

中山 茂

Shigeru Nakayama

兵庫教育大学 第5部 電子工学

Electronics Division, The 5th Department, Hyogo University of Teacher Education

The aim of this paper is to develop a high-resolution, ultra-sensitive laser method that makes use of a modulator in a polarization spectroscopy arrangement. Though saturation spectroscopy is not a sensitive technique, polarization spectroscopy is a useful technique for obtaining both high resolution and high sensitivity. However, spectral line shapes are distorted. Our proposed optical-activity-modulated polarization spectroscopy has additional advantages in sensitivity and symmetry of the line shape over saturation and polarization spectroscopy. The spectra of the sodium D_1 line have been calculated to compare the various spectroscopic techniques.

1. はじめに

第10回のレーザーシンポジウムにおいて高分解能レーザ分光として、励起光とプローブ光との偏光状態を変えて偏光分光のいろいろなタイプを紹介したが[1]、今回は、高分解能分光の飽和分光や偏光分光よりも、更に高感度な、波形歪のない高分解能分光として、光学活性変調偏光分光（複屈折変調偏光分光と二色性変調偏光分光）を提案する。

2. 光学活性変調偏光分光の原理

高分解能分光の中で、飽和分光[2]はドップラー広がりのある線形吸収とドップラー広がりがない非線形吸収とが重なり高感度ではない。そのために、励起光をチョッパー等で変調して線形吸収を取り除いている。チョッパーを使わずに、偏光子と検光子とを用いてドップラー広がりのある線形吸収を消去して、ドップラー広がり

ない非線形吸収だけが現れる偏光分光[3]が考案された。そのために高感度であるが、スペクトル波形がローレンツ波形と分散波形との重なりで歪み共鳴位置が判定しにくい。そこで、偏光子と検光子とを用いずに励起光がプローブ光の偏光面を変調して、ドップラー広がりのある線形吸収を消去して、ドップラー広がりがない非線形吸収だけを得る速度選択光ポンピング分光[4]が考案された。この分光方法は高感度で波形歪がない利点がある。しかし、更に高感度な、波形歪のない高分解能分光として、Fig.1とFig.2に示すような複屈折変調偏光分光と二色性変調偏光分光を提案する。この光学活性変調偏光分光は偏光子と検光子とを用いてドップラー広がりのある線形吸収を消去しドップラーフリーにして、更にプローブ光の偏光面を変調して高感度にドップラー広がりがない非線形吸収だけを得ている。

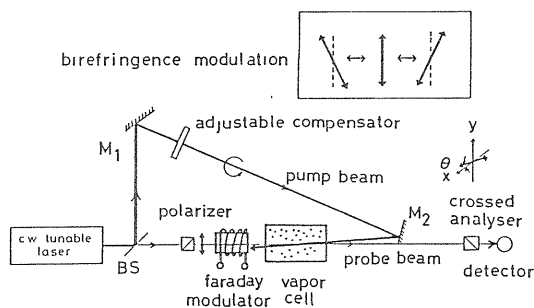


Fig. 1 Schematic diagram of birefringence-modulated polarization spectroscopy.

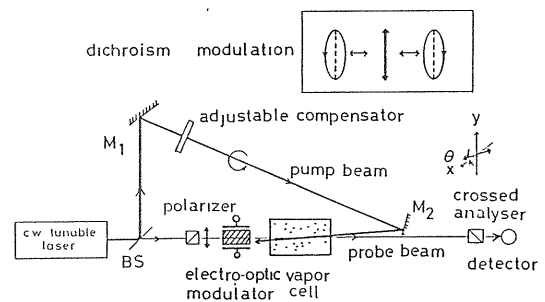


Fig. 2 Schematic diagram of dichroism-modulated polarization spectroscopy.

3. 光学活性変調偏光分光の理論

この原理を理論的に説明する。まず、変調器がない場合は偏光分光と同じで、直線偏光の入射波 I_0 に対して検光子が角度 θ だけ傾斜したときの偏光分光信号[5]は

$$I = I_0 [\theta^2 + (f + f^*)\theta + ff^*] \quad (1)$$

となり、ここで、非等方性媒質の散乱要素 f は

$$f = \phi + i\delta \quad (2)$$

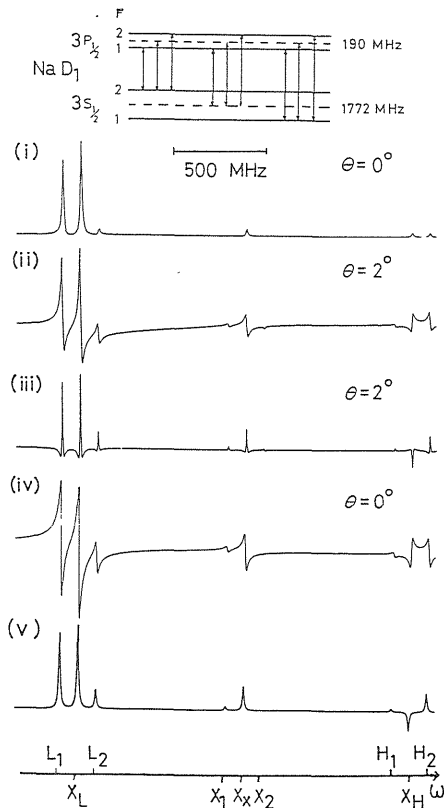


Fig. 3 Comparison of Na D₁ line spectra produced by: (i) polarization spectroscopy with a crossed analyzer, (ii) polarization spectroscopy with a nearly crossed analyzer, (iii) frequency modulated polarization spectroscopy with nearly crossed analyzer, (iv) birefringence-modulated polarization spectroscopy, and (v) dichroism-modulated polarization spectroscopy. An energy level diagram showing the hyperfine splitting of the upper and lower states of the transition is shown in the inset.

ただし、 $\phi \propto n_+ - n_-$ は右左円偏光に対する屈折率の違いを示し複屈折であり分散型をしている、 $\delta \propto \alpha_+ - \alpha_-$ は右左円偏光に対する吸収係数の違いを示し二色性でありローレンツ型をしている。光学活性変調偏光分光では、直交した検光子($\theta=0$)を用いるので

$$I = I_0 [\phi^2 + \delta^2] \quad (3)$$

となる。

複屈折変調偏光分光の場合は、入射波の直線偏光の偏光面をファラデー変調器によって偏光面を変調($\phi_m \cos \omega_m t$)すると、

$$I = I_0 [(\phi + \phi_m \cos \omega_m t)^2 + \delta^2] \quad (4)$$

となり、位相検波すると複屈折変調偏光分光信号は

$$I \propto 2\phi \phi_m \quad (5)$$

となり、分散型だけの信号となる。

二色性変調偏光分光の場合は、入射波の直線偏光の偏光面を電気光学変調器によって二色性を変調($\delta_m \cos \omega_m t$)すると、

$$I = I_0 [\phi^2 + (\delta + \delta_m \cos \omega_m t)^2] \quad (6)$$

となり、位相検波すると二色性変調偏光分光信号は

$$I \propto 2\delta \delta_m \quad (7)$$

となり、ローレンツ型だけの信号となる。

4. ナトリウム原子D₁線の高分解能分光信号の比較

各高分解能分光法でのナトリウム原子D₁線の理論信号例をFig.3に示す。これらの信号強度比は4準位原子モデルを用いて光 π ・ σ ・ π 効果効果を考慮して密度行列方程式で求められる[6]。D₁線の超微細構造はFig.3に示してあるが、4つの原子共鳴と5つのクロスオーバー共鳴がある。Fig.3(i)と(ii)の偏光分光では波形歪が見られ、(iii)の周波数変調偏光分光は(ii)の波形を単に微分したもので、波形歪の解消にならない。(iv)の複屈折変調偏光分光や(v)の二色性変調偏光分光は波形歪がなく、高感度である。

参考文献

- [1] 中山 茂:第10回ライオン・シンポジウム 58 (1985) .
- [2] V.S. Letokov and V.P. Chebotayev: Nonlinear Laser Spectroscopy (Springer-Verlag, Berlin, 1977).
- [3] C. Wieman and T.W. Hansch: Phys. Rev. Lett. 36 (1976) 1170.
- [4] C.G. Aminoff, J. Javanainen and M. Kaivola: Phys. Rev. A 28 (1983) 722.
- [5] S. Nakayama: Jpn. J. Appl. Phys. 26(1987) 1765.
- [6] S. Nakayama: J. Opt. Soc. Am. B 2 (1985) 1431.