介质阻挡放电中 D_{2h} 超点阵斑图的研究

韩蓉, 董丽芳*, 黄加玉, 孙浩洋

河北大学物理科学与技术学院, 保定 071002

*联系人, E-mail: donglf@hbu.edu.cn

收稿日期: 2018-07-13; 接受日期: 2018-11-07; 网络出版日期: 2019-02-25

国家自然科学基金(编号: 11375051)和河北省教育厅项目(编号: LJRC001)资助

摘要 在介质阻挡放电系统中, 首次观察到一个由六边形点阵和四边形点阵嵌套而成的 D_{2h} 超点阵斑图. 采用高速照相机(ICCD)研究了 D_{2h} 超点阵斑图的时空动力学结构, 分析可知: D_{2h} 超点阵斑图是由六边形子点阵、晕和四边形子点阵相互嵌套而成, 且在每个外加电压半周期内子点阵的放电顺序依次为: 六边形子点阵、晕、四边形子点阵. 通过分析演化过程中出现的一系列斑图, 发现对称性的演化顺序为: D_{4h} - D_{4h} 和 D_{6h} 的混合态- D_{2h} - D_{2h} , 演化过程中斑图的对称性逐渐降低. 通过分析子结构的对称性发现六边形子点阵、晕和四边形子点阵均属于 D_{2h} 点群. 利用发射光谱法采集了氮分子(N_2)第二正带系($C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$)的发射谱线和氩原子696.57 nm ($2P_2 \rightarrow 1S_5$)处的发射谱线, 并计算得到了 D_{2h} 超点阵斑图中不同子结构的分子振动温度和电子密度. 结果显示3套不同子结构的分子振动温度和电子密度相近, 由此表明3套不同子结构的等离子体状态基本相同. 最后, 用壁电荷理论对斑图的形成进行分析.

关键词 介质阻挡放电, D_{2h} 超点阵斑图, 对称性, 等离子体参量

PACS: 47.54.-r, 52.35.Mw, 52.50.Dg, 52.80.Tn

1 引言

斑图广泛存在于瑞利-贝娜德系统、对流系统、反应扩散系统、非线性光学系统和介质阻挡放电系统等实验系统中^[1-9]. 介质阻挡放电(Dielectric Barrier Discharge, DBD)是将绝缘介质插入放电空间的一种非平衡态气体放电, 又称介质阻挡电晕放电或无声放电^[1-10]. 介质阻挡放电系统由于其装置简单易于操作且产生的斑图种类多样而成为倍受关注的非线性斑图的形成系统^[10-12]. 在介质阻挡放电系统中通过普通水

电极作为放电电极观察到的斑图种类很多, 其中包括圆环斑图^[9,13]、 D_{4h} (含有对称操作 E , $5C_2$, C_4 , C_4^3 , S_4 , S_4^3 , i , σ_h 和 $4\sigma_v$, 称为 D_{4h} 点群)对称性的四边形超点阵斑图^[14,15]和 D_{6h} (含有对称操作 E , $7C_2$, C_6 , C_3 , C_2^2 , C_3^2 , S_6 , S_3 , S_3^5 , S_6^5 , i , σ_h 和 $6\sigma_v$, 称为 D_{6h} 点群)对称性的六边形超点阵斑图^[16-18]. 例如 Sánchez-Álvarez等人^[19]观察到一个四边形斑图, 其由 D_{4h} 对称性的点阵构成; Dong等人^[20]观察到一个 D_{4h} 四边形发光斑图, 其由两种 D_{4h} 对称性的子点阵耦合而形成; Dong等人^[21]观察到一个3层耦合斑图, 其由3种 D_{6h} 对称性的六边形子点阵嵌套

引用格式: 韩蓉, 董丽芳, 黄加玉, 等. 介质阻挡放电中 D_{2h} 超点阵斑图的研究. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2019, 49: 065201

Han R, Dong L F, Huang J Y, et al. Study on the D_{2h} superlattice pattern in dielectric barrier discharge (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2019, 49: 065201, doi: 10.1360/SSPMA2018-00255

而形成; Bernecker等人^[22]观察到的蜂窝六边形斑图, 其由 D_{6h} 对称性的六边形子点阵和 D_{6h} 对称性的蜂窝框架嵌套而形成. 在上述的这些斑图中, 其不同子结构的宏观结构类型和对称性均相同. 本文在介质阻挡放电系统中用普通的水电极观察到一个 D_{2h} 超点阵斑图(含有对称操作 E , $3C_2$, i 和 $3\sigma_v$, 称为 D_{2h} 点群), 其是由 D_{2h} 六边形子点阵和 D_{2h} 四边形子点阵耦合而形成. 在外观上, 其与Wang等人^[23]通过带有网格的水电极作为放电电极观察到的网格斑图相似, 但值得注意的是本课题组观察到的 D_{2h} 超点阵斑图是在未经调制的情况下形成的. 该斑图中不同子结构之间对称性的相互影响的研究促进了斑图形成机制的进一步研究.

本文在介质阻挡放电中观察到一个 D_{2h} 超点阵斑图. 使用高速照相机研究了 D_{2h} 超点阵斑图的时空动力学特性, 通过分析演化序列中出现的斑图的对称性以及 D_{2h} 超点阵斑图中子结构的对称性, 研究了对称性对斑图形成的影响. 采用发射光谱法研究了 D_{2h} 超点阵斑图中不同子结构的等离子体参量. 斑图的时空结构与等离子体参量相关, 等离子体状态会影响斑图的形成.

2 实验装置

实验的放电单元装置如图1所示, 两个直径为65 mm的圆柱形透明容器两端用厚度为1.8 mm的玻璃片封住, 容器中注满水, 在每个容器中都嵌入一个铜质圆环作为连接外接交流电源的电极. 电源频率为55.6 kHz. 一块厚度为3.0 mm, 边长为35 mm的正方形玻璃框被夹在两块平行的玻璃板之间, 作为限制放电区域的边界. 放电单元装置被放在一个较大的密闭装置内, 装置内充入氩气与空气的混合气体, 氩气体积分数为92%, 气压为40 kPa. 通过高速照相机来记录斑图在微观时间尺度下的时空结构. 其中, 高速照相机有3个独立的通道, 由外界信号统一触发, 通过设置各通道的延迟时间和曝光时间可以同时记录斑图在不同时间尺度下的瞬时放电. 通过激发光谱仪测定斑图中不同子点阵的等离子体参量.

3 结果与讨论

图2给出了介质阻挡放电随外加电压的升高斑图的演变过程, 当电压 $U=2.7$ kV时, 产生 D_{4h} 四边形斑图

图1 实验装置图

Figure 1 Schematic of the experiment.

(图2(a)); 当电压 $U=3.7$ kV时, 呈现 D_{4h} 和 D_{6h} 混合态斑图(图2(b)); 在此基础上增加0.2 kV电压, 经过长时间自组织形成如图2(c)所示的 D_{2h} 超点阵斑图, 其由 D_{2h} 四边形子点阵和 D_{2h} 六边形子点阵耦合而成. 当电压增加到 $U=4.1$ kV时, 出现 D_{2h} 条纹斑图(图2(d)).

为了研究 D_{2h} 超点阵斑图的时空动力学特性, 使用高速照相机对 D_{2h} 超点阵斑图的不同子结构进行了分脉冲拍摄, 如图3所示. 图3(a)是斑图放电过程中的电流脉冲图. 从外加电压的上升沿开始, 每个电流脉冲被标记为 Δt_2 , Δt_3 和 Δt_1 . 从图3(b)–(d)中可看出, Δt_2 对应斑图中的六边形子点阵, Δt_3 对应六边形点阵中心的近似圆环的晕, Δt_1 对应四边形子点阵. 由此可得到, 从外加电压的上升沿开始(电压的绝对值增加为上升沿), 六边形点阵首先开始放电, 且放电是同步的, 随着电压逐渐增加, 晕在 Δt_3 放电, 形成一个近似圆环的结构, 在本电压周期的下降沿(电压绝对值减小为下降沿), D_{2h} 四边形点阵在 Δt_1 放电. 分析高速照相机的结果可以得到, D_{2h} 超点阵斑图是由六边形子点阵、晕和四边形子点阵3套子结构嵌套而成的. 且从外加电压的上升沿开始, 在每个外加电压半周期内 D_{2h} 超点阵斑图子结构的放电顺序依次是: 六边形子点阵-晕-四边形子点阵.

为了研究 D_{2h} 超点阵斑图的形成机制, 对斑图形成的过程中的一系列不同斑图进行对称性分析, 如图4所示. 当电压较低时, 斑图呈现均匀的四边形点阵, 其对称性分析如图4(a)所示, 其对称操作有 E , $5C_2$, C_4 , C_4^3 , S_4 , S_4^3 , i , σ_h 和 $4\sigma_v$. 因此, 图4(A)中四边形斑图属于 D_{4h} 点群. 随着电压的增加, 呈现四边形和六边形的混合态斑

图 2 (网络版彩图)随外加电压升高,斑图的演化过程. 气压 $p=40$ kPa, 氩气浓度 $\phi=92\%$, 驱动频率 $f=55$ kHz, 气隙 $d=3$ mm, 照片曝光时间 $t=25$ ms

Figure 2 (Color online) Transition of the pattern with voltage increasing. Experimental parameters: gas pressure $p=40$ kPa, argon concentration $\phi=92\%$, driven frequency $f=55$ kHz, gas gap $d=3$ mm, and exposure time of the pictures $t=25$ ms.

图, 且六边形和四边形结构是随机出现的, 斑图中四边形的对称性分析如图4(b₁)所示, 其对称操作有 E , $5C_2$, C_4 , C_4^3 , S_4 , S_4^3 , i , σ_h 和 $4\sigma_v$. 因此, 图4(B)中的四边形结构属于 D_{4h} 点群. 斑图中六边形结构的对称性分析如图4(b₂)所示, 其对称操作有 E , $7C_2$, C_6 , C_3 , C_2^3 , C_6^5 , S_6 , S_3 , S_3^5 , S_6^5 , i , σ_h 和 $6\sigma_v$. 因此, 图4(B)中的六边形结构属于 D_{6h} 点群. 继续升高电压出现了条纹斑图. 其对称性分析如图4(c)所示, 其对称操作有 E , $3C_2$, i 和 $3\sigma_v$. 因此, 图4(C)所示的条纹斑图属于 D_{2h} 点群. 因此, 演化过程中, 斑图的对称性由 D_{4h} 演化为 D_{4h} 和 D_{6h} 的混合态, 继续升高电压, 最终演化为 D_{2h} .

为了进一步研究斑图的结构特点和形成机制, 从群论的角度对 D_{2h} 超点阵斑图中不同子结构的对称性进行分析, 如图5所示. 从图5(a)中可以发现, D_{2h} 超点阵斑图中六边形和四边形结构均产生一定程度的纵向拉伸. 图5(b)–5(d)是与图5(a₁)中的 Δt_2 , Δt_3 和 Δt_1 所对应的放电结构, 图5(b₁)–(d₁)是与图5(b)–(d)相对应的对称性分析示意图. 从外加电压的上升沿开始, 图5(b)中纵向拉伸的六边形首先放电, 其对称性分析如图5(b₁)所示, 其对称操作有 E , $3C_2$, σ_h , i 和 $2\sigma_v$. 因此拉长的六边形结构属于 D_{2h} 点群. 电压继续升高, 图5(c)中拉长的四边形

图 3 (网络版彩图) D_{2h} 超点阵斑图的电压电流波形图及高速照相机照片及其叠加. (a) 电压和电流的波形. (b)–(d) 分别对应于(a)中由 Δt_2 , Δt_3 和 Δt_1 标记的电流脉冲相位所曝光的照片, 并且照片是50个电压周期的叠加. (e) 是(b)–(d)的叠加

Figure 3 (Color online) Waveforms of the voltage and the current of the D_{2h} superlattice pattern and pictures taken by the high speed camera and their superposition. (a) Wave forms of the voltage and the current. (b)–(d) images exposed corresponding to the current pulse phases denoted by Δt_2 , Δt_3 , and Δt_1 in (a), respectively, and the images are integrated for 50 voltage cycles. (e) Superposition of (b)–(d).

结构进行放电, 其对称性分析如图5(c₁)所示, 其对称操作有 E , $3C_2$, σ_h , i 和 $2\sigma_v$. 因此拉长的四边形子结构属于 D_{2h} 点群. 到本半周期外加电压的下降沿, 图5(d)中的晕放电, 其对称性分析如图5(d₁)所示, 其对称操作有 E , $3C_2$, σ_h , i 和 $2\sigma_v$. 因此, 晕也属于 D_{2h} 点群. 从宏观上, 斑图中的3种子结构的形态不同, 通过分析每个子结构的对称性发现3套子结构均属于 D_{2h} 点群, 由此表明3套子结构的对称性相同^[24]. 综合图4和5中对称性分析的结果, 可以发现 D_{2h} 对称性中的对称操作是 D_{6h} 对称性和 D_{4h} 对称性中对称操作的共同部分. 由此可以得到, D_{6h} 和 D_{4h} 的混合状态不稳定, 经过长时间的自组织, 子点阵的对称性由 D_{6h} 和 D_{4h} 的混合态转化为 D_{2h} , 进而使得四边形子点阵和六边形子点阵可以相互耦合, 形成稳定的 D_{2h} 超点阵斑图. 因此, D_{2h} 超点阵斑图

Figure 5 (Color online) Analysis of the symmetry of different substructures in the D_{2h} superlattice pattern. (a) D_{2h} superlattice pattern; (a₁) schematic diagram of discharge pulse; (b), (c) and (d) are substructures corresponding to Δt_2 , Δt_3 and Δt_1 , respectively, (b₁), (c₁) and (d₁) are schematic diagrams of symmetry analysis corresponding to (b), (c), and (d).

为了得到不同子结构的分子振动温度, 选择 300 G mm^{-1} 的光栅, 采集了氮分子第二正带系($\text{C}^3\Pi_u \rightarrow \text{B}^3\Pi_g$)波长范围在 $360\text{--}420\text{ nm}$ 之间的发射谱线. 采用

图 6 (网络版彩图) D_{2h} 超点阵斑图的光谱测量结果. (a) 不同子结构在360–420 nm范围内的发射光谱; (b) 不同子结构在696.5 nm的谱线轮廓

Figure 6 (Color online) Spectral measurement results of D_{2h} superlattice pattern. (a) Emission spectrum in the range of 360–420 nm of the different sublattices; (b) the profiles of the spectral line 696.5 nm of the different substructures.

图中可以看出相同的实验条件下, 四边行子点阵、六边行子点阵、晕的电子密度在有效的误差范围之内值相差很小, 由此表明 D_{2h} 超点阵斑图中的3套子结构的等离子体状态相同. 综合图5中斑图子结构的对称性分析和光谱分析的结果可以得出斑图中子结构的对称性和等离子体状态均相同. 因此, 可以推断出子结构具有相同的对称性和等离子体状态可能是四边行子点阵和六边行子点阵能够耦合形成稳定的 D_{2h} 超点阵斑图的重要因素.

在介质阻挡放电中, 当两极间所加的外加电压达到气体击穿阈值时, 气体被击穿开始放电, 电荷会积累在电介质表面进而形成壁电荷, 壁电荷对斑图的形成具有重要影响. 图7给出了 D_{2h} 超点阵斑图的放电顺序及位置示意图, 为了更容易理解及分析子结构的放电位置, 将放电已经熄灭的结构用深蓝色表示. 从外加电压的上升沿开始, 六边行子点阵首先放电

图 7 (网络版彩图) D_{2h} 超点阵斑图空间结构演化的结构示意图. (a), (c)和(e)分别代表三套子结构的放电时刻示意图, (b), (d)分别代表六边形点阵和晕放电熄灭形成的电场示意图

Figure 7 (Color online) Schematic diagram of the spatial structure evolution of D_{2h} superlattice pattern. (a), (c) and (e) are schematic diagrams of discharge timings of three sets of substructures; (b) and (d) are schematic diagrams of electric fields formed by hexagonal lattice and halo, respectively.

(图7(a)), 放电过程中在六边形点阵周围积累壁电荷, 当积累的壁电荷足够多时, 此次放电熄灭. 放电结束后, 六边形子点阵的壁电荷电场对在其后进行放电的子结构具有禁阻作用, 下一次放电发生在禁阻作用最弱的地方. 在图7(b)中, 灰色区域是六边形点阵可能积累壁电荷较多的位置, 黄色区域由于距离六边形点阵的距离较远, 积累的壁电荷较少, 其产生的禁阻作用最弱. 因此, 晕的放电发生在黄色区域内(图7(c)). 晕是外加电压驱动的放电且放电电压比六边形子点阵更高, 放电熄灭后积累更多的壁电荷, 且这些壁电荷对在本半周期下降沿放电的子结构具有促进作用. 晕放电熄灭后积累的壁电荷的位置(图7(d)中的灰色区域), 晕的中心处是壁电荷积累的叠加区域, 在此处积累的壁电荷最多. 在同一电压半周期的下降沿, 积累的大量壁电荷将克服外加电场达到气体击穿阈值, 进而导致四边行点阵在晕的中心放电(图7(e)). 随着电压反转即电压的下半周期, 由于在上半周期积累的壁电荷存在记忆效应且壁电荷场与此时的外加电场同向, 所以壁电荷场将会促进放电, 进而六边形子点阵首先放电, 晕和四边行子点阵的放电机制与电压反向之前的放电机制一致.

4 结论

我们首次在介质阻挡放电中观察到一个 D_{2h} 超点

阵斑图, 其由3套不同的子结构相互嵌套形成的, 分别是 D_{2h} 六边形子点阵、 D_{2h} 晕和 D_{2h} 四边形子点阵, 且在每个外加电压半周期内的放电顺序为: D_{2h} 六边形子点阵- D_{2h} 晕- D_{2h} 四边形子点阵. 通过分析随着外加电压的升高形成的斑图的对称性, 发现对称性的演化顺序为: D_{4h} - D_{4h} 和 D_{6h} 的混合态- D_{2h} - D_{2h} , 随着电压的逐渐升高对称性降低. 通过分析 D_{2h} 超点阵斑图中3套子结构的对称性, 发现3套子结构均属于 D_{2h} 点群. 因此, D_{2h} 超点阵斑图能够产生并稳定存在的主要因素是 D_{6h} 和 D_{4h} 具

有 D_{2h} 对称操作以及 D_{6h} 子点阵和 D_{4h} 子点阵之间的协同作用. 通过发射光谱法研究了 D_{2h} 超点阵斑图中3个子结构的等离子体参量, 发现 D_{2h} 超点阵斑图的不同子结构的分子振动温度及电子密度相近, 表明3种子结构的等离子体状态基本相同. 相同的对称性和等离子体参量是不同结构类型的子结构能够耦合形成稳定斑图的重要因素. D_{2h} 超点阵斑图的发现不仅丰富了介质阻挡放电系统中斑图种类, 同时对不同结构类型的子结构耦合而成的斑图的研究具有重要的参考价值.

参考文献

- 1 Sergent A, Quéré P L. Long time evolution of large-scale patterns in a rectangular Rayleigh-Bénard cell. *J Phys-Conf Ser*, 2011, 318: 082010
- 2 Rogers J L, Schatz M F, Brausch O, et al. Superlattice patterns in vertically oscillated Rayleigh-Bénard convection. *Phys Rev Lett*, 2000, 85: 4281–4284
- 3 Lohaus T, Herkenhoff N, Shankar R, et al. Feed flow patterns of combined Rayleigh-Bénard convection and membrane permeation. *J Membrane Sci*, 2018, 549: 60–66
- 4 Vanag V K, Yang L, Dolnik M, et al. Oscillatory cluster patterns in a homogeneous chemical system with global feedback. *Nature*, 2000, 406: 389–391
- 5 Page K M, Maini P K, Monk N A M. Complex pattern formation in reaction-diffusion systems with spatially varying parameters. *Phys D-Nonlinear Phenom*, 2005, 202: 95–115
- 6 Li J, Wang H, Ouyang Q. Square turing patterns in reaction-diffusion systems with coupled layers. *Chaos*, 2014, 24: 023115
- 7 Logvin Y A, Ackemann T. Interaction between Hopf and static instabilities in a pattern-forming optical system. *Phys Rev E*, 1998, 58: 1654–1661
- 8 Sharpe J P, Ramazza P L, Sungar N, et al. Pattern stabilization through parameter alternation in a nonlinear optical system. *Phys Rev Lett*, 2006, 96: 094101
- 9 Gurevich E L, Zanin A L, Moskalenko A S, et al. Concentric-ring patterns in a dielectric barrier discharge system. *Phys Rev Lett*, 2003, 91: 154501
- 10 Callegari T, Bernecker B, Boeuf J P. Pattern formation and dynamics of plasma filaments in dielectric barrier discharges. *Plasma Sources Sci Technol*, 2014, 23: 054003
- 11 Chirokov A, Gutsol A, Fridman A, et al. A study of two-dimensional microdischarge pattern formation in dielectric barrier discharges. *Plasma Chem Plasma Process*, 2006, 26: 127–135
- 12 He Y F, Dong L F, Liu F C, et al. Progress of study on dynamics of pattern in dielectric barrier discharge (in Chinese). *Prog Nat Sci*, 2007, 17: 561–567 [贺亚峰, 董丽芳, 刘富成, 等. 介质阻挡放电斑图动力学研究进展. *自然科学进展*, 2007, 17: 561–567]
- 13 Shang W L, Wang D Z. Concentric-ring patterns in a helium dielectric barrier discharge at atmospheric pressure. *Chin Phys Lett*, 2007, 24: 1992–1994
- 14 Dong L F, Zhang X P, Zhang C, et al. Spatiotemporal structure of the square superlattice pattern in dielectric barrier discharge observed by high-speed camera (in Chinese). *High Volt Eng*, 2014, 40: 1229–1234 [董丽芳, 张新普, 张超, 等. 采用高速照相机研究介质阻挡放电超四边斑图的时空结构. *高电压技术*, 2014, 40: 1229–1234]
- 15 Srivastava A K. Observation of self-organized square lattice pattern formation in surface barrier discharge plasma. *J Electrostat*, 2016, 82: 72–78
- 16 Wei L, Dong L, Fan W, et al. A complex pattern with hexagonal lattice and white-eye stripe in dielectric barrier discharge. *Sci Rep*, 2018, 8: 3835
- 17 Liu Y, Dong L, Niu X, et al. Study on hexagonal super-lattice pattern with surface discharges in dielectric barrier discharge. *Phys Plasmas*, 2015, 22: 103501
- 18 Zanin A L, Gurevich E L, Moskalenko A S, et al. Rotating hexagonal pattern in a dielectric barrier discharge system. *Phys Rev E*, 2004, 70: 036202

- 19 Sánchez-Álvarez J J, Serre E, Crespo del Arco E, et al. Square patterns in rotating Rayleigh-Bénard convection. *Phys Rev E*, 2005, 72: 036307
- 20 Dong L, Fan W, He Y, et al. Square superlattice pattern in dielectric barrier discharge. *Phys Rev E*, 2006, 73: 066206
- 21 Dong L, Shen Z, Li B, et al. Pattern formation based on the triple-layer coupling mechanism. *Phys Rev E*, 2013, 87: 042914
- 22 Bernecker B, Callegari T, Blanco S, et al. Hexagonal and honeycomb structures in dielectric barrier discharges. *Eur Phys J Appl Phys*, 2009, 47: 22808
- 23 Wang Y, Dong L, Liu W, et al. Generation of tunable plasma photonic crystals in meshed dielectric barrier discharge. *Phys Plasmas*, 2014, 21: 073505
- 24 Hao F, Dong L, Du T, et al. Spatiotemporal distribution of surface charges in square-grid state in a dielectric barrier discharge. *Phys Plasmas*, 2018, 25: 033510

Study on the D_{2h} superlattice pattern in dielectric barrier discharge

HAN Rong, DONG LiFang^{*}, HUANG JiaYu & SUN HaoYang

College of Physics Science and Technology, Hebei University, Baoding 071002, China

We observed on a D_{2h} superlattice pattern in the dielectric barrier discharge for the first time. Its spatiotemporal structure investigated by an intensified charge-coupled device shows that it is an interleaving of three different sublattices, which are hexagonal sublattice, halos and square sublattice, respectively. With increasing driving parameter, the discharge sequence is hexagonal sublattice-halos-square sublattice in each half cycle of applied voltage. The evolution sequence of the symmetry is D_{4h} -the mixed state of both D_{4h} and D_{6h} - D_{2h} - D_{2h} by analyzing a series of patterns occurred in the evolution process. The symmetry of the hexagonal sublattice, the square sublattice and the halos belong to D_{2h} point group by analyzing the symmetry of the three sublattices. The emission line of the second positive band system ($C_3[{}^1\text{u} \rightarrow B_3[{}^1\text{g}]]$) of the nitrogen molecule (N_2) and the emission line at 696.57 nm ($2P_2 \rightarrow 1S_5$) of the argon atom were collected by using emission spectroscopy. The molecular vibration temperature and electron density of three different substructures in the D_{2h} superlattice pattern are obtained. The results show that the molecular vibration temperature and electron density of the three different substructures are similar, which indicates that the plasma states of the three different substructures are the same. The formation of the D_{2h} superlattice pattern is analyzed by the wall charges.

dielectric barrier discharge, D_{2h} superlattice pattern, symmetry, plasma parameters

PACS: 47.54.-r, 52.35.Mw, 52.50.Dg, 52.80.Tn

doi: [10.1360/SSPMA2018-00255](https://doi.org/10.1360/SSPMA2018-00255)