

# 迅速发展的 LCVD 技术

王庆亚 张玉书

(吉林大学电子工程系集成光电子学国家重点联合实验室吉林大学实验区, 长春, 130023)

**摘要:** 本文简要回顾了近十年来激光 CVD(LCVD)技术的发展概况及其在金属、电介质和半导体薄膜生长方面的应用情况。阐明了这种新发展起来的成膜技术不仅因其生长的低温化能够给器件带来优良的电学特性, 同时也可利用其高精度的膜厚控制特性获得新结构的材料和器件。作者还对该技术的广泛的应用前景予以展望和肯定。

**关键词:** LCVD 金属膜 电介质膜 半导体膜 光化学反应

## Rapid developing LCVD technology

Wang Qingya, Zhang Yushu

(The Department of Electronics & Engineering of Jilin University, Jilin Univ.  
Division of Integrated Photoelectronics Union Lab.)

**Abstract:** In This paper, the development process and the application of LCVD technology in growing the metal film, dielectric film and semiconductor film in during the past ten years are reviewed. With this technology, not only the conventional devices can get the excellent electronic features because of low growth temperature, but also the new structure materials and new devices can be manufactured for using the high accurate thickness control. The wide application prospect of LCVD technology is described here.

**Key words:** LCVD metallic film dielect film semiconductor film photo-chemical decomposition

## 一、引言

光 CVD 技术是利用光能使气体分解并促进表面反应的一种成膜方式<sup>[1]</sup>。激光尤其是 80 年代准分子激光器的出现使得激光 CVD(LCVD)技术占据了主导地位, 并且对 CVD 技术的发展起到了巨大的推动作用。

LCVD 技术较常规 CVD 技术主要有低温、低损伤、膜厚精确可控以及选择生长等方面优点<sup>[2]</sup>, 它已被成功地应用于半导体、金属、电介质薄膜的制作中。其中在图形转换、直接图形描绘<sup>[3~5]</sup>和单原子层生长(ALE)方面<sup>[6~14]</sup>的研究尤为活跃。另外, 人工合成新材料的探索也日益

引人注目。在集成光学中,微透镜及微型光学元件制作上<sup>[15,16]</sup>的应用也正在取得不断进展。当然激光成膜技术并不仅限于LCVD,其它还有如激光照射液相沉淀<sup>[17,18]</sup>、激光物理蒸发及溅射等<sup>[19]</sup>方式。最近在涂有有机分子膜衬底上用LCVD分解成膜技术也有了报导<sup>[20]</sup>。本文主要对激光CVD技术的基本原理、发展现状、应用实例及前景作简要概述。

## 二、LCVD 概况

LCVD是在吸收了传统CVD、LPE以及MBE等优点后,结合迅速发展起来的准分子激光技术,以光促化学反应理论依据而发展起来的一项新技术。

### 1. LCVD 设备

LCVD设备如图1<sup>[21]</sup>,它与传统CVD工艺不同之处仅在于:它增加了平行及垂直于衬底表面的光学窗口,以利于激光束的导入,同时考虑到光分解后的沉积影响,窗口需通气吹淋进行保护。

### 2. 光源及气源

对于光源和气源,两者之间存在着相互的选择性。对激光衬底加热情形,这种选择性较弱,只要衬底能够吸收的光源几乎都可选用。但人们对于LCVD尤其感兴趣之处在其光化学反应,这时要求对一种气源必须选择尽可能吸收较强的波长激光光束。表1为人们通常选用的激光波长及有关特性,表2<sup>[22]</sup>为人们更感兴趣的真空紫外波长激光特性,表3为目前生长各种金属、半导体、电介质薄膜生长中常用的气体原料,表4为其中一部分的光谱吸收特性。利用上述各表,我们可以在生长某一薄膜时,选择最佳的气体源和相应激光光源。

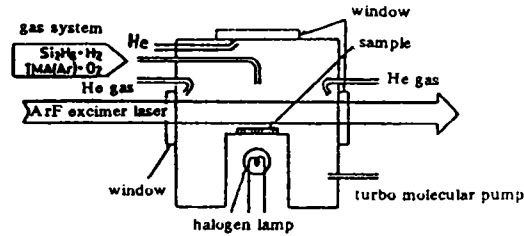


Fig. 1 Laser CVD apparatus

Table 1 Different kind of lasers usually be used in LCVD

laser	wavelength ( $\mu\text{m}$ )	operation model	characterization
CO <sub>2</sub>	10.6	pulse	* IR, high power
		CW	* several wavelength selections
Nd:YAG	1.06	pulse	* near IR multi-operation-mode with high power
		CW Q-switch	* easily to transfer to multiple-frequency (short wavelength) operation
ions		CW	* visible, high power
Kr			* may output 5W, UV 0.337~0.364 $\mu\text{m}$ all lines
Ar			
excimer		pulse	* UV high power pulses
XeCl	0.308		* far UV laser, they are more suitable for chemical decomposition
KrF	0.248		
ArF	0.193		

Table 2 Vacuum UV laser

laser wavelength(nm)	excitation
ArF	193
	e-beam discharge
Xe <sub>2</sub>	172
Kr <sub>2</sub>	146
Ar <sub>2</sub>	83(f)
Ne <sub>2</sub>	50(f)
F <sub>2</sub>	157
	e-beam discharge
H <sub>2</sub>	110
	discharge

(f) : fluorescence only

Table 4 Absorbing characteristics of some representing resources

resource	absorbspotin limit (nm)	maximum (nm) absorption
SiH <sub>4</sub>	160	120
Si <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	210	
O <sub>2</sub>	242	
O <sub>3</sub>	300	250
CO <sub>2</sub>	228	
NO <sub>2</sub>	398	
N <sub>2</sub> O	240	180
NH <sub>3</sub>	210	190
PH <sub>3</sub>	220	<200
P <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	260	<220
B <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	200	180
H <sub>2</sub> S	270	
HCl	280	
Cl <sub>2</sub>	400	340
Br <sub>2</sub>	510	400
CFCl <sub>3</sub>	265	
CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	240	
CCl <sub>4</sub>	235	
CH <sub>3</sub> Br	250	200
CH <sub>3</sub> Cl	200	<180
BrCCH	280	210
Al(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	260	
W(CO) <sub>6</sub>	300	
Mo(CO) <sub>6</sub>	300	

Table 3 Source materials usually be used in LCVD

group	film	gas sources
semi.	IV	C
		CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
		Si
		SiH <sub>4</sub> , Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , Si <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , SiCl <sub>4</sub>
	Ge	GeH <sub>4</sub> , Ge(CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>
	Sn	SnCl <sub>4</sub> , Sn(CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>
	SiC	SiH <sub>4</sub> /Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub> + C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
III - V	GaAs	Ga(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + AsH <sub>3</sub>
	GaP	Ga(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + PH <sub>3</sub>
	InP	In(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + PH <sub>3</sub> , (CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> InP(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + P(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>
I - VI	ZnSe	Zn(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + Se(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub>
	ZnO	Zn(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> O
diele.	oxide	SiO <sub>2</sub>
		SiH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> O, SiH <sub>4</sub> + O <sub>2</sub>
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Al(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + N <sub>2</sub> O	
	TiO <sub>2</sub>	TiCl <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub>
nitr.	SiN <sub>x</sub>	SiH <sub>4</sub> + NH <sub>3</sub>
	PN <sub>x</sub>	PH <sub>3</sub> + NH <sub>3</sub>
carb.	TiC	TiCl <sub>4</sub> + CH <sub>4</sub> , TiCl <sub>4</sub> + C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
metal	I	Cu
		Cu(COO) <sub>2</sub> , Cu(hfac) <sub>2</sub>
		Au
		Au(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> , Me <sub>2</sub> Au(hfac)
	II	Zn
		Zn(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
		Cd
		Cd(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	III	Al
		Al(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> , Me <sub>2</sub> AlI, TIBa
	Ga	
	Ga(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	
IV	Ti	
	TiI	
	Sn	
	Sn(CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	
V	Cr	
	Cr(CO) <sub>6</sub>	
	Mo	
	Mo(CO) <sub>6</sub>	
	W	
	W(CO) <sub>6</sub> , WF <sub>6</sub> + H <sub>2</sub>	
VI	Fe	
	Fe(CO) <sub>5</sub>	
	Ni	
	Ni(CO) <sub>4</sub>	
	Pt	
	Pt(hfac) <sub>2</sub>	

hfac; hexafluoroacetylacetone = CF<sub>3</sub>COCHCOCF<sub>3</sub>

### 三、LCVD 原理

LCVD 原理与常规 CVD 主要不同处在于激光参与了源分子的化学分解反应。其参与方式可分三种：衬底加热、与气相态源分子光化学反应和光与衬底吸附的源分子光化学反应，其原

理可参阅图 2。

### 1. 衬底加热机理<sup>[4,23~25]</sup>

利用激光进行的物性辅助热技术是 LCVD 技术中的重要分支之一。其最大的特点是可利用 CW 激光器在衬底整体温度较低的情况下局部加热<sup>[4,23]</sup>,从而进行选择性的图形生长,同时还可以通过激光束的精确控制得到微米量级的直接图形描绘。适合于衬底加热方式的激光种类很多,如 CO<sub>2</sub>, Ar 离子, YAG, Cu 蒸气和各类准分子激光器。但衬底加热方式 LCVD 技术容易出现超出热弹性形变的晶格缺陷<sup>[24,25]</sup>,目前这种缺陷正在被人们认识和克服,使得该技术在其应用的道路上取得较大进展。

### 2. 气相态源激发机理<sup>[1,26,27]</sup>

纯气相态的源激发方式原理研究多采用光源平行衬底方向的入射方式,这时,光束射入反应室后即与室内吸收较强的气体源分子发生光化学作用。这种作用包括光子能量较高的短波长的电子态激发作用和较低能量的长波振动激发作用。作用的结果一方面可能使源分子直接分解,另一方面可能使源分子处于一种很不稳定的激发态,这些不稳定分子可以在很低的衬底加热温度下就分解。从而低温薄膜生长。这种机理的气体与光束间选择性较强,较适合于大面积的薄膜生长。

### 3. 吸附态源激发机理<sup>[29~34]</sup>

在实际的 CVD 薄膜生长过程中,往往气相源分子一通入,立即就在衬底表面形成一层吸附层。垂直光照入后会立即与这一层分子进行光分解反应,这里的吸附与反吸附、分解与反分解的动力学过程是控制 LCVD 技术薄膜生长速率的关键因素。可吸收激光光束的导入后,将发生与气态源分子类似的光化学作用,在衬底表面形成较低温度生长的薄膜。然而,令人费解的是:吸收很弱或几乎不能被气源吸收的波长激光亦可在在此情况下长出较好的薄膜,如果说是激光束的热作用,可人们却发现同一情况下衬底的温度变化很小,根本不足以使气态源分子分解。N. Putz 等人<sup>[29]</sup>认为有些气体分子在被衬底表面吸收以后,衬底的高温会使吸附的分子振动态激发,而伴随的吸收光谱亦发生了移动或展宽;Yoshinobu 等<sup>[30]</sup>则认为这是由于衬底同吸附分子间相互作用发生电荷移动,使得吸附分子的光谱特性产生了变化,而使得其在远低于 5~6eV 的分解能光束作用下激发或直接分解。光与表面吸附层分子的相互作用特性不仅使得图形生长和直接描绘得以实现,而且利用这种一层层的作用方式,人们实现了原子层生长的半导体薄膜(ALE)<sup>[8~10]</sup>,这项新技术正在为各国和科学家所关注。

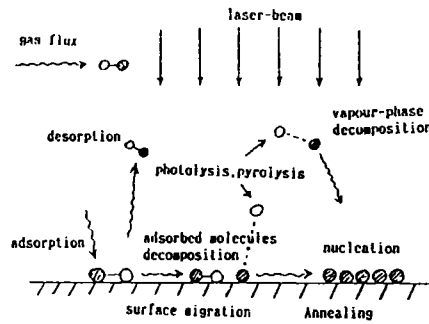


Fig. 2 Schematic illustration on the mechanism of LCVD

## 四、LCVD 技术的应用实例

虽然 LCVD 技术的反应机理尚未完全清楚,但是它诸多的优越性正使得人们迅速地将其推向实用化。目前,在金属膜、电介质膜和半导体膜的生长中,LCVD 激光技术都已经取得了许多可喜成就。

### 1. 金属膜的生长

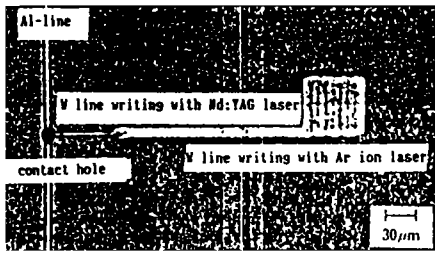


Fig. 3 Wire line's laser direct-writing (Finished with SL 464A laser direct-wiring apparatus, which was made by NEC Japan)  
Pulse Nd:YAG laser may be used to burn contact hole  
Power: about  $1\mu\text{J}/\text{pulse}$

扰;最近,人们改用 TIBA<sup>[38]</sup>和 DMAH<sup>[42]</sup>为源以及重新利用 200~320nm 倍频染料激光激发 TMA 的新工艺<sup>[43]</sup>都获得了杂质含量低的高质量铝膜。

另外,利用氩离子倍频 257nm, KrF 248nm 的紫外激光为源,已获得电阻率分别达 3.6, 7.9 $\mu\Omega$  的金属铜膜<sup>[44]</sup>和金膜<sup>[45]</sup>;同时, Zn, Cd, Cr, Mo, W 等金属薄膜<sup>[26,46,47]</sup>也在温度低于常规方法的情况下获得。但目前碳、氧杂质含量过高的问题仍急待解决。

## 2. 电介质薄膜的生长

电介质薄膜包括氧化物、氮化物和碳化物等材料,它们主要被用于 MIS 制造、绝缘膜、保护膜、抗损膜、增反透(膜)以及透明电极、光导膜和光纤膜的生长中。其中, SiO<sub>2</sub><sup>[48,49]</sup>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>[50,51]</sup>, SiC 保护膜<sup>[52~54]</sup>和 SnO<sub>2</sub> 透明电极(TTL)<sup>[55~58]</sup>的报导较多,且已取得了很大进展。

## 3. 半导体薄膜生长现状

LCVD 技术在半导体薄膜生长中的特点具有非常引人注目的优越性,因此该技术正引起人们的日益重视,并且在多种薄膜的生长中取得了很大成就。

单质半导体 Si 膜在继传统 CVD 生长技术基础上,以 SiH<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, Si<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 和 SiCl<sub>4</sub> 为原料的 LCVD 生长技术已经获得了直径达 200nm 的单晶薄膜<sup>[23,59~63]</sup>;对以各种不同激光光源激发 Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 条件下, a-Si:H 生长技术尤为活跃<sup>[21,61]</sup>,并且日本庆应大学已经利用此技术作成了 a-Si:H/a-AlO 结构的超晶格<sup>[21]</sup>。

化合物半导体薄膜生长的研究更是目前十分活跃的 LCVD 技术领域之一。其中,以 TMA (或 TEG, TIBG)和 AsH<sub>3</sub> 为源的 GaAs 薄膜的生长过程、生长机制以及各种不同激光源波长的关系,已被人们进行了深入细致的研究<sup>[8~10,64~67]</sup>。目前,人们已经能够利用氩离子激光和 ArF 激光器得到电学特性良好的 GaAs 薄膜<sup>[64~67]</sup>和单原子层生长(ALE)的高精度薄膜<sup>[8~10]</sup>;另一种 III~V 化合物半导体 InP 在 GaAs 衬底 320℃ 温度, 248nm 的 KrF 和 351nm 的 XeCl 激

由于 LCVD 法生长金属膜衬底温度低同时可通过光学模板或光束扫描实现无掩膜图形生长,使得这项技术在大规模集成电路的配线直接沉积<sup>[3~5,35]</sup>(如图 3)<sup>[35]</sup>,配线修正<sup>[36~39]</sup>(如图 4)<sup>[36]</sup>以及分立元件 MOSFET 的电极沉积中<sup>[38,40]</sup>都已得到了广泛的应用。LCVD 技术沉积的金属膜不仅过程大大简化而且可通过精确控制光斑尺寸,实现亚微米量级的微细加工。

金属铝是具有高度可靠性和较高熔点的最常用电极材料和 IC 配线材料。80 年代初期,人们一直试图采用三甲基铝(TMA)为源用 LCVD 技术生长铝膜<sup>[26,41]</sup>,但总是被含碳量过高的问题所困

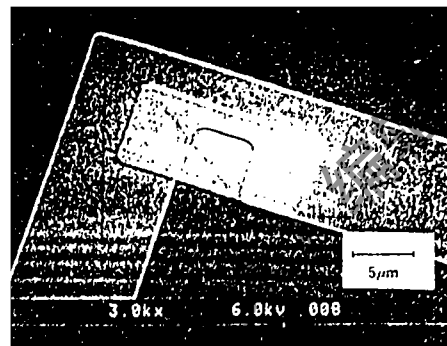


Fig. 4 The repair of photo-mask using LCVD apparatus  
Model of the apparatus: laser repairer SL 454A (NEC Japan)

光照射下也得到了形貌良好的薄膜<sup>[68,69]</sup>。Ⅰ~Ⅵ族化合物半导体薄膜 CdTe, HgTe, Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te, 尤其 ZnSe 是继 GaAs 之后, 因其广泛的应用价值而倍受青睐的材料之一<sup>[70,71]</sup>。目前, 在基板温度 200~400℃ 是 ArF 激光照射下, 已经得到较高荧光强度的薄膜<sup>[70]</sup>。

半导体薄膜就目前来看, 虽然还未能取得像金属膜一样的应用性, 然而由于它的低温生长特性、选择生长特性和精度可达单原子层的高精度生长特性, 使得这项技术在陡峭界面和精确厚度要求的变容管、IMPATT、量子阱、超晶格等材料和器件以及调制掺杂技术中显示出了巨大的优越性。

## 五、结 束 语

从激光波长、材料特性以及光化学反应特性来看, LCVD 不仅应该具有文中述及的各种优越性, 而且更是新材料新结构器件制作的突破口。目前的困难主要是由于紫外激光因其波长短能量高, 所以光化学反应是往往使得源分子直接进行, 而容易生成不易带走的单质杂质如 C, O 等。那么, 如何恰当选用适宜波长的激光器以及选用何种不易残留杂质的新气体源, 将是解决上述困难的一个重要方式。随着新形式连续可调波长的高能量激光器的发展以及新的气体源的合成, LCVD 技术必将在未来新结构材料新结构器件的发展中发挥更大的作用。

## 参 考 文 献

- 1 英贡. 应用物理, 1983;52(7):560~566
- 2 藤田. 工业材料, 1989;37(4):43
- 3 Gilgen H H, Cacouris T, Shaw P S *et al.* Appl Phys, 1987;B42:55
- 4 McWilliams B M, Herman I P, Mithitsky F *et al.* A P L, 1983;43(10):946
- 5 Chen C L, Black J G, Mahoney L J *et al.* Electron Lett, 1987;23(8):402
- 6 目黑多加志, 新井孝幸, 岩井壮八 *et al.* レーザー科学研究, 1991;13:114
- 7 目黑多加志, 岩井壮八, 青柳克信. 应用物理, 1988;57(11):1728
- 8 Hironori Ishikawa, Yoshito Kawaku, Masahiro Sasaki *et al.* Japan J A P, 1989;28(12):L2327
- 9 Atsutoshi Doi, Yshinobu Aoyagi, Susumu Namba. A P L, 1986;48(26):1787
- 10 Bedair S M, Medermott B T, Ide Y *et al.* J Crystal Growth, 1988;93:182
- 11 Meguro T, Suzuki T, Ozaki K *et al.* J Crystal Growth, 1988;93:190
- 12 Denbaars S P, Dapkus P D, Beyler C A *et al.* J Crystal Growth, 1988;93:195
- 13 Simko J P, Takashi Meguro, Sohachi Iwai *et al.* Japan J A P, 1992;31:L1518
- 14 Yoshito Kawakyu, Hironori Ishikawa, Masahiro Sasaki *et al.* Japan J A P, 1989;28:(8):L1439
- 15 Sugimura A, Fukuda Y, Hanabusa M. J A P, 1987;62:3222
- 16 英贡. 光学, 1990;19:236
- 17 Haigh J. J Material Science, 1983;18:1072
- 18 Chen C J. J Vac Sci Technol, 1987;A5(6):3386
- 19 Dijkkamp D, Venkatesan T, Wu X D *et al.* A P L, 1987;51(8):619
- 20 Beeson K W, Clements N S. A P L, 1988;53(7):547
- 21 松本 智, 和田纯一. Trans IEE Japan, 1990;110-C(12):729
- 22 佐佐木直, 黑泽 宏. 光学, 1991;20(9):570
- 23 Ehrlich D J, Tsao J Y. A P L, 1984;44(2):267
- 24 El-Masry N A, Hussien S A. SPIE, 1989;1190:41
- 25 Yoshinobu Aoyagi, Manabu Kanazawa, Atsutoshi Doi *et al.* J A P, 1986;60(9):3131

- 26 Ehrlich D J, Osgood R M, Jr, Deutsh T F. *J Vac Sci Technol*, 1982;21(1):23
- 27 Hanabysa M. *Materials Science Reports*, 1987;2(2):51
- 28 星之内, 森田, 大西. *オプトロニクス*, 1988;10:104
- 29 Putz N, Heinecke H, Veuhoff E *et al.* *J Crystal Growth*, 1984;68:194
- 30 Yoshinobu Aoyagi, Manabu Kanazawa, Atsutoshi Doi *et al.* *J A P*, 1986;60(9):3131
- 31 Froidevaux Y R, Salathe R P, Gilgen H H *et al.* *Appl Phys*, 1982;A27:133
- 32 Chen C J, Osgood R M. *Appl Phys*, 1982;A31:171
- 33 Ehrlich D J, Osgood R M. *Thin Solid Films*, 1982;90:287
- 34 Ehrlich D J, Tsai J Y. *J Vac Sci Technol*, 1983;B1(4):969
- 35 村上 他. レーザー直描配線装置 SL464A, NEC 技報, Aug. 1989;42(8):72
- 36 村上, 吉也. レーザCVDによるクロム膜の形成; 堆積膜の特性評価. 昭和63年レーザー学会学术講演会第8回年次大会, 1988;18a(114):131
- 37 Oprysko M M, Beranek M W. *J Vac Sci Technol*, 1987;B5(2):496
- 38 Blonder G E, Higashi G S, Fleming C G. *A P L*, 1987;50(12):766
- 39 Randall J N, Ehrlich D J, Tsao J Y. *J Vac Sci Technol*, 1985;B3(1):262
- 40 Tsao J Y *et al.* *IEEE E D L*, 1982;EDL-3(6):164
- 41 Tsao J Y, Ehrlich D J. *A P L*, 1984;45(6):617
- 42 Cacouris T, Scelsi G, Shaw P *et al.* *A P L*, 1988;52(22):1865
- 43 Beuermann Th, Stuke M. *Appl Phys*, 1989;B49:145
- 44 Houle F A, Jones C R, Baum T *et al.* *A P L*, 1985;46(2):204
- 45 Baum T H, Jones C R. *J Vac Sci Technol*, 1986;B4(5):1187
- 46 Ehrlich D J, Osgood R M Jr, Deutsch T F. *IEEE J Q E*, 1980;QE-16(11):1233
- 47 Solanki R, Boyer P K, Collins G J. *A P L*, 1982;41(11):1048
- 48 Boyer P K, Roche G A, Ritchie W H *et al.* *A P L*, 1982;40(8):716
- 49 Sugiura A, Hanabusa M. *Japan J A P*, 1987;26(1):L56
- 50 Solanki R, Ritchie W H, Collins G J. *A P L*, 1983;43(5):454
- 51 Demiryont H, Thompson L R, Collins G J. *Appl Opt*, 1986;25(8):1311
- 52 田口 他. レーザー科学研究, 1987;9:97
- 53 Bauerle D, Leyendecker G, Geittner T *et al.* *Appl Phys*, 1982;B28(2/3):267
- 54 森川 他. レーザー科学研究, 1987;15(3):160
- 55 Kunz R R, Rothschild M, Ehrlich D J. *A P L*, 1989;54(17):1631
- 56 Boyer P K, Aoki H, Yamazaki H *et al.* Excimer laser CVD of amorphous silicon nitride thin film and its application to  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ . 1986 Dry Process Symposium, (Nov. 1986):132~137
- 57 Sugii T, Ito T, Ishikawa H *et al.* *Appl Phys*, 1988;A46:249
- 58 Borsella G, Padova P De, Larciprete R. *SPIE*, 1991;1503:312
- 59 Baranaukas V, Mammana C I Z, Ielinger R E *et al.* *A P L*, 1980;36(11):930
- 60 Tanaka T, Deguchi K, Miyazaki S *et al.* *Japan J A P*, 1988;27(11):L2149
- 61 吉川, 山贺, 松本. ArF エキシマレーザー励起 CVD 法による  $\text{Si}_2\text{H}_6$  からの a-Si 生成. 应用物理学会应用電子物性研究会報告. No. 400 (Nov. 1983), 7~12
- 62 Taguchi T, Masato Morikawa, Koichi Toyoda *et al.* *A P L*, 1986;49(15):971
- 63 Toyoshima Y. *A P L*, 1987;51(23):1925
- 64 Bedair S M, Whisnant J K, Karam N H *et al.* *J Crystal Growth*, 1986;77:229
- 65 Shirley S Chu. *SPIE*, 1989;1056:188
- 66 Donnelly V M, Mdrary V R, Appelbaum A *et al.* *J A P*, 1987;61(4):1410
- 67 Yuzaburoh Ban, Hiroshi Komutsu, Masaru Takechi *et al.* *Japan J A P*, 1990;29(8):1523
- 68 Donnelly V M, Geva M, Long J *et al.* *A P L*, 1984;44(10):951

# 可调谐钛宝石双波长激光 在 $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>晶体中和频

周卫东\* 邬承就 韦丽 吴路生 赵梅荣 朱卫东

(中国科学院安徽光学精密机械研究所,合肥,230031)

**摘要:** 根据 BBO 晶体 Sellmeier 方程确定的折射率,计算了在钛宝石激光可调谐波段的和频相位匹配角。结果与实验基本一致。实验发现了 407.3~384.6nm 可调谐的紫-紫外相干光。

**关键词:** BBO 和频 调谐 钛宝石 双波长激光

## Sum frequency effect of tunable Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> double-wavelength laser radiation in $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub> crystal

*Zhou Weidong, Wu Chengjiu, Wei Li  
Wu Lusheng, Zhao Meirong, Zhu Weidong*

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** According to Sellmeier's equations for BBO crystal, the relationship of phase matching angle of generating the sum frequency effect to wavelength is theoretically calculated. A tunable Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> double-wavelength laser is used as the laser source and the violet-UV pulse sum frequency laser radiation is established. The experiments show the excellent agreement with theoretical calculation.

**Key words:** BBO sum frequency tunable Ti : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> two wavelength laser

\* 1993 年毕业硕士研究生。

69 Donnelly V M, Brasen D, Appelbaum A *et al.* J A P, 1985;58(5):2022

70 Shinn G B, Gillespie, Wilson W L Jr. A P L, 1989;54(24):2440

71 Olson G L, Brewer P D, Zinck J J *et al.* SPIE, 1989;1190;2

作者简介:王庆亚,男,1968 年出生。博士。现主要从事 LCVD 技术的薄膜生长及其质量的研究工作。

张玉书,男,1938 年出生。教授。研究方向半导体光电子学,现主要从事准分子激光微细加工技术研究工作。

收稿日期:1993-02-24 收到修改稿日期:1993-10-20