第18卷第11期　　半 导 体 学 报　　Vol. 18, No. 11
1997年11月　　CHINESE JOURNAL OF SEMICONDUCTORS　　Nov., 1997

使用金刚石膜热沉的半导体激光器特性研究

顾长志　金曾孙　吕宪义　邹广田

（吉林大学超硬材料国家重点实验室　长春　130023）

屠玉珍　方祖捷

（中国科学院上海光机所　上海　201800）

摘要　比较了使用金刚石膜热沉和传统的铜热沉的半导体激光二极管列阵在热阻和光输出功率方面的特性. 与使用Cu热沉的器件相比，采用厚度为350～400μm，热导率在12～14W/(K·cm)的金刚石膜作为热沉的二极管列阵可使热阻降低45～50%，阈值电流明显降低，而光输出功率提高25%，稳定性得到改善. 表现出金刚石膜热沉在半导体器件散热方面的明显优势.

EEACC：4320J，0170J，0590

1　引言

目前半导体激光器普遍使用的散热材料是铜热沉，铜的热导率仅为4W/(K·cm)，其散热能力是有限的；而金刚石膜的热导率是所有物质中最高的，天然Ⅱa型金刚石的热导率为20W/(K·cm)，是铜热导率的5倍，同时金刚石的电阻率可达10^{15}～$10^{16}\Omega\cdot$cm，因此采用既电绝缘又高导热的金刚石作为大功率半导体激光器的热沉是比较理想的，必将起到较明显的散热(和绝缘)效果. 采用天然或高压金刚石作为热沉的研究工作很早就已经开始了. 1967年Dyment等人首次利用天然Ⅱa型金刚石制作了半导体激光器的热沉[1]；Yazu等人于1988年又报道了使用高压金刚石制作半导体器件热沉的结果[2]，二者均在降低热阻和提高输出功率方面取得了明显的效果. 但天然或高品质高压金刚石在价格和尺寸等方面的限制阻碍了金刚石热沉的广泛应用. 随着化学气相沉积(CVD)金刚石薄膜技术的发展，制备大面积低成本的金刚石膜成为可能，从而使金刚石膜应用范围得到了明显的拓展，金刚石膜热沉已成为金刚石膜应用的一个重要领域[3]，引起了国内外研究者的普遍兴趣，但由于在高导热金刚石膜的制备、热沉的加工及激光器组装等方面的问题，这一领域的研究是不

顾长志　男，1964年生，副教授，从事薄膜材料与器件的研究工作
金曾孙　男，1941年生，教授，博士导师，从事薄膜材料的制备与特性研究
屠玉珍　女，1942年生，副研究员，从事半导体激光器的研制工作
1996年8月29日收到初稿，1997年3月6日收到修改稿

充分的[4].

本文报道采用微波等离子体 CVD(MWPCVD)方法制备金刚石膜，利用激光修饰与机械研磨相结合的抛光技术和真空蒸镀方法加工金刚石膜热沉，研究了使用金刚石膜热沉的半导体激光器的特性.

2　实验方法

金刚石膜的制备采用 MWPCVD 方法[5]，以 CH_4 和 H_2 为原料气体. MWPCVD 方法由于采用无极放电方式，反应系统内的污染源较少，便于高品质金刚石膜的合成. 通过优化工艺条件，我们制备出热导率大于 14W/(K·cm)、电阻率大于 $10^{14}\Omega\cdot$cm 的金刚石厚膜[6]，其热导率水平明显超过了铜，可以满足大功率电子元器件的散热要求.

金刚石膜的高导热，高绝缘特性使其成为大功率电子器件理想的散热衬底材料. 但用金刚石膜制作热沉，必须解决其表面光洁度，平行化，金属化及切割等技术问题，否则由于表面粗糙而造成的极高的接触电阻将会完全掩盖金刚石膜热沉在散热方面的优势. 本实验采用激光修饰和机械研磨相结合的技术抛光金刚石膜表面[7]，该技术首先使用 Nd-YAG 激光器刻蚀金刚石膜表面，以获得金刚石膜较好的平行度和平整度，其后采用机械研磨方法精细抛光金刚石膜表面，经过上述表面处理的金刚石膜的平行度为 10～15μm，表面光洁度为 0.05μm，基本满足了应用的要求. YAG 激光器还用于将金刚石膜切割成满足各种尺寸要求的膜片，通过激光器能量和聚焦点的控制，可以获得较好的切割形状，便于器件的组装. 最后采用真空蒸镀 Ti、Pt、Au 及真空高温退火技术(800～1000 ℃)实现了金刚石膜的表面金属化. 经过上述加工工艺制作的金刚石膜热沉如图 1 所示.

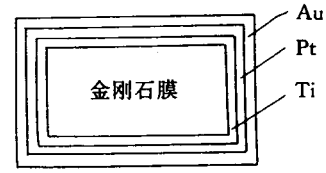

图 1　金刚石膜热沉剖面图

制作好的金刚石膜热沉按传统的制作半导体激光器的工艺进行组装. 组装前对管芯的工作特性进行了测试，尽量选择参数比较一致的芯片做对比实验，将选好的管芯分两组，分别装在金刚石膜和铜热沉上，采用 PbSn 焊料在 180℃下将激光器管芯热压在金刚石膜热沉上，形成图 2 所示的激光器结构. 需要指出的是在这种结构中金刚石膜实际上是作为过渡热沉使用的，它将激光器管芯产生的热量迅速传导给其下的铜热沉，从而提高激光器的工作特性.

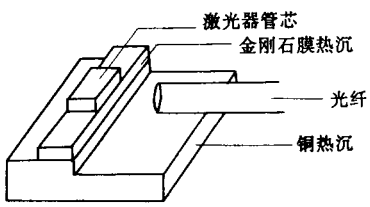

图 2　使用金刚石膜热沉的激光器结构

3　结果与讨论

大功率半导体激光的散热一直是激光器研究领域没有得到很好解决的问题. 在激光器工作时，热量主要由有源区产生，它使整个激光器管芯的温度升高，热阻增大，从而影响激光器的工作特性. 这种影响主要表现在激光器寿命缩短，输出功率降低等方面. 对于半导体激光器的热阻，除了芯片本身的热阻外，还有接触热阻，减少接触热阻是采用金刚石膜热沉制作激光器的关键[8]，本研究所采用的表面处理技术已基本满足了减少接触热阻的要求，因此在以后的讨论中可以认为接触热阻的影响基本消除.

本文对采用金刚石膜热沉的大功率半导体激光二极管列阵的热阻和光输出功率特性进

行了研究，并与采用铜热沉的激光器进行了对比实验. 首先研究了不同厚度和热导率的金刚石膜热沉对热阻的影响. 从图 3 中可以看出，当厚度大于 150μm 时，金刚石膜热沉对降低热阻已有了明显的效果，随着热沉厚度的增加，当膜厚大于 400μm 时，热阻有渐趋饱合趋势. 因此，除特殊要求，一般用做热沉的金刚石膜厚度均在 350～400μm 之间. 金刚石膜热导率对激光器热阻的影响也是明显的，当热导率大于 6W/(K·cm)，使用金刚石热沉的激光器热阻已有较明显的降低，对比铜热沉的热阻(20K/W)，考虑到使用金刚石膜热沉后接触面的增加，焊料的影响及膜片表面平整度的影响，热导率为 6W/(K·cm)的金刚石热沉所达到的降低热阻的效果我们认为是合理的. 对于热导率 12～14W/(K·cm)的金刚石膜热沉，可使激光器热阻降低 45～50%.

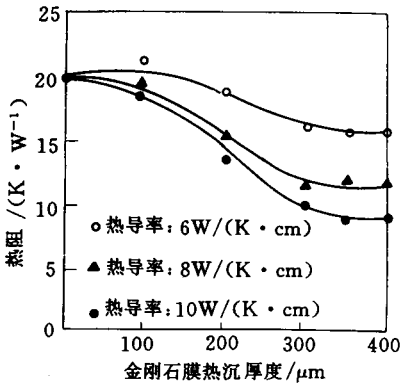

图 3 使用金刚石膜热沉的激光器热阻与热沉厚度和热导率的关系

图 4 给出了采用金刚石膜和铜热沉的激光二极管列阵在室温下的连续光输出特性曲线. 采用金刚石膜热沉的激光器的阈值电流降低了，最大输出功率从使用铜热沉的 0.8W 提高到使用金刚石热沉的 1W，光输出功率提高了 25%. 同时曲线的斜率变化也清楚地表明了使用金刚石膜热沉后器件的散热特性得到改善. 同时我们还研究了使用金刚石膜热沉和铜热沉的激光器输出功率随时间的变化特性，图 5 为激光器工作电流为 0.8A 时输出功率与工作时间的关系，它表明使用金刚石膜热沉的激光器的稳定性得到明显提高.

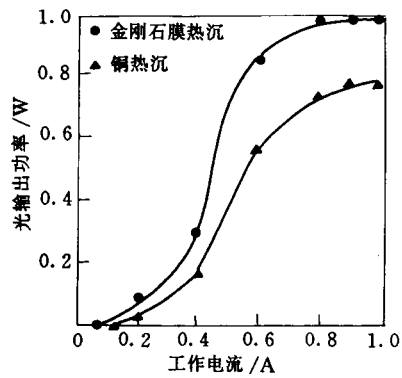

图 4 金刚石膜热沉和铜热沉激光器的光输出特性

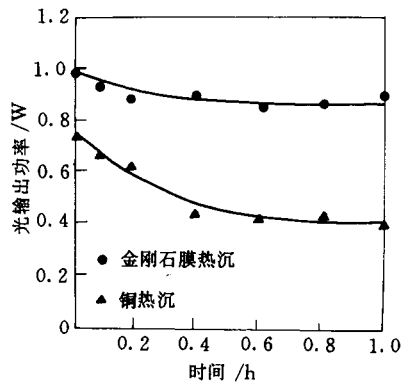

图 5 金刚石膜热沉和铜热沉激光器的光输出功率与工作时间关系

上述的实验数据是一组 10 支具有基本相同参数的管芯的平均值，基本上排除了由于工艺问题造成的偶然性误差因素.

4 结论

我们比较了使用金刚石膜热沉和铜热沉的半导体激光二极管列阵在热阻和光输出功率方面的特性. 结果表明厚度大于 150μm，热导率大于 6W/(K·cm)的金刚石膜作为热沉已

表现出明显的降低激光器热阻的效果. 与使用 Cu 热沉的器件相比，一个厚度 350～400μm，热导率在 12～14W/(K · cm)间的使用金刚石膜热沉的二极管列阵可使其热阻降低 45～50%，阈值电流明显降低，光输出功率提高 25%，稳定性得到改善. 金刚石膜热沉在大功率半导体激光器的散热方面表现出明显的优势.

致谢　感谢吉林大学电子工程系的马东阁博士和石家纬教授在热阻测试方面给予的帮助.

参　考　文　献

[1] J. C. Dyment and L. A. D'Asaro, Appl. Phys. Lett., 1967, **11**: 292～295.

[2] S. Yazu, "Some Thermal and Optical Properties of Diamond", 1st. Inter. Conf. on The New Diamond Science and Technology, Tokyo(Japan), 1988, 56～57.

[3] Grant Lu, "Application of CVD Diamond In Thermal Management", 2nd Inter. conf. on the Application of Diamond Films and Related Materials, Saitama(Japan), 1993, 269～274.

[4] M. Seal, "The Current Status of CVD Diamond Applications and Prospects for The Future", 3nd Inter. conf. on the Application of Diamond Films and Related Materials, Geithersburg(USA), 1995, 3～10.

[5] Changzhi Gu and Zengsun Jin, Chinese Physics Letter, 1996, **13**: 610～612.

[6] Changzhi Gu and Zengsun Jin, Chinese Physics Letter, 1996, **13**: 700～702

[7] 顾长志，金曾孙，王玉光，等，科学通报，1997，待发表.

[8] 姚杨猷，工程热物理学，1992，**13**: 76～78.

Semiconductor Laser Fabricated With Heat Sink of Diamond Film

Gu Changzhi, Jin Zengsun, Lü Xianyi and Zou Guangtian

(*State Key Laboratory of Superhard Materials, Jilin University, Changchun* 130023)

Tu Yuzhen and Fang Zhujie

(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai* 201800)

Received 29 August 1996, revised manuscript received 6 March 1997

Abstract　Diamond film is used as heat sink in semiconductor laser, the characteristics of thermal resistance and power output for this laser are studied. A heat sink of diamond film with thermal conductivity of 6W/(K · cm) and thickness of 150μm has a good effect in decreasing thermal resistance of laser. A heat sink of diamond film with thermal conductivity of 12～14W/(K · cm) and thickness of 350～400μm decreases thermal resistance of about 45～50%, and increases the power output of about 25%. The stability of laser is improved by using diamond heat sink.

EEACC: 4320J, 0170J, 0590