

低温下激光辐照 BCl_3 的研究

唐福海 尹燕生 吕希良

(中国科学院物理研究所)

提要: 用 TEA CO_2 激光辐照低温下的 BCl_3 时, 从红外吸收光谱观察到硼同位素 $^{10}\text{BCl}_3$ 、 $^{11}\text{BCl}_3$ 有明显的选择性离解, 并获得低温下硼同位素浓缩系数较室温下有显著的提高。

Laser irradiation of BCl_3 at low temperatures

Tang Fuhai, Yin Yansheng, Lu Xiliang

(Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract: BCl_3 was irradiated by a TEA CO_2 laser at low temperatures, an evident selective dissociation of boron isotopes $^{10}\text{BCl}_3$, $^{11}\text{BCl}_3$ has been observed from the infrared absorption spectra and remarkable increase of enrichment coefficient of boron isotopes was obtained as compared with that at room temperature.

一、前言

在低温下利用可调 TEA CO_2 及 CW CO_2 激光对 BCl_3 进行了辐照研究, 试图探索在低温下提高硼同位素浓缩系数的途径。从红外吸收光谱观察到, 在低温下利用 TEA CO_2 激光辐照 BCl_3 时, 硼同位素 $^{10}\text{BCl}_3$ 、 $^{11}\text{BCl}_3$ 有明显的选择性离解, 并且硼同位素浓缩系数较室温下有明显的提高。但利用 CW CO_2 激光辐照则没有观察到这种现象。

二、实验装置

实验所用的可调谐 TEA CO_2 激光器重

复频率为 1 次/秒, 输出能量 ~ 1 焦耳。用 Specord 75-IR 型红外分光光度计测量红外吸收光谱, 在 1000 厘米^{-1} 分辨率为 1 厘米^{-1} 。

实验用自制的石英带杜瓦瓶式的低温反应池(见图 1)。反应池中心为一双层与杜瓦瓶相连通的石英小穴, 石英小穴周围充满液 N_2 , 除紧贴在石英小穴内壁的 NaCl 晶体受液 N_2 冷却外, 其外层周围由于有杜瓦瓶式的双层隔绝, 不受液 N_2 冷却的影响。当 BCl_3 充入低温反应池时, 除紧贴内壁 NaCl 晶体正面的表面上凝结一层 BCl_3 的固态薄膜外, 小穴周围和低温反应池其它部位都不会有 BCl_3 凝结物附积在上面。

收稿日期: 1983 年 4 月 27 日。

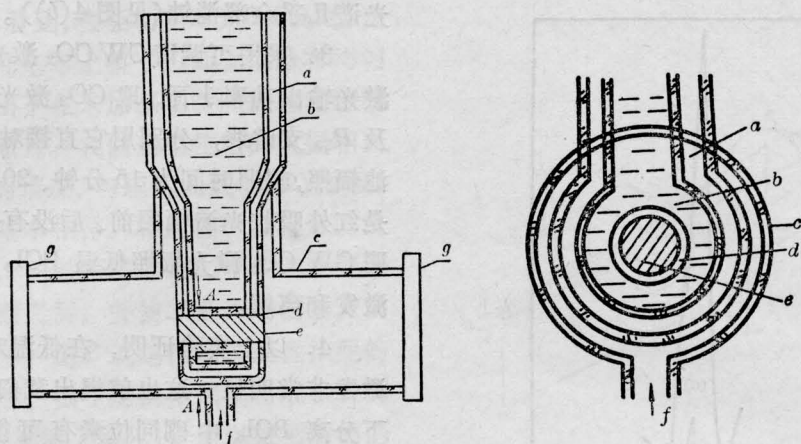


图1 低温反应池剖面图

a—真空杜瓦瓶； b—液 N₂； c—反应池； d—低温小穴； e—NaCl 片； f—进气口； g—NaCl 窗口

三、结果与讨论

1. 先将低温反应池抽空，真空度达 3×10^{-2} 毫米汞柱，将液 N₂ 注入低温反应池，经预冷 40 分钟，充入 1.5 托 BCl₃，与冷却的 NaCl 晶体片正面接触，即凝结成一薄层固态膜，用红外分光光度计检测，BCl₃ 固态膜的

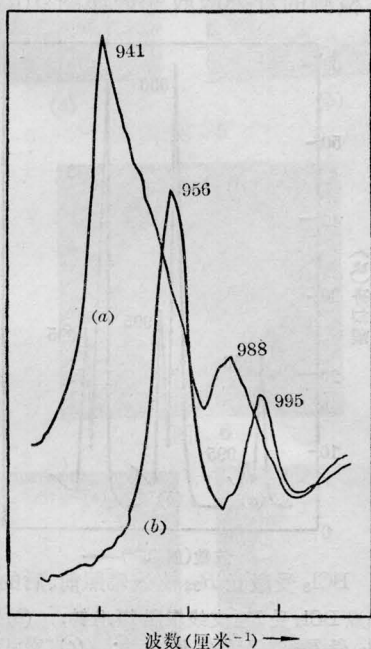


图2 低温 BCl₃ 固态膜(a)及气态 BCl₃ν₃(b) 的吸收光谱

红外吸收光谱如图 2(a)。随后将杜瓦瓶中液 N₂ 取出，反应池的温度慢慢恢复达到室温，凝固于 NaCl 晶体小片上的 BCl₃ 固态膜返回气态，测得 BCl₃ ν₃ 带 956 厘米⁻¹ 及 995 厘米⁻¹ 的红外吸收光谱如图 2(b)。由图可见，BCl₃ν₃ 带固态光谱与室温红外吸收光谱外形轮廓相类似，但固态膜的 ¹⁰BCl₃、¹¹BCl₃ 两光谱向长波方向伸延，光带下部紧密联结增宽，并观察到固态膜 ¹⁰BCl₃、¹¹BCl₃ 的红外吸收光谱均向长波方向平移，平移距离分别测得为 ~7 厘米⁻¹、~15 厘米⁻¹。即低温下固态 BCl₃ ν₃ 带红外吸收光谱 ¹⁰BCl₃ 的频率为 988 厘米⁻¹，¹¹BCl₃ 的频率为 941 厘米⁻¹，均还落在 CO₂ 激光 00⁰1-10⁰ 振转跃迁 P 支及 R 支线区域之内。

2. 用可调频 TEA CO₂ 激光对 BCl₃ 选择性地离解。激光辐照时在低温反应池前加一 NaCl 透镜，焦距 $f = 15$ 厘米。首先用 TEA CO₂ 激光 00⁰1-10⁰ 跃迁 P₁₈ 支线，让它通过 NaCl 透镜及凝结在 NaCl 晶体上的 BCl₃ 固态膜，在固态膜稍后聚焦（如直接聚焦于 NaCl 晶体片上，会使 NaCl 遭到破坏）。激光输出 ~0.7 焦耳，用脉冲辐照 10 次，观察到 ¹¹BCl₃ 光谱强度显著下降，如图 3(b)，表明 ¹¹BCl₃ ν₃ 受到 P₁₈ 支的激光选择性激发产生了较大的离解。当激光脉冲次数累积

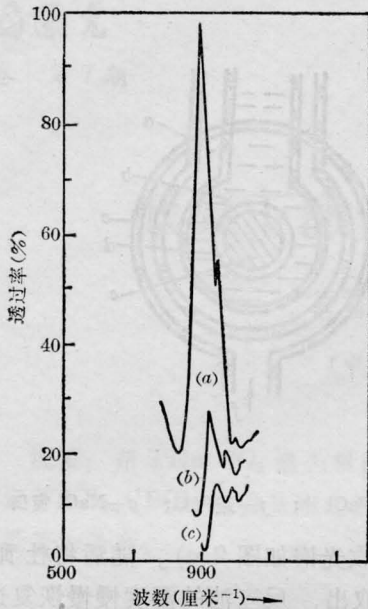


图3 低温 BCl_3 红外吸收光谱随 P_{18} 支线激光脉冲辐照次数的变化
(a) 为未经辐照的低温光谱)

为 15 次, 光谱强度继续下降, 如图 3(c)。这表明离解量随着脉冲次数的增多而增加。

再选用 CO_2 激光 00^01-10^00 跃迁 R_{32} 支线进行实验。用脉冲辐照低温 BCl_3 固态膜 8 次, $^{10}\text{BCl}_3$ 也很快产生离解。 $^{10}\text{BCl}_3$ ν_3 带的光谱强度显著下降, $^{10}\text{BCl}_3$ ν_3 的红外吸收

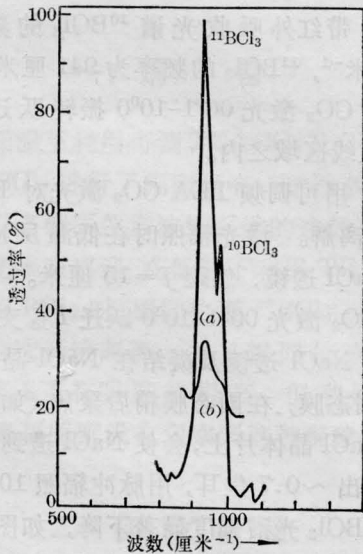


图4 低温 BCl_3 受 R_{32} 支线脉冲辐照 8 次后的红外吸收光谱(b)

光谱几乎全部消蚀(见图 4(b))。

3. 采用可调谐 CW CO_2 激光进行实验。激光输出功率 1 瓦, 取 CO_2 激光 P_{18} 支谱线及 R_{32} 支谱线, 分别用它直接对着低温反应池辐照, 辐照时间为 15 分钟、20 分钟。结果是红外吸收光谱辐照前、后没有变化。这表明 CW CO_2 激光辐照低温 BCl_3 没有选择性激发和离解。

4. 以上实验证明, 在低温对 BCl_3 选择激发非常明显, 这也就提出我们在这种条件下分离 BCl_3 中硼同位素有可能提高硼的浓缩系数。我们将低温反应池中小穴里的 NaCl 晶体片取下, 换上一个大小相等的铜棒, 铜棒正面抛光, 整个铜棒紧贴小穴内壁受到液 N_2 冷却。气体 BCl_3 进入低温反应池, 在铜棒抛光的正面上立即凝结一层 BCl_3 固态膜。 CO_2 激光 00^01-10^00 跃迁 P 支或 R 支直接聚焦到 BCl_3 凝结物上。先选用 R_{32} 支, 激光重复频率为 1 次/秒, 能量 ~ 0.8 焦耳。反应池中气体混合比为 BCl_3 : 干燥空气 = 1:4, 气压为 30~40 托, 辐照时间 15 分钟。辐照后检测的红外吸收光谱如图 5(a), 测得

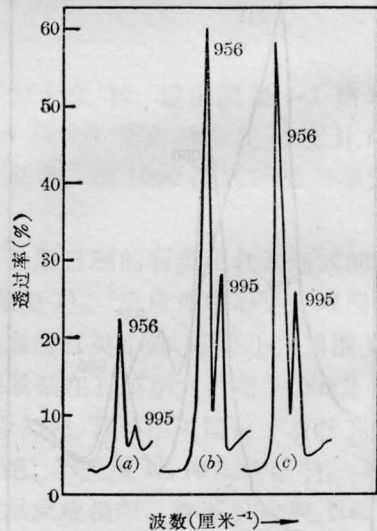


图5 BCl_3 受激光 R_{32} 支线辐照前、后的比较
(a) 低温 BCl_3 受 R_{32} 支线辐照 15 分钟; (b) 室温气态 BCl_3 受 R_{32} 支线辐照 40 分钟; (c) 室温未经辐照的 BCl_3

(下转第 388 页)

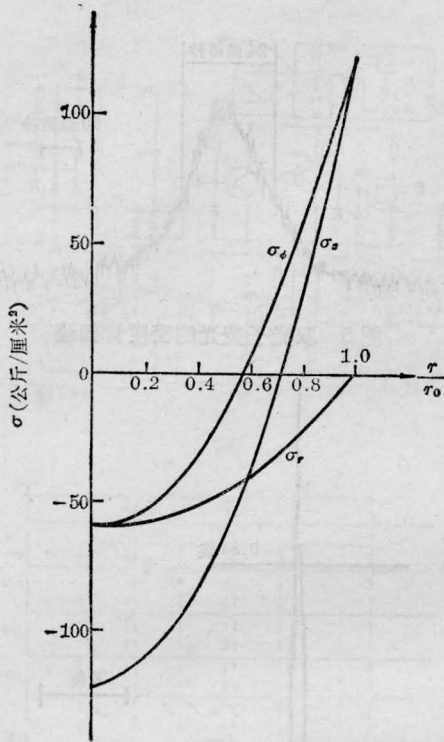


图7 磷玻璃棒内应力分布图
纵轴:应力;横轴:归一化半径

中心处于压缩状态,在棒表面切向和轴向分量都具有正值,使棒表面处于张力状态。最高的应力出现在棒中心与棒表面。棒内功率耗散增加,棒表面的张力也增加。把式(7)和

(8)的 σ_ϕ 与 σ_z 矢量相加得到 σ_{\max} :

$$\sigma_{\max} = \frac{\sqrt{2} \alpha E}{8\pi K (1-\nu)} \frac{P_a}{L} \quad (11)$$

我们测量了引起棒断裂的耗散功率, N_{21} 在 850 瓦和 N_{24} 在 990 瓦产生热炸。由此估算其抗张强度,对 N_{21} 是 180 千克/厘米²,对 N_{24} 是 230 千克/厘米²。当然一根激光棒的实际断裂应力强烈地依赖于棒的表面加工。苏联^[3]曾报道过一种磷玻璃的实际测量断裂应力是 205 千克/厘米²,其膨胀系数是 $99 \times 10^{-7} \text{C}^{-1}$,其抗张强度与本文相似。

磷玻璃锁模激光器的实际运转能量是 54 焦耳,根据热炸数据,说明高于 10 赫情况下运转是可能的,其主要障碍是热炸。当然精心地加工使棒表面无缺陷,不引入应力,其热负载会有所提高。

姜中宏、张俊洲、陈泽兴等同志提供玻璃材料与参数,深表感谢。

参 考 文 献

- [1] 何慧娟等;《中国激光》,1983, 10, No. 11, 765
- [2] S. Timoshenko *et al.*; "Theory of Elasticity". McGraw-Hill, New York, 1951.
- [3] V. M. Mitkin *et al.*; *Sov. J. Opt. Technol.*, 1978, 45, 570.

(上接第 418 页)

硼同位素浓缩系数 ~ 1.44 。在室温下用同样条件(辐照时间增加到 40 分钟),辐照后的红外吸收光谱如图 5(b),测得硼同位素浓缩系数 ~ 1.02 。图 5(c) 为未经辐照过的 BCl_3 红外吸收光谱。用上述同样条件选用 P_{18} 支线辐照,经辐照后测得硼同位素浓缩系数在低温下 ~ 1.43 ,室温下 ~ 1.09 。

5. BCl_3 这一分子的化学性质非常活泼,易与其他物质产生化学反应,当它受到激光辐照后和在激光辐照过程中的物理、化学性质是非常复杂,在进行 BCl_3 中硼同位素分离时,使用的反应池及真空系统装置都得用

无油系统,否则会导致实验结果的误差或错误^[1,2]。在低温下 BCl_3 分子化学性质比较稳定,在低温下被辐照时上述影响得到一定的减轻或消除,从而获得提高同位素浓缩系数的效果。

本工作使用的 CW CO_2 激光器,承蒙张泽渤同志大力支持,低温反应池由姚进珍等工人师傅改进和制造,在此谨表感谢。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院物理研究所,盐湖所激光同位素研究组;《激光》,1979, 6, No. 11, 11.
- [2] 唐福海等;《激光》,1981, 8, No. 3, 32.