

Study on the Influence of Environmental Gas on the Spectral Characteristics of Laser Induced Ni Plasma

Aobulikasimu Zunun*, Niyazali Nulahemaiti, Abai Ailihazi, Kang Dai, Pulati Aihemaiti

Physics Science and Technology of Xinjiang University, Urumqi Xinjiang

Email: *omakkasim@163.com

Received: Dec. 24th, 2017; accepted: Jan. 5th, 2018; published: Jan. 12th, 2018

Abstract

In this work, high pulse Nd:YAG pulse laser (wavelength: 532 nm, pulse width: 4 ns) produces Ni plasma, and the influence of Ar, He and N₂ gas on laser induced Ni plasma spectrum is studied. It is found that argon gas has obvious gain effect on Ni plasma. The electron temperature of Ni plasma in three environmental gases is calculated with the change of air pressure, and the pressure is bound to the Ni plasma.

Keywords

Spectral Analysis, Buffer Gas, Ni Plasma

环境气体对激光诱导Ni等离子体光谱特性影响研究

奥布力喀斯木·祖农*, 尼亚孜艾力·努拉合买提, 阿拜·艾力哈孜, 戴康, 普拉提·艾合买提

新疆大学物理科学与技术学院, 新疆 乌鲁木齐

Email: *omakkasim@163.com

收稿日期: 2017年12月24日; 录用日期: 2018年1月5日; 发布日期: 2018年1月12日

摘要

本工作中利用高脉冲Nd:YAG脉冲激光器(波长532 nm, 脉宽: 4 ns)产生Ni等离子体, 研究了Ar、He、
*通讯作者。

文章引用: 奥布力喀斯木·祖农, 尼亚孜艾力·努拉合买提, 阿拜·艾力哈孜, 戴康, 普拉提·艾合买提. 环境气体对激光诱导 Ni 等离子体光谱特性影响研究[J]. 应用物理, 2018, 8(1): 10-15. DOI: 10.12677/app.2018.81002

N₂气体对激光诱导Ni等离子体光谱的影响。通过实验研究发现氩气对Ni等离子体有明显增益效果。计算三种环境气体中产生Ni等离子体电子温度随气压变化关系，发现气压对Ni等离子体具有束缚作用。

关键词

光谱分析, 缓冲气体, Ni等离子体

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

激光诱导等离子体光谱是一种快速光谱分析的方法之一[1]。等离子体作为物质一种特殊的存在形式具有与固体, 液体, 气体状态不一样的特性[2]。在激光诱导等离子体特性研究中等离子体电子温度是诊断等离子体特性和判断电离度的物理量[3]。等离子体作为物质的不稳定状态, 易受到外界环境影响, 不同环境条件下产生的等离子体特性不一样, 因此研究不同环境条件对激光诱导等离子体产生影响一直备受关注[4]。郑贤锋等人[5]利用 CO₂ 分子激光器在铝靶面产生等离子体以氩气, 氮气, 空气为环境气体研究所产生 Al 等离子体特性, 发现压强 10^{-4} Pa~ 2×10^3 Pa 改变过程中电子密度从 1.95×10^{16} cm⁻³ 增加 10.5×10^{16} cm⁻³。吴涛等人[6]利用氩气, 氮气, 空气为环境气体对 Al 等离子体光谱进行研究发现 Al 等离子体光谱在氩气中强度最高, 氮气中次之, 空气中产生的等离子体光谱背景信号干扰较大。沈跃良等人对环境气体为氩气, 氮气, 空气, CO₂ 气对飞灰中 C, Si, Fe, Al 和 Mg 谱线特性进行了研究发现氩气中谱线强度最高[7]。虽然很多研究中发现氩气对谱线强度有较大的增益效果但是解释其中原因时存在不同看法。

为了更好的解释氩气对等离子体谱线增益效果原因本文利用高脉冲 Nd:YAG 激光器(波长 532 nm, 10 Hz)为激光源, 金属 Ni 为作为样品, 氩气, 氮气, 氮气作为缓冲气体, 观测和讨论了三种缓冲气体对激光诱导 Ni 等离子体光谱特性影响并通过计算等离子体温度随气压变化, 讨论三种气体气压对 Ni 等离子体影响。最后通过碰撞来讨论和解释三种气体对等离子体影响原因。

2. 实验装置和测量方法

图 1 为实验设备装置图, 其简述如下: 试验中把样品放在可充缓冲气体的不锈钢腔体中, 利用 Nd:YAG 脉冲激光器作为激光源, 以 7 cm 的透镜聚焦在腔体里面的样品表面, 45°方向利用 4.5 cm 的透镜从样品表面散射回来的光聚焦在光纤头上, 再利用光谱仪(Andor Solis)对光进行分光, 通过增强型器件 ICCD 信号增强放大后其数据发送电脑软件生成 Ni 等离子体光谱图像。实验中激光能量 80 mJ, 气压范围 2000 Pa~15,000 Pa, 测量波长范围 324~374 nm, 光谱仪光栅条数为 1200/mm, 门宽为 100 ns, 在不同环境气体中采集等离子体时间分辨光谱谱线。

2.1. 三种缓冲气体对谱线的增益讨论

时间分辨光谱图是反映处于激发态原子随延迟时间变化关系。一般讨论时间分辨光谱图是选择特征谱线后, 再绘出此条谱线强度随时间演化关系。本文为了比较三种不同缓冲气体对 Ni 等离子体的影响, 利用光谱强度 - 波长 - 时间的三维时间分辨光谱图, 反映出 324~374 nm 范围所有谱线随时间演化关系。

图 2 是 Ni 等离子体在不同缓冲气体中光谱强度随时间演化图, 在氩气中产生等离子体光谱最强, 在

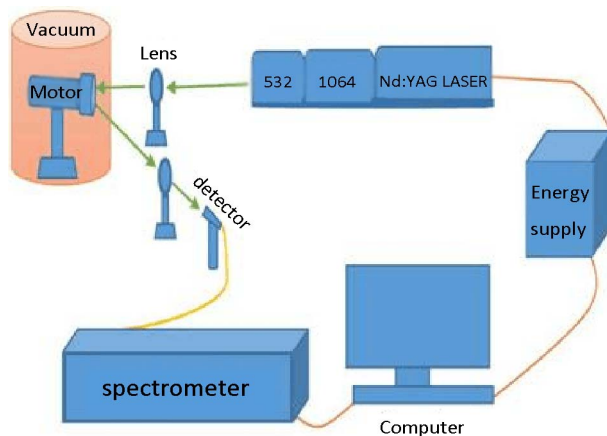
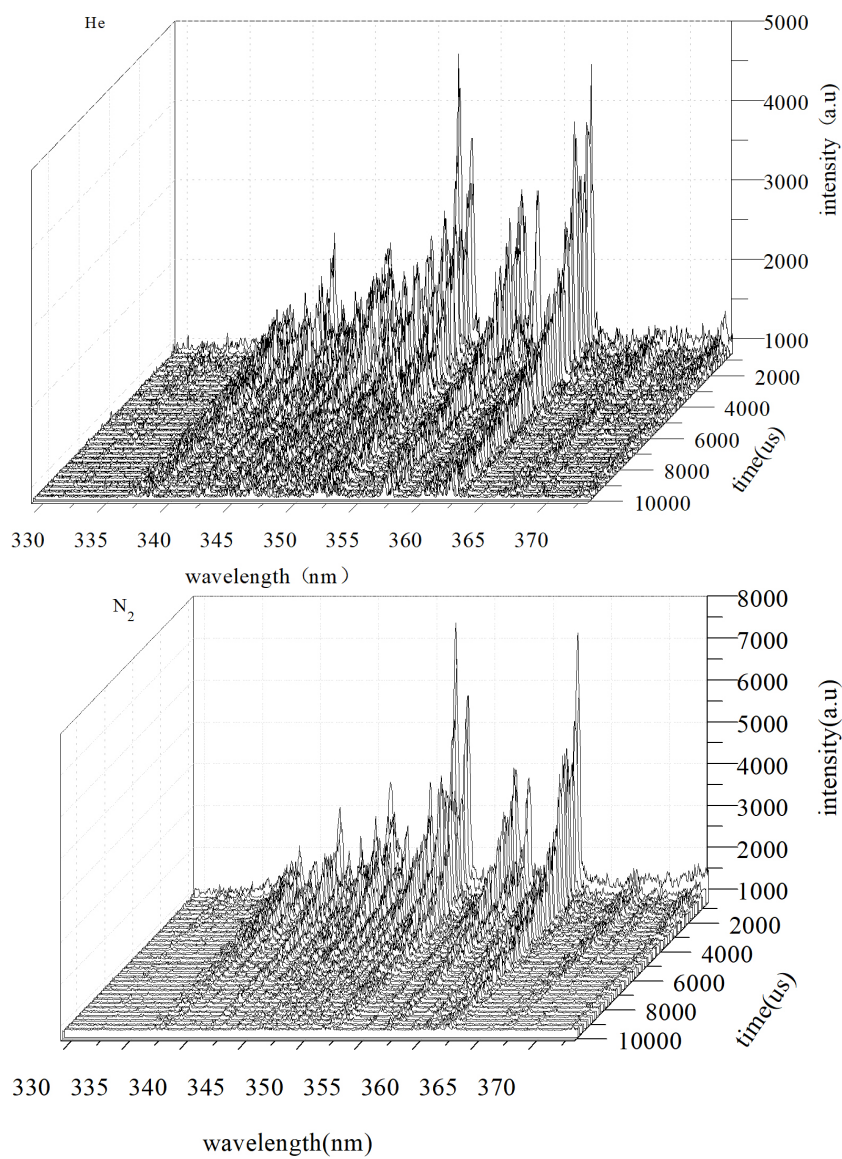


Figure 1. Device diagram for experimental equipment

图 1. 实验设备装置图



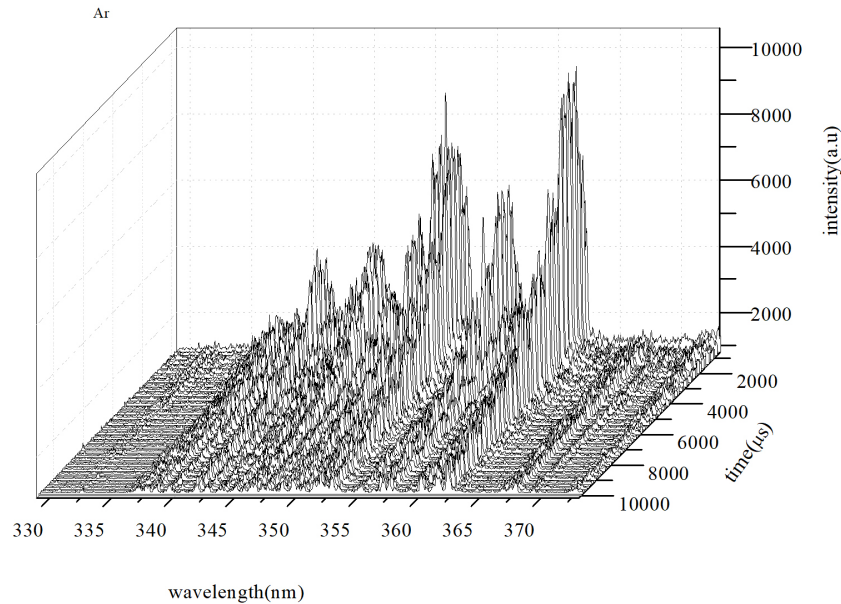


Figure 2. The time evolution diagram of spectral intensity of Ni plasma in different buffer gases

图 2. Ni 等离子体在不同缓冲气体中光谱强度随时间演化图

氮气中产生等离子体光谱次之，在氦气中产生的等离子体光谱强度最低，从图中看出随着延迟时间 1~10 μs 变化过程中谱线强度减弱，其原因是处于高激发态的原子、电子和离子数目减少引起。氩气中衰减时间比氮气和氦气约长 1 μs 。

2.2. 气压对 Ni 等离子体电子温度影响

电子温度是诊断等离子体的一种物理参数，一般等离子体电子温度计算利用多谱线 Boltzmann 拟合方法[8] [9]，其表达式为：

$$\ln\left(\frac{I_m \lambda_m}{A_m g_m}\right) = \frac{E_m}{K_B T} + C \quad (1)$$

其中 I_m 是谱线强度， λ_m 是谱线波长， A_m 是谱线跃迁几率， g_m 统计权重， E_m 是激发能量， K_B 是波尔兹曼常数， T_e 是电子温度， C 是常数。本文在 329 nm~374 nm 之间所观测的 Ni 的最强谱线处于 349.30 nm, 352.45 nm, 356.64 nm, 361.94 nm。从 NIST 美国谱线库网站中查到有关谱线参数[10]，其参数值如表 1 所示。

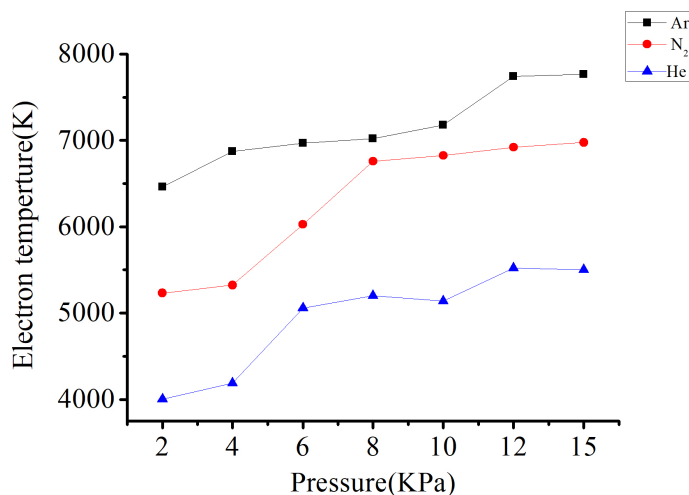
计算等离子体电子温度时，根据公式(1)绘出图，利用 Origin 进行线性拟合就可以得到直线斜率，从中可以求出电子温度 T_e 。

本文中为了更好比较氩气，氮气氦气对不同气压下对 Ni 等离子体的影响，环境气压范围改变为 2000~15,000 Pa，测量了 Ni 等离子体的电子温度三种气体中随气压变化关系，其结果如下所示。

从图 3 中可以看出气压从 2000 kpa 到 15,000 kpa 改变过程中，三种气体环境中产生的 Ni 等离子体电子温度随着气压增加而升高。比较三种气体同气压中电子温度得知氩气中产生的等离子体电子温度最高，氮气中次之，氦气对等离子体电子温度的增益效果比其他两种气体低。环境气压从 2000 kpa 到 15,000 kpa 改变过程中氩气中电子温度从 6450 K 升高 7778 k，氮气中电子温度从 5225 K 升高 6970 k，在氦气中从 4017 K 升高到 5524 K。从总体来看 2000 kpa~15,000 kpa 改变中，同等气压中氩气对 Ni 等离子体电子

Table 1. Spectral line related parameters**表 1.** 谱线相关参数

| λ_m | $A_m (\times 10^8/S)$ | g_m | $E_m (eV)$ |
|-------------|-----------------------|-------|------------|
| 349.30 | 0.98 | 3 | 3.66 |
| 352.45 | 1.00 | 7 | 3.56 |
| 356.64 | 0.56 | 5 | 3.90 |
| 361.94 | 0.66 | 7 | 3.85 |

**Figure 3.** Change of electron temperature with pressure in Ni plasma in three ambient gases**图 3.** 三种环境气体中 Ni 等离子体电子温度随压强变化

温度有明显增益作用。从随着气压温度变化角度看随着气压变化氦气对电子温度的增益明显一些。这说明气压对等离子体的膨胀具有束缚作用。

3. 结论

通过研究在三种不同环境气体中产生的 Ni 等离子体光谱, 可以发现氩气对谱线有明显的增益效果。郑贤锋等人比较氦气和氩气对 Al 等离子体的影响, 发现氩气对等离子体光谱增强作用很明显, 其原因认为氩气电离(24.59 eV)能量比氦(15.76 eV)气大, 氩气比氦气更容易电离产生自由电子, 使电子数目增加, 碰撞加剧, 这样电子温度升高。但本实验中氩气对谱线增益效果很明显, 氮气次之, 氦气最低。如果按电离能出发, 氦气、氮气和氩气电离能分别是 24.59 eV、14.53 eV、15.76 eV, 氮气比氩气更容易电离。因此在氮气中观察到的谱线强度应该比氩气强, 按电离能大小来解释此问题很困难。本文认为可以利用碰撞理论来解释。等离子体碰撞是属于多体碰撞, 当激光照射在 Ni 表面时, 在激光作用下 Ni 发生电离, 产生等离子体。所产生的等离子体粒子从样品表面往外热膨胀, 在热膨胀过程中等离子体粒子与环境气体原子分子发生弹性和非弹性碰撞, 能量以辐射形式发出。比较三种环境气体摩尔质量得知氩气(39.5 g/mol)最大, 氮气(28 g/mol)次之, 氦气(4 g/mol)最小。从样品表面出来的电子和离子与环境气体发生碰撞时因为氩气的摩尔质量大, 碰撞后回到靶核附近, 这个过程反复出现, 使靶核附近的电子温度升高。通过观察等离子体温度随压强变化关系发现气压对等离子体具有束缚作用。激光能量不变情况下, 随着气压的升高, 所产生的 Ni 电子温度增加。其原因随着气压升高产生的 Ni 等离子体周围环境气体原子分

子增多,随着所包围的气体原子核分子增多,碰撞越激励。等离子体与环境气体原子分子碰撞后,返回到靶核附近的可能性越大,这样使等离子体困住在靶核附近引起电子温度升高。氩气原子摩尔质量比其他两种气体较大把大量等离子体困住在靶核附近。然而氦气因为原子质量很小,在气压低时碰撞返回到靶核附近的粒子很少,所以束缚作用不太明显。但是随着气压增高氦气气体分子增多,这让碰撞反射回到靶核附近粒子数目增大,使电子温度升高,起束缚作用。

基金项目

国家自然科学基金项目(11364041)。

参考文献 (References)

- [1] Ivković, M. and Konjević, N. (2017) Stark Width and Shift for Electron Number Density Diagnostics of Low Temperature Plasma: Application to Silicon Laser Induced Breakdown Spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part B Atomic Spectroscopy*, **131**, 79-92. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2017.03.015>
- [2] 倪文强. 脉冲激光加载下的 Mg 合金激发特征研究[D]: [硕士学位论文]. 镇江: 江苏大学, 2016.
- [3] 宋晓. 激光诱导 Ti 等离子体发射谱线特性研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东师范大学, 2013.
- [4] 孙少华. 飞秒激光诱导等离子体光谱时空特性的研究[D]: [博士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- [5] 郑贤锋, 唐晓闫, 凤尔银, 等. 缓冲气体对激光等离子体光谱特性影响的实验研究[J]. 原子与分子物理学报, 2002, 19(3): 267-271.
- [6] 吴涛, 王新兵, 唐建, 等. 缓冲气压对 CO₂ 激光 Al 靶等离子体参量的影响[J]. 激光技术, 2011, 35(6): 800-803.
- [7] 沈跃良, 李旭, 刘亚明. 不同环境气体下飞灰等离子体特性分析[J]. 中国激光, 2014, 41(5): 255-261.
- [8] 攀建梅. 飞秒激光诱导 Ni 等离子体发射光谱的实验研究[D]: [硕士学位论文]. 芜湖: 安徽师范大学, 2010.
- [9] 吴蓉, 李燕, 朱顺管. 等离子体电子温度的发射光谱法诊断[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(4): 731-735.
- [10] NIST Atomic Spectra Database Lines Form. https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7567, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: app@hanspub.org