

激光钕玻璃中 Nd^{3+} 吸收光谱及斯塔克分裂的自消卷积分辨

王振明 李正直

(苏州大学物理系) (杭州大学物理系)

摘要——本文利用自消卷积基本原理,对激光钕玻璃中 Nd^{3+} 的四个吸收带进行了自消卷积处理,消除了谱线本征线型,大大提高了光谱分辨率,从而在常温下确定了激光钕玻璃中 Nd^{3+} 的 ${}^4I_{9/2}$ 、 ${}^4F_{3/2}$ 能级及其斯塔克分裂。

在掺钕激光玻璃的 Nd^{3+} 吸收光谱中,由于不均匀加宽产生的谱线重迭现象,致使难以清楚地了解该吸收光谱的精细结构及斯塔克分裂情形。对此, M. M. Mann^[1] 及陈述春等人^[2] 曾先后对在不同温度下测得的钕玻璃中 Nd^{3+} 的吸收和荧光光谱进行了曲线拟合,但对该吸收光谱的分析尚未真正解决。为此,我们根据傅里叶自消卷积基本原理^[3,4],对该吸收光谱的四个吸收带(其中两个带属于近红外区)进行了自消卷积处理,首次在常温下确定了 ${}^4I_{9/2}$ 、 ${}^4F_{3/2}$ 能级的斯塔克分裂。

在傅里叶变换对中,测量光谱 $E(\nu)$ 及其逆傅里叶变换 $I(x)$ 可表示为

$$E(\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(x) e^{-i2\pi\nu x} dx = F[I(x)], \quad (1)$$

$$I(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} E(\nu) e^{i2\pi\nu x} d\nu = F^{-1}[E(\nu)]. \quad (2)$$

当仪器函数对测量光谱影响不大时, $E(\nu)$ 可表示为线型 $G(\nu)$ 与光谱 $E'(\nu)$ 的卷积,根据卷积定理,则有:

$$I(x) = F^{-1}[G(\nu)] \cdot F^{-1}[E'(\nu)]. \quad (3)$$

可见,只要将式(3)除以线型 $G(\nu)$ 的逆傅里叶变换,再对此进行傅里叶变换,则可得到消除本征线型的光谱 $E'(\nu)$ 。考虑到测量光谱及计算机计算过程的有限性,可得:

$$E''(\nu) = F\left[\frac{F^{-1}[E(\nu)] \cdot D(x)}{F^{-1}[G(\nu)]}\right], \quad (4)$$

式中 $D(x)$ 是对 $I(x)$ 的切趾函数,一般为海宁、三角形、或其它切趾函数。自消卷积后光谱 $E''(\nu)$ 为 $E'(\nu)$ 与 $F[D(x)]$ 的卷积,谱线线型由 $F[D(x)]$ 决定,分辨率为 $\Delta_{1/2} = \alpha/2L$ ^[5], 其中 α 与不同的切趾函数有关。

为了验证该方法处理普通光栅光谱的可行性,我们首先对一模拟光谱进行了自消卷积处理。经自消卷积后,分辨率提高3倍。

本文1985年4月22日收到。

与模拟光谱不同,在实际光谱中重迭现象往往使本征线型的类型及半宽度难以精确估计。尽管在一定范围内,这些参数对谱线频率位置影响不大,但在自消卷积时,半宽度选择太小,本征线型不能充分消除,分辨率提高不多;反之,则噪声太大。另外,对本征线型 $G(\nu)$ 类型的选择与实际情形相差较大时,对结果也有较大影响。为此,在实际光谱自消卷积前,需根据谱线加宽的不同特征,尽可能准确估计上述参数,并通过在一定范围内不断调整 $G(\nu)$ 的半宽度,以得到最佳自消卷积结果。

在钕玻璃中,由于不均匀加宽决定了谱线本征线型属于高斯型。在我们的实验条件下,仪器函数光谱半宽度较小,所测量的光谱线型还是属于高斯型^[6]。因此,我们利用高斯型本征线型对钕玻璃中 Nd^{3+} 吸收光谱进行自消卷积处理。

在钕玻璃中, $\text{Nd}^{3+} \ ^4I_{9/2} \rightarrow \ ^4F_{3/2}$ 吸收带位于 $0.43 \mu\text{m}$ 附近,为了提高测量光谱的信噪比,首先进行样条插值,得到如图 1(a)所示的以波数为自变量的光谱曲线。再利用 $\sigma = 120 \text{ cm}^{-1}$ 的高斯线型^[1]对其进行自消卷积。经过自消卷积,分辨出其中的 5 条分裂谱线,如图 1(b)所示。由于在 $^2P_{1/2}$ 能级中不存在斯塔克分裂,由该自消卷积结果可知,钕玻璃中 Nd^{3+} 的 $^4I_{9/2}$ 能级分裂为 5 个分别为 $0, 81, 183, 278, 449 \text{ cm}^{-1}$ 的斯塔克子能级。

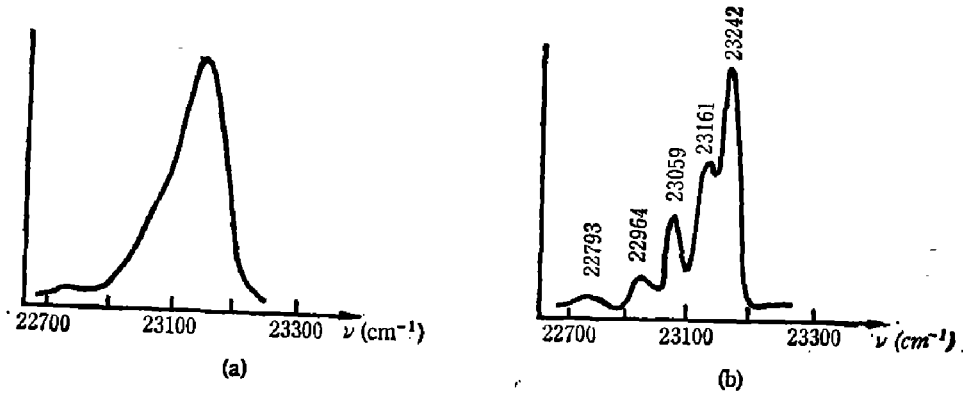


图 1

(a) 玻璃中 Nd^{3+} 的 $^4I_{9/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$ 吸收带 (b) 利用海宁函数及半宽度 $\sigma = 120 \text{ cm}^{-1}$ 的高斯线型自消卷积光谱

Fig. 1

(a) $^4I_{9/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$ absorption spectrum of Nd^{3+} in glass (b) Self-deconvoluted spectrum with cosine apodization function and $\Delta\nu = 8 \text{ cm}^{-1}$, $N = 512$, $N' = 128$, $\sigma = 120 \text{ cm}^{-1}$

$^4I_{9/2} \rightarrow ^4F_{3/2}$ 吸收带位于近红外区的 $0.87 \mu\text{m}$ 附近,测量光谱完全重迭在一起(参见图 2(a)),经相似的自消卷积处理后,可分辨出 6 条谱线的峰值位置,如图 2(b)所示。分析结果表明,由 $^4I_{9/2}(1), ^4I_{9/2}(2)$ 子能级到 $^4F_{3/2}$ (上)及 $^4I_{9/2}(3), ^4I_{9/2}(4)$ 子能级到 $^4F_{3/2}$ (下)的跃迁分别相应于图 2(b)中 $11667, 11578, 11303, 11208 \text{ cm}^{-1}$ 的 4 条谱线。而 $^4I_{9/2}(3) \rightarrow ^4F_{3/2}$ (上)和 $^4I_{9/2}(1) \rightarrow ^4F_{3/2}$ (下)两条谱线的自消卷积结果重迭为 11492 cm^{-1} 谱带,不能分开。 $^4I_{9/2}(4) \rightarrow ^4F_{3/2}$ (上)和 $^4I_{9/2}(2) \rightarrow ^4F_{3/2}$ (下)的跃迁谱线重迭成 11381 cm^{-1} 谱带,亦不能分开。 $^4F_{3/2}$ (上)、 $^4F_{3/2}$ (下)子能级的间隔为 181 cm^{-1} ,如图 3 所示。

以上两吸收带的自消卷积结果表明,钕玻璃中, Nd^{3+} 处在具有较低对称性的配位场中,总角动量为 J 的能级分裂为 $J + \frac{1}{2}$ 个斯塔克子能级。

本文还对 $^4I_{9/2} \rightarrow ^4F_{5/2}, ^2H_{9/2}$ 及 $^4I_{9/2} \rightarrow ^4F_{9/2}$ 两吸收带进行了自消卷积处理,各分辨出 9 个谱线峰值。由于温度感应引起的谱线分析的复杂性,暂时尚未确定 $^4F_{9/2}, ^2H_{9/2}$ 及

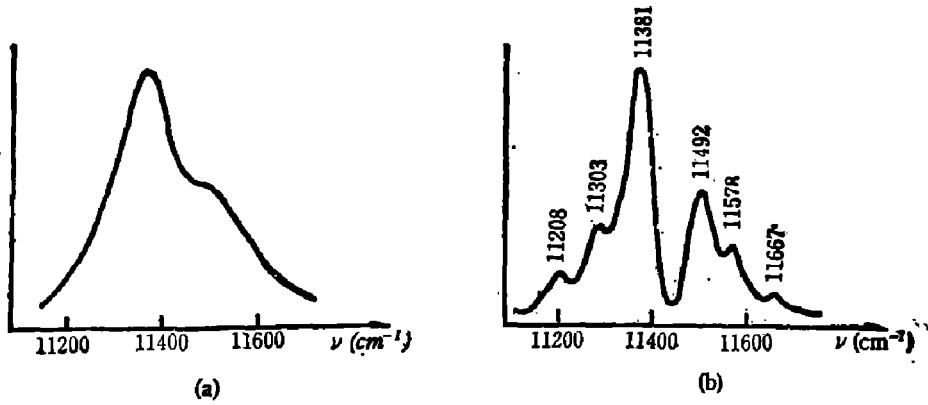


图 2

(a) 玻璃中 Nd^{3+} 的 ${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4F_{3/2}$ 吸收带 (b) 利用海宁函数及半宽度 $\sigma = 120 \text{ cm}^{-1}$ 的高斯线型自消卷积结果

Fig. 2

(a) ${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4F_{3/2}$ absorption spectrum of Nd^{3+} in glass (b) Self-deconvoluted spectrum with cosine apodization function and $\Delta\nu = 5 \text{ cm}^{-1}$, $N = 512$, $N' = N/8$, $\sigma = 120 \text{ cm}^{-1}$

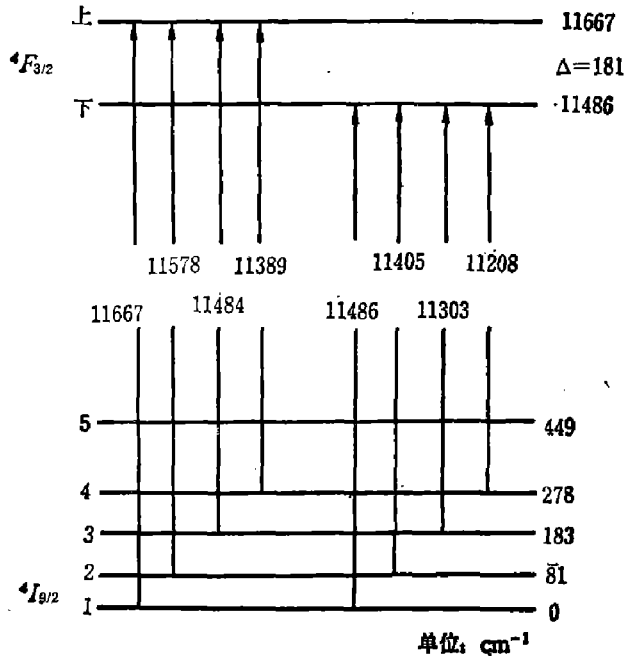


图 3 玻璃中 Nd^{3+} 的 ${}^4I_{9/2}$ 和 ${}^4F_{3/2}$ 能级间跃迁图

Fig. 3 Transitions between sublevels of ${}^4I_{9/2}$ and ${}^4F_{3/2}$ of Nd^{3+} in glass (unit, cm^{-1})

${}^4F_{5/2}$ 能级的斯塔克分裂。但如果光谱是在低温下测得的, 则可消除温度感应线, 此时, 不难看出, 利用自消卷积方法对光谱处理, 可比较容易地确定这些能级的斯塔克分裂。

参 考 文 献

- [1] Mann M. M. and Deshader L. G., *J. Appl. Phys.*, **41**(1970), 2951.
- [2] 陈述春、祁长鸿、戴凤妹, *物理学报*, **30**(1980), 54.
- [3] Kauppinen J. K. et al., *Appl. Spectrosc.*, **35**(1981), 271.
- [4] 钱霖、李正直、许国梁, *光学学报*, **4**(1984), 546.
- [5] Kauppinen J. K. et al., *Appl. Opt.*, **20**(1981), 1866.
- [6] Torkington P., *Appl. Spectrosc.*, **34**(1980), 189.

THE RESOLUTION OF ABSORPTION BANDS AND STARK SPLITS OF Nd^{3+} IN GLASS BY SELF-DECONVOLUTION METHOD

WANG ZHENMING

(Department of Physics, Suzhou University)

LI ZHENGZHI

(Department of Physics, Hangzhou University)

ABSTRACT

Using Fourier self-deconvolution method, four absorption bands of Nd^{3+} in one kind of laser glass are dealt with, two of which located in near infrared spectral region. The inhomogeneous intrinsic lineshapes are eliminated and a lot of spectral lines are resolved. The stark splits of ${}^4I_{9/2}$ and ${}^4F_{3/2}$ energy levels of Nd^{3+} are determined at room temperature.