

砷化镓面发光管输出光功率 某些问题的探讨*

黎锡强 孙炳玉

(中国科学院上海冶金所)

提 要

用改进了的射频溅射仪,在 GaAs/GaAlAs DH 面发光管的窗口上沉积一层厚度近于 $\lambda/4$ 的 Al_2O_3 抗反射层后,其输出光功率增高了 30—66%。而在相同涂层条件下,退化发光管输出光功率的提高则不到 30%,这可能与其体内形成缺陷有关。

一、引 言

用于光通信的 GaAs/GaAlAs DH 面发光管的内量子效率高于 80%,但受窗口与空气界面的高反射率,以及体内多次反射和吸收等的影响,致使外量子效率一般低于 3%。在实际应用中,要求发光管有高的有效辐射度及长期稳定性。为此,文献[1,2]报道了采用透镜来提高发光管辐射度,而文献[3—5]探讨了其退化机理等问题。虽然在发光管窗口装上球面透镜可使外量子效率明显提高,但因工艺复杂,价格昂贵,实际应用受到了限制。我们研究退化发光管的结果表明,导致发光管输出光功率明显退化的主要原因是,由于在制管过程中管内产生了缺陷和应力。显然,既要使发光管的输出光功率增高,又要避免其退化,是问题之所在。本文用射频溅射涂层技术^[6],在 GaAs 面发光管窗口上沉积一层 Al_2O_3 抗反射层以提高输出光功率。并探讨退化前后输出光功率的变化,为研究面发光管退化提供某些有用的数据。有关这方面的工作尚未见报道。

二、实验及结果

利用射频溅射仪,纯 Al_2O_3 作靶,在发光窗口上沉积一层 Al_2O_3 涂层。涂层的厚度由溅射时间控制,其折射率为 1.65—1.70。二者的测定方法与文献[6]报道的相同。关于 Al_2O_3 涂层的选择,文献[6]作过某些计算及探讨,结果表明,在某些常用涂层 (Al_2O_3 , TiO_2 及 SiO_2) 中, Al_2O_3 有较低的反射率。在 20—260°C 下,其热膨胀系数 ($6.8 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)^[7] 与 GaAs 的 ($6.4 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)^[8] 极为接近。

* 1983年8月16日收到,1984年9月17日修改定稿。

GaAs 面发光管与 GaAs 边发光管^[6]的结构不同,沉积涂层时,为防止二次电子对器件可能造成的损伤,对系统作了适当改进,使能在衬底托盘表面形成“无损伤区”,把发光管置于其中进行沉积。图 1 照片为放在“无损伤区”内沉积了 Al_2O_3 薄膜的基片,其中间较亮圆区为“无损伤区”。



图 1 基片上沉积的 Al_2O_3 薄膜,中间较亮区为“无损伤区”

用于沉积涂层的 GaAs 面发光管为四层结构器件(见图 2)。一层为 p 型 GaAlAs 有源层,其两边为 n 型及 p 型 GaAlAs。腐蚀掉 n 型一面的出光部位的 GaAs 衬底,使 n 型

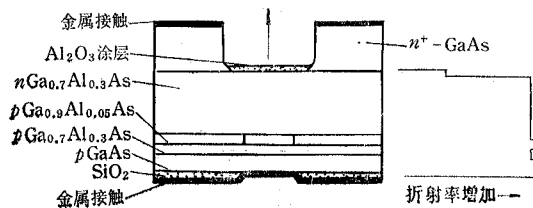


图 2 GaAs DH 面发光管结构及其相对折射率的变化

GaAlAs 层成为与空气接触的窗口。所研制的发光管分为两部分:一部分先经退化处理然后沉积涂层;另一部分则在制成后直接沉积涂层。为了获得最佳光功率输出,选择涂层厚度为 $\lambda/4$ (约 1250 \AA)。这里仅考虑了有源层的光束直接透过 n 型 GaAlAs 窗口向外发射。

窗口界面反射率对光功率增值有很大影响。涂层的光学厚度厚于或薄于 $\lambda/4$ 值时,界面反射率均较高,只有层厚度为 $\lambda/4$ 时,界面反射率最低或接近于零,光功率增值最大^[6]。故本文所用涂层选用 $\lambda/4$ 光学厚度(约 1250 \AA),或接近此厚度。在沉积涂层前后均检测发光管的电流-电压-输出光功率特性^[9]。

1. 涂层对发光管输出光功率的影响 发光管制成后,即在其发射窗口上沉积 Al_2O_3 涂层,然后测量输出光功率,结果列于表 1。从表 1 知,沉积涂层前输出光功率为 $0.340\text{—}1.850\text{mW}$;沉积了厚 $1130\text{—}1230 \text{ \AA}$ Al_2O_3 抗反射层后,输出功率增至 $0.565\text{—}2.45\text{mW}$,增高了 $30\text{—}66\%$ 。图 3 为沉积涂层前后发光管输出光功率及电压与驱动电流的典型关系。由图 3 可见,在窗口上沉积厚 1140 \AA 的 Al_2O_3 涂层后,在 200mA 驱动电流下,输出

光功率将从 0.64mW 增至 0.93mW，增高了 45%。

表 1 沉积涂层前后 GaAs 面发光管输出光功率(在 200mA 驱动电流下)的测量结果

编号	沉积涂层前的输出光功率 (mW)	Al ₂ O ₃ 涂层厚度 (Å)	沉积涂层后的输出光功率 (mW)	输出光功率增高的百分数 (%)
203A-28	1.110	1194	1.445	30
P-T-a	0.340	1235	0.565	66
47-1	0.680	1140	0.980	44
44-14	1.190	1138	1.550	30
146-13	0.640	1140	0.930	45
44-21	0.900	1193	1.280	42
258-7	1.850	1220	2.45	32

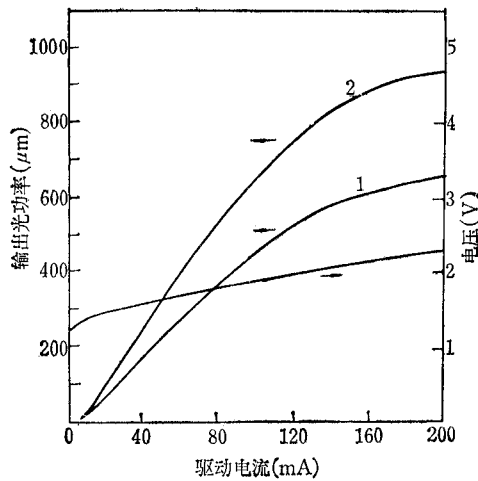


图 3 沉积涂层后面发光管输出光功率及电压与驱动电流的关系
1——沉积涂层前 2——窗口上沉积厚 1140 Å 的 Al₂O₃ 涂层后

表 2 沉积涂层前后退化面发光管输出光功率(在 200mA 驱动电流下)的测量结果

编号	退化前输出光功率 (mW)	退化条件			退化后输出光功率 (mW)	Al ₂ O ₃ 涂层厚度 (Å)	沉积涂层后的输出光功率 (mW)	输出光功率增高的百分数 (%)
		电流 (mA)	温度 (°C)	时间 (h)				
225-36	1.98	100	50	268	0.86	1224	0.95	10
223A-3	/	100	50	72	1.65*	1240	1.85*	12
242-17	2.15	150	室温	1200	0.60	1210	0.65	8
237-1	2.32	100	室温	97	1.80	1239	1.85	~3
233C-22	0.71	100	室温	44	0.36	1140	0.45	25
223A-5	0.80	100	室温	112	0.76	1090	0.96	~27
246-8	3.20	100	50	19	2.05	1186	2.70	31
256-B-7	/	100	室温	100	1.77	1187	2.32	31
233-1	1.60	100	室温	112	1.14	1244	1.31	15

* 在 180mA 驱动电流下的输出光功率。

2. 涂层对退化发光管输出光功率的影响 沉积涂层前,有部分发光管先经退化处理.退化处理是在室温或 50℃ 及 100—150mA 恒定电流下进行的,经历十几到一千多小时.退化后输出光功率明显衰减,近场光斑出现暗线、暗斑或暗区等^[3,4].在上述退化器件的窗口上沉积涂层,并以退化后的光功率作为沉积涂层的原始光功率,所得结果列于表 2.由表 2 可知,发光管退化温度高、恒定电流大、退化时间较长时,则输出光功率下降较明显.在

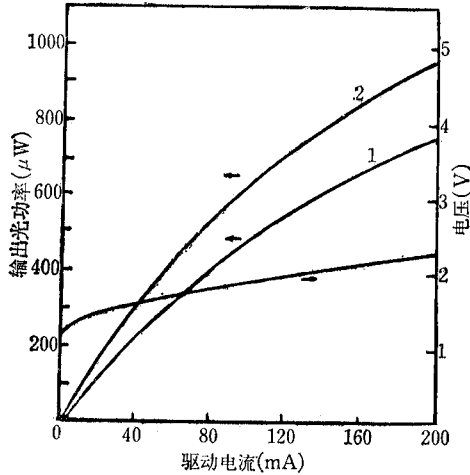


图 4 沉积涂层前后退化面发光管的输出光功率及电压与驱动电流关系
1——沉积涂层前 2——窗口上沉积厚 1090 Å 的 Al₂O₃ 涂层后

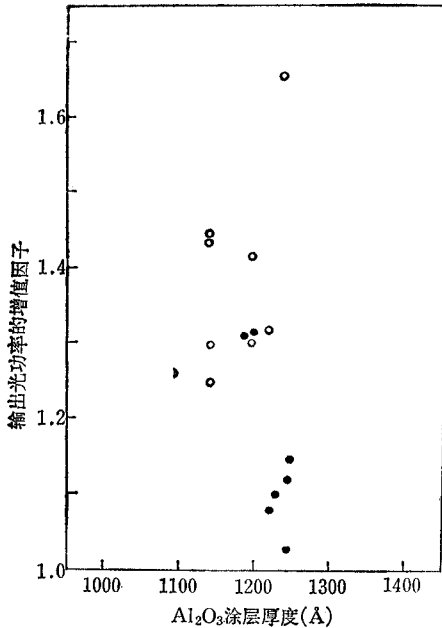


图 5 面发光管输出光功率的增值因子与 Al₂O₃ 涂层厚度的关系
○——面发光管 ●——退化面发光管

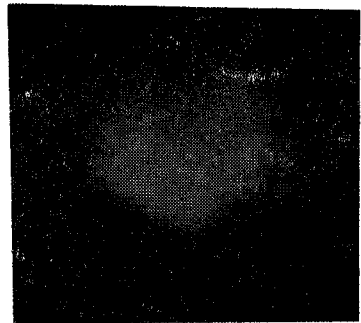
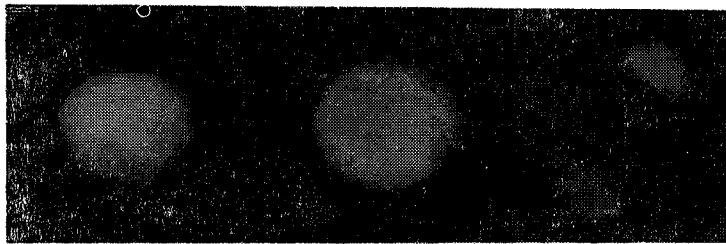


图 6 沉积涂层后发光管的近场图 (器件 47-1)

窗口上分别沉积厚 $1100\text{--}1250\text{ \AA}$ 的 Al_2O_3 抗反射层后,输出光功率的增高低于 30% 。图 4 为沉积涂层前后退化面发光管输出光功率及电压与驱动电流的典型关系。图 4 表明,在窗口上沉积厚 1090 \AA 的涂层后,在 200mA 下,输出光功率从 0.76mW 增至 0.96mW ,提高了约 27% 。我们采用的发光管在 200mA 下其电压降一般不超过 2.5V ,只有在个别情况下为 3.5V ,在表中未列出。

归纳表 1, 2 的结果,可得出上述两类发光管沉积涂层后输出光功率的增值因子与涂层厚度的关系(见图 5)。图 5 表明两类发光管的光功率增值因子存在明显区别。

3. 面发光管近场图 文献[6]指出,发光管溅射涂层后,其近场图并不变化。我们还分别检测了沉积涂层后发光管的近场图,示于图 6, 图 7 中。图 6 为发光管近场图。图 7 为退化发光管近场图。



(a) (器件 256-B-7) (b) (器件 223A-5) (c) (器件 223-1)

图 7 沉积涂层后退化发光管的近场图

三、讨 论

表 1, 2 及图 3—5 表明,在退化和未退化的发光管窗口上沉积涂层后,光功率均得到提高,但有区别。平面型结构的面发光管,其光通道如图 8 所示。从图 8 可见,来自复合中心的光束,向窗口及 p 电极表面发射。入射束往往不是反射最小的垂直入射,所以有部分光束透过窗口,有部分光束被折回,而折回的光束将在体内多次反射,并为各掺杂外层所吸收,吸收强度取决于层厚及其吸收系数,轻掺杂及环境温度低可使吸收系数降低^[10,11]。

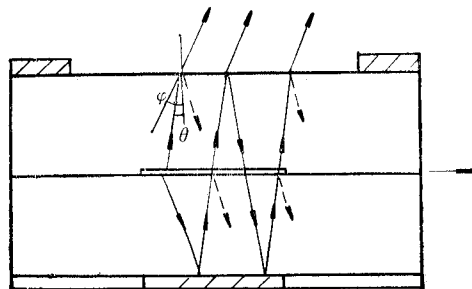


图 8 平面型发光管的光通道

窗口界面的反射,与光束入射角 θ 及临界角 φ 有关.折射率为3.4的窗口^[12],其 $\varphi \approx 17^\circ$.光束入射于窗口界面,其入射角可能小于也可能大于临界角.此时,光束可能被界面部分反射或全反射,反射的光束有部分在体内被吸收、衰减而耗尽,有部分透过窗口向外再发射出去.窗口界面外的空气被折射率为1.75的 Al_2O_3 所代替时,则 $\varphi \approx 30^\circ$. φ 值高,将使外透光束得以相应增强.实用厚度的抗反射层的吸收率一般小于0.01^[13].

窗口上沉积适当的 Al_2O_3 涂层后,降低了界面的反射率,使光功率输出得以增高.其有关原理.参见文献[6].

发光管退化导致的光功率下降,可能与 $p-n$ 结或欧姆接触变坏、热阻增加及发光面出现暗线或暗区等等有关.后者实质上是各种高密度(可达 $10^9-10^{13}\text{cm}^{-3}$)位错的集合体,是集中于发光区的应力松弛导致滑移运动的结果^[4,5].退化及未退化的两类器件中,虽然在沉积涂层前光功率大体相同,但在沉积涂层后,光功率的增值却有明显差异(表1、2及图5),对退化器件而言,除个别外,增值因子一般较低.为了探讨其问题之所在,在测量光功率后,腐蚀掉抗反射层直至窗口表面以获得新鲜界面,然后重新沉积抗反射层,再进行测量,所获结果是两次测得的光功率无明显差异,从而排除了退化器件窗口质变(如形成氧化膜等)的可能,这种可能会导致窗口表面与涂层不匹配,而使增值因子变低.

如上所述,来自发光区的光束,除部分直接透过窗口发射出去外,其余部分则经体内多次反射后再发射出去,体内反射与体内结构有关,界面反射则与窗口涂层及体内各层的折射率的相互匹配有关.而界面反射率则直接影响输出光功率的增值^[6].对于退化器件,由于体内(尤其是发光区内)出现缺陷,位错或应力,将导致缺陷区本身某些光学参数(如吸收系数或折射率等等)的畸变^[14-18],并将引起器件层结构与界面涂层不匹配等问题.文献[19]也表明,界面的反射率与各层的菲涅尔反射系数等密切相关.在折射率彼此甚为接近的四层组件中,界面反射率则取决于各层间的相互匹配.如某一层的折射率只要发生0.2的变化,界面的反射率就会出现明显的改变.实验表明:窗口沉积涂层后,退化的与未退化的发光管相比,后者输出光功率的增值较高.此外,文献[13]也间接证明,在发生界面反射及体内多次反射的 $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ 光电池中,存在体内“光陷阱”,这导致光电池的总反射率与理论值明显不一致.

发光管的近场研究表明,在某种情况下,光功率增值可能与近场存在某些联系.图5及图7(a)所示的近场较好,光功率增值也较高.图7(b)的光斑中央有一淡暗斑,而图7(c)所示的近场较差,光功率增值也较低.

GaAs发光管的退化机理甚为复杂,迄今尚未完全弄清^[3].所得初步结果表明,退化发光管沉积涂层后,输出光功率增值较低,可能与其体内存在缺陷有关,但仍需进一步研究.

四、结 论

采用改进的射频溅射技术,在GaAs/GaAlAs DH面发光管窗口上沉积厚度接近 $\lambda/4$ 的 Al_2O_3 抗反射层后,输出光功率增高了30—66%.而在相同涂层条件下,退化发光管输出光功率的增高则低于30%.退化后其光功率增值低,可能与器件体内产生了缺陷有

关。

本室发光小组为本项工作提供了发光管,史智华等同志对本项工作给予了大力支持,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] E. G. Dierschke, L. E. Stone et al., *Appl. Phys. Lett.*, **19**(1971), 98.
- [2] Shigeki Horiuchi, Kenji Ikeda et al., *IEEE Trans. on ED*, ED-24 (1977), 986.
- [3] Shigenobu Yamakoshi, Osam Hasegawa et al., *Appl. Phys. Lett.*, **31**(1977), 627.
- [4] Osamu Oeda, Hajime Imai et al., *J. Appl. Phys.*, **51**(1980), 5316.
- [5] Osamu Ueda, Shaji Isozumi et al., *ibid.*, **50**(1979), 765.
- [6] 黎锡强、孙炳玉,发光与显示,1983年,第1期,第53页.
- [7] Plenum Pree Handbook of High Temperature Materials, No 1, Materials Index by Peter T. B. Shaffer, Plenum Pree, New York, (1964).
- [8] Shaw Nan and Liu Yihuan, *Scientia Sinica*, **14**(1965), 1582.
- [9] 陈瑞璋等,光纤通讯,1980年,第2期,第53页.
- [10] W. G. Spitzer and J. M. Whelan, *Phys. Rev.*, **114**(1959), 59.
- [11] D. E. Hill, *J. Appl. Phys.*, **36**(1965), 3405.
- [12] 潘慧珍等,电子学通讯, **3**(1980), 22.
- [13] J. A. Bragagnolo and L. C. Dinetta, *J. Vac. Sci. Technol.*, **18**(1981), 364.
- [14] A. M. Glass, *Canada J. Phys.*, **43**(1965), 12.
- [15] G. B. Stringfellow and P. E. Greene, *J. Appl. Phys.*, **40**(1969), 502.
- [16] G. P. Kekelidze, N. P. Kekelide et al., *Defects and Radiation Effects in Semiconductors*, Oiso, Japan, Sept (1980), 275.
- [17] T. Enod, Y. Nakanishi, et al., *ibid*, Sept (1980), 299.
- [18] R. A. Polimadei, S. Share et al., *IEEE Trans. on NS*, NS-21 (1974), 96.
- [19] J. T. Cox and G. Hass, *Physics of Thin Films*, Vol. 2, Academic Press, New York, (1964), 239—303.

INVESTIGATION OF PROBLEMS ABOUT THE LIGHT POWER OUTPUT OF GaAs/GaAlAs DH SURFACE EMITTING DIODES

Li Xiqiang, Sun Bingyu

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

A modified conventional RF sputtering equipment was used in preparing the Al₂O₃ antireflective coating (ARC). An increase in the light power output of 30—66% at a driving current 200 mA for the GaAs/GaAlAs DH LEDs coated on light emitting surface with ARC thickness of about $\lambda/4$ has been obtained. In the same case a light output increase of less than 30% for these degraded LEDs has been determined. It may probably be attributed to the defects formed in the bulk of the Ga_{1-x}Al_xAs crystals caused by degradation of diodes restrict the increase of light output.