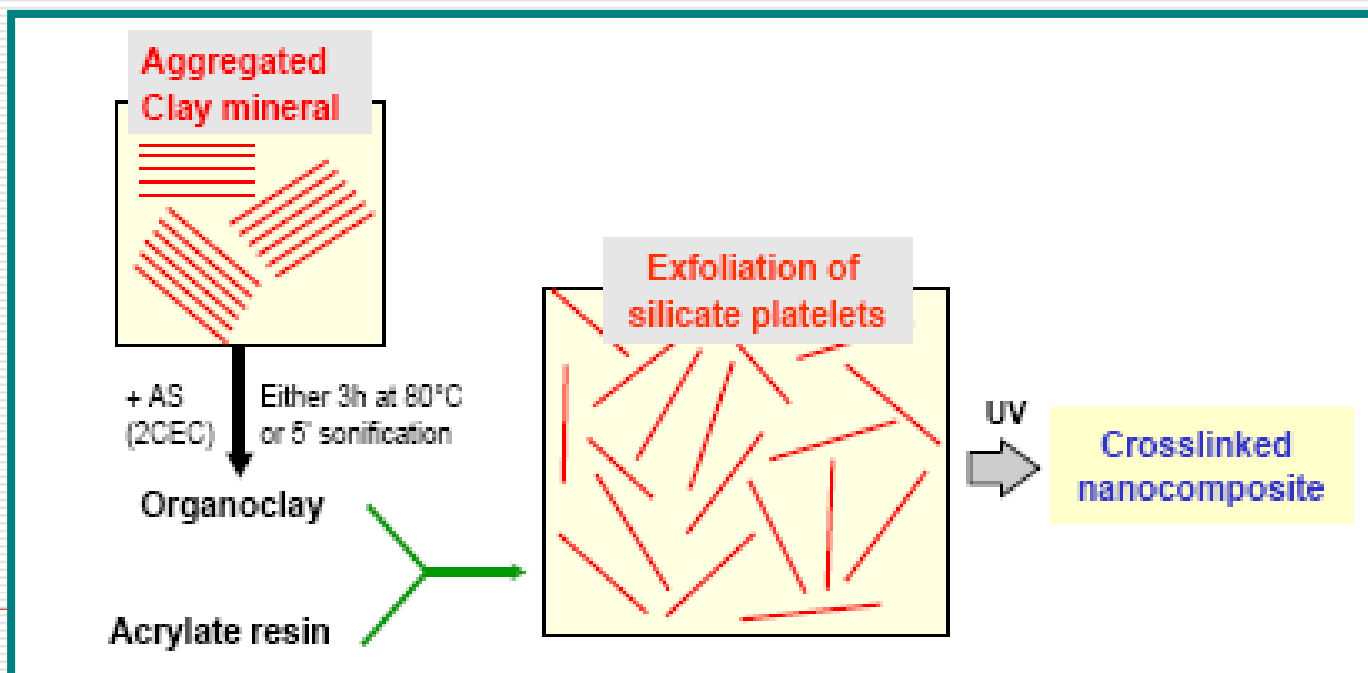
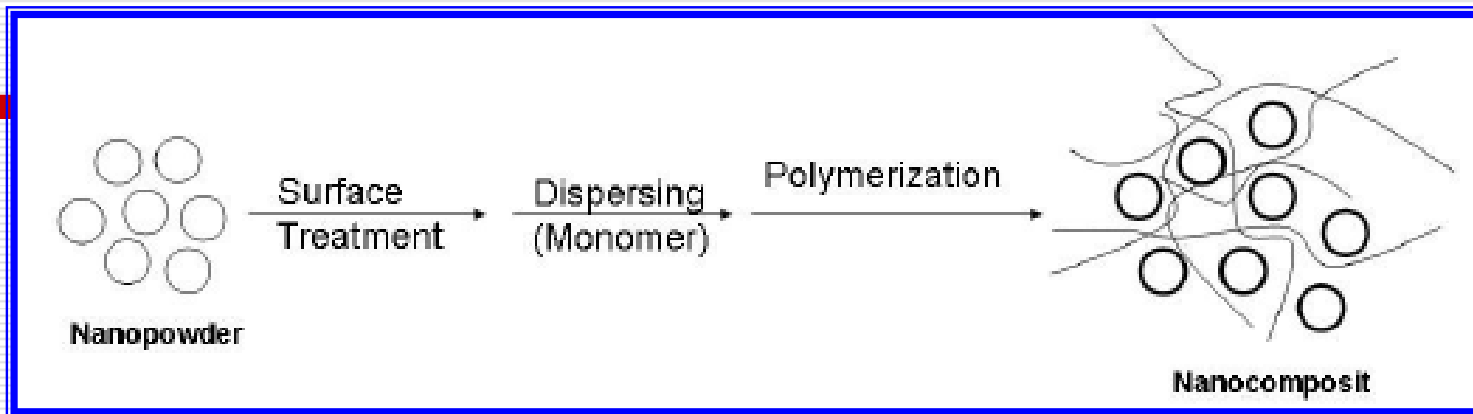
纳米粒子	三维纳米尺寸
纳米管	二维纳米尺寸
纳米粘土	一维纳米尺寸



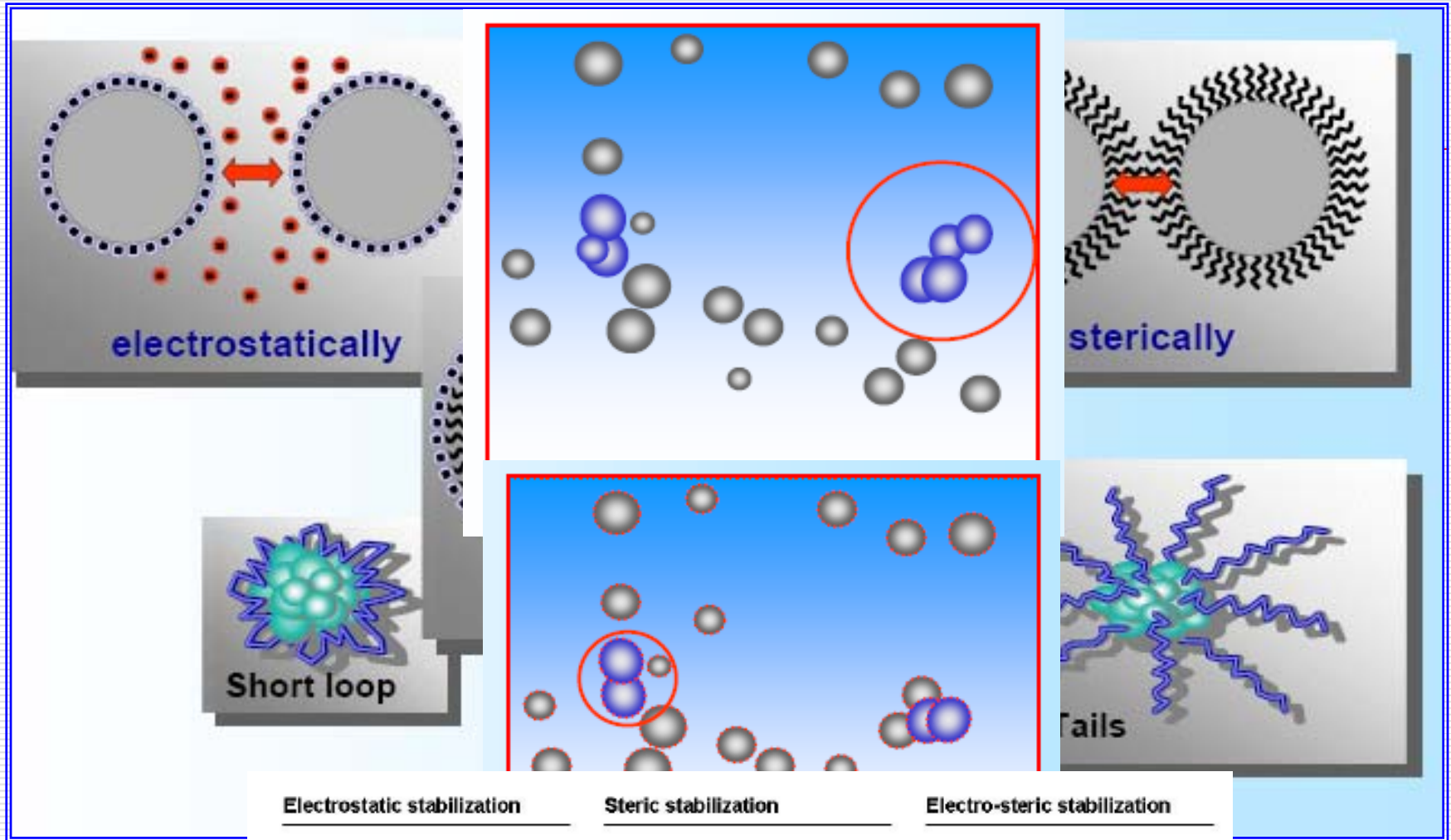
层间具有明确的空间排列

分布在整个聚合物基体内

纳米材料及其聚合物复合材料的形成

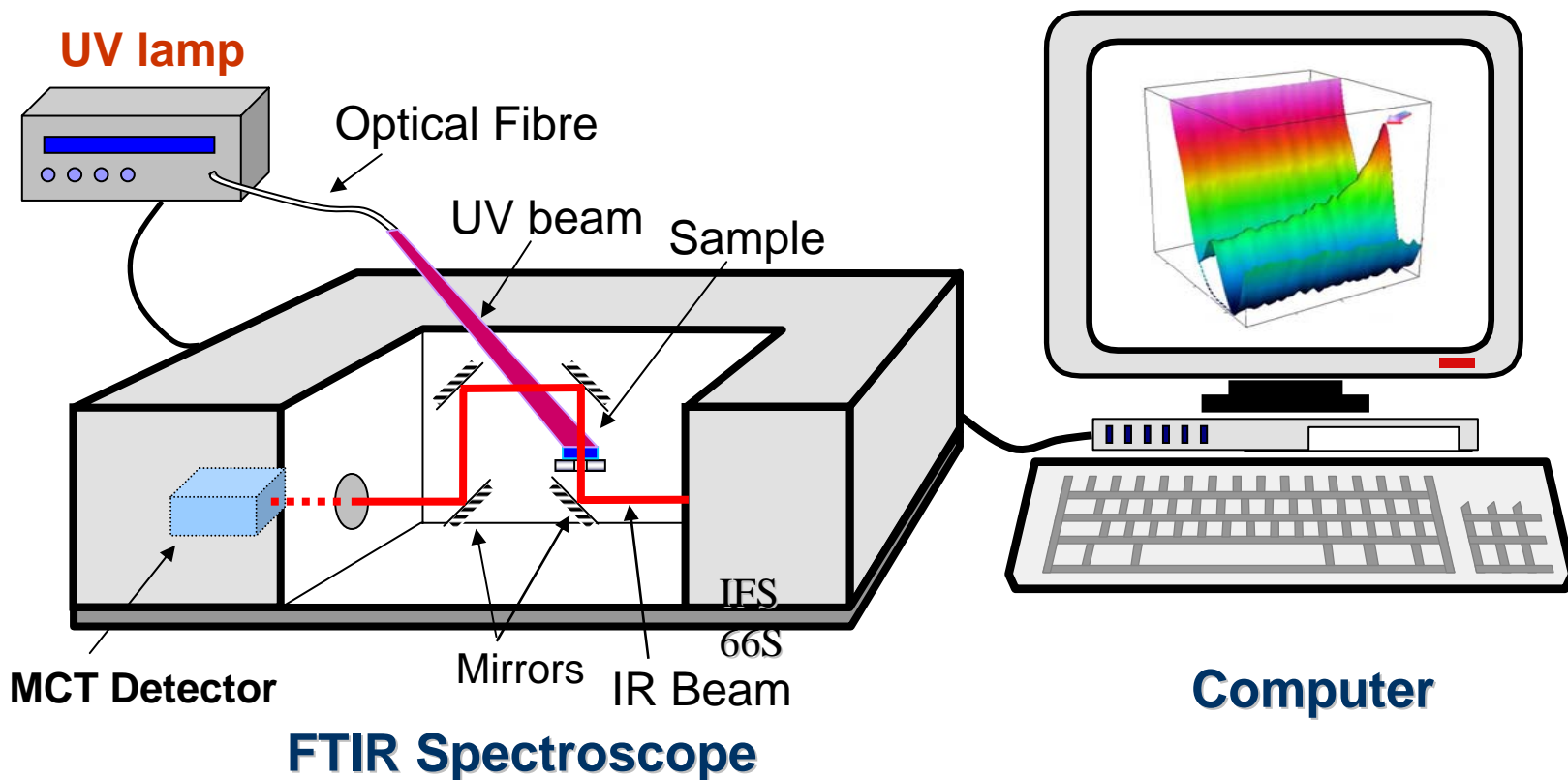


纳米粒子在树脂中的稳定及其再团聚



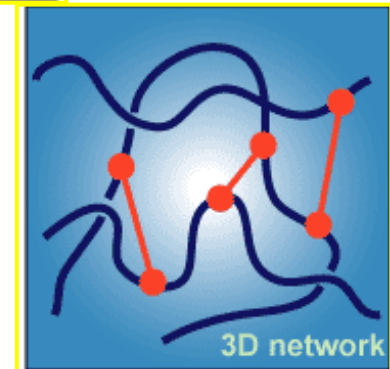
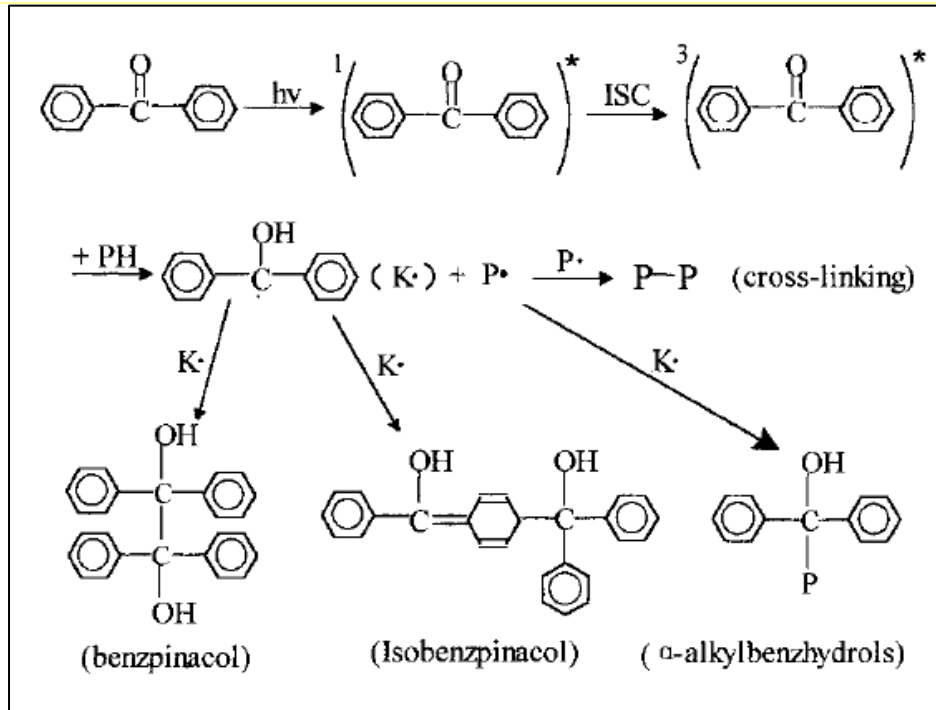
采用实时FT-IR 分析超快光化学反应

RT-FTIR



紫外光辐照交联电缆新技术

以聚烯烃为主要原料掺入适量的强化交联光引发体系，在一定条件下用紫外光照射，通过光引发剂吸收特定波长的紫外光引发产生聚烯烃自由基，从而发生一系列快速聚合反应，将单独的聚烯烃长链大分子用化学键联接成三维网状的交联聚烯烃分子结构。



中科院省部级科技成果鉴定

中科院/铁道部《科学技术成果》联合鉴定

1999年9月，中科院和铁道部《科学技术成果》联合鉴定。**专家意见**：“紫外光辐照交联聚乙烯绝缘电缆生产新技术为交联电缆生产开拓了一条新途径，处于国际领先水平”。

2000年8月建成国内外首条光交联电缆生产线，在中国通信信号总公司焦作铁路电缆厂投入批量生产。

2007年6月聘请清华大学、国家电线电缆检测中心、上海电缆研究所、武汉高电压研究所等国内权威专家对“10 kV紫外光辐照交联电缆和电缆材料》进行了鉴定。

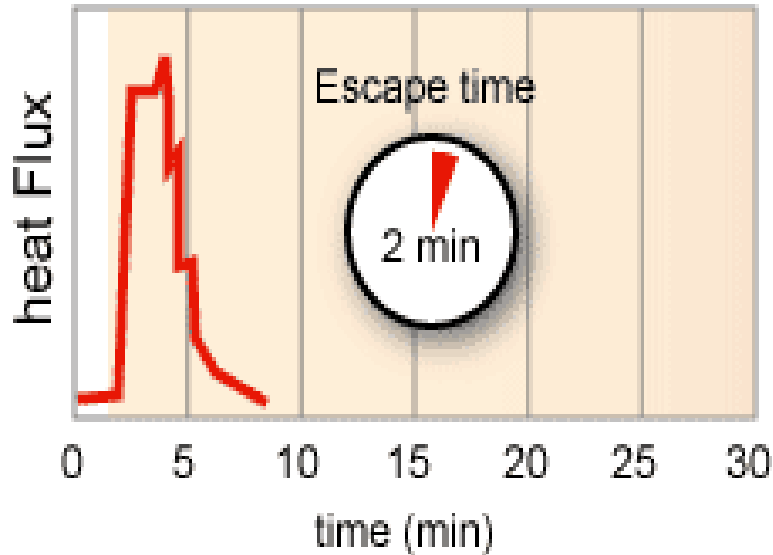


专家意见：“10kV紫外光辐照交联聚乙烯绝缘电力电缆生产新技术是一项我国自主开发，具有自主知识产权的创新成果，为交联电缆生产技术开拓了一个新途径，处于国际领先水平”。



低烟无卤阻燃光交联聚烯烃材料

without FR



没有使用交联阻燃电缆时
逃生时间仅为2分钟

with FR



使用交联阻燃电缆时
逃生时间可延长到20分钟



Thanks for your attention!

