



|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | マイクロキャビティとWolf効果  |
| Author(s)        | 吉村, 博幸  |
| Citation         | 電子科学研究, 3, 116-117  |
| Issue Date       | 1996-01   |
| Doc URL          | <a href="https://hdl.handle.net/2115/24366">https://hdl.handle.net/2115/24366</a> |
| Type             | departmental bulletin paper   |
| File Information | 3_P116-117.pdf  |



# マイクロキャビティと Wolf 効果

附属電子計測開発施設 吉村博幸

マイクロキャビティは、零しきい値レーザ実現のため必要不可欠である。一方、部分的コヒーレント多色光源から放射された光のスペクトルがその伝播により変化する現象は、近年、Wolf 効果として注目されている。このような背景から、今回、平板形マイクロキャビティから放射された自然放出光について、Wolf 効果を考察した。結果として、平板形マイクロキャビティは、その空間的コヒーレンス特性がキャビティ長及びミラー反射率により容易に制御が可能な部分的コヒーレント 1 次光源であることが明らかにされる。

## 1. 平板形マイクロキャビティと準モード

図1は、平板形マイクロキャビティを模式図的に示したものである。図において、 $l$ 、 $R$  及び  $n_{cav}$  は、それぞれ、キャビティ長、ミラー反射率及びレーザ活性層の屈折率を表している。通常の平板形キャビティとの相違点は、キャビティ長  $l$  がキャビティの共鳴波長  $\lambda_r$  と同等な点である ( $l = n\lambda_r/2$ ,  $n$ : 自然数)。

ところで、平板形マイクロキャビティは、ミラーに平行な方向に対して閉じ込め構造ではないにも関わらず、その出射端において準モード<sup>[1,2]</sup>を形成する。特に、その遠方界放射パターンがガウス形開口の回折問題として近似的に記述できるとしたとき、準モード半径  $a_{qm}$  は次式にて与えられる。

$$a_{qm} = \sqrt{\frac{2cl\sqrt{R}}{n_{cav}(1-R)\omega_{r0}} \ln\left[2\left\{1 - \frac{cn_{cav}(1-R)}{l\sqrt{R}\omega_{r0}}\right\}\right]} \quad (1)$$

ここで  $c$  及び  $\omega_{r0}$  は、それぞれ、真空中における光の速度及びキャビティの共鳴角周波数を表している。

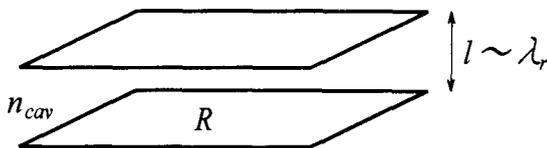


図1 平板形マイクロキャビティ

## 2. Wolf 効果について

1986年、Wolfにより、空間相関をもつ多色光源から放射された光のスペクトルがその伝播により変化的ことが予測され、その後、様々な実験によりその正当性が実証されている。この現象は、スペクトル変化現象あるいは Wolf 効果と呼ばれている<sup>[3]</sup>。

この効果を定量的に記述するため、観測角  $\theta_0$  における遠方場スペクトルの光源スペクトルからの相対偏移量を次式にて定義する。

$$\alpha = [\omega_{r0} - \bar{\omega}_0(\theta_0)] / \bar{\omega}_0(\theta_0) \quad (2)$$

ここで  $\omega_{r0}$  は光源スペクトルの中心角周波数を、 $\bar{\omega}_0(\theta_0)$  は観測角  $\theta_0$  における遠方場スペクトルの中心角周波数を表している。遠方場スペクトルは、 $\alpha > 0$  のとき低周波数側に偏移し、 $\alpha < 0$  のとき高周波数側に偏移し、 $\alpha = 0$  のとき偏移しない。

例えば、平面形準均一 2 次光源からの光による遠方場スペクトルは、観測角  $\theta_0$  が 0(deg) のとき光源スペクトルに対して高周波数側 ( $\alpha < 0$ ) に偏移するが、 $\theta_0$  の増大により低周波数側 ( $\alpha > 0$ ) に偏移する。さらに、光源の空間的コヒーレンス長あるいは光源スペクトル幅の増加に従い、その偏移量は増大する<sup>[4]</sup>。

## 3. 平板形マイクロキャビティからの自然放出光による遠方場スペクトル

平板形マイクロキャビティを準モード径  $2a_{qm}$  より十分大きな領域に対して励起した場合、マイクロキャ

ビティ出射端における光の場の空間相関を記述する相互スペクトル密度は次式にて与えられる。

$$W_0(\xi, \Delta\xi; \omega_0) = \frac{A}{(\omega_0 - \omega_{r0})^2 + \Gamma_0^2} i_0(\xi) \exp\left(-\frac{\Delta\xi^2}{2a_{qm}^2}\right) \quad (3)$$

ここで、 $\Gamma_0$  はスペクトル幅を、 $i_0(\xi)$  は規格化平均強度分布を表している。さらに、スペクトル分布はローレンツ形、スペクトルコヒーレンス度は空間的コヒーレンス長が  $a_{qm}$  のガウス形で与えられると仮定している。

このとき、遠方場スペクトル密度は、これを周波数独立項にて規格化したいわゆる規格化遠方場スペクトル密度により、次式にて与えられる。

$$s_\infty(\theta_0; \omega_0) = \frac{\omega_0^2}{(\omega_0 - \omega_{r0})^2 + \Gamma_0^2} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{a_{qm} \sin \theta_0}{c}\right)^2 \omega_0^2\right] \quad (4)$$

#### 4. 遠方場スペクトルのキャビティ長及びミラー反射率依存性

図 2 は、活性層媒質として  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$  ( $n_{\text{cav}} = 3.47$ ) を使用した場合、相対スペクトル偏移量  $\alpha$  の観測角  $\theta_0$  依存性を示したものである。図 2(a) の実線、破線及び点線は、 $R = 0.90$  の条件下で、キャビティ長  $l$  がそれぞれ  $2.5\lambda_r$ 、 $\lambda_r$  及び  $0.5\lambda_r$  に対する結果を示している。一方、図 2(b) の実線、破線及び点線は、 $l = 0.5\lambda_r$  の条件下で、ミラー反射率  $R$  がそれぞれ  $0.99$ 、 $0.95$  及び  $0.90$  に対する結果を示している。なお、各々の結果は、 $\theta_0$  が  $0(\text{deg})$  から遠方場放射パターンの半値半幅に対応する値まで示されている。

これらの図から、 $\theta_0 = 0(\text{deg})$  における遠方場スペクトルは、すべての  $l$  及び  $R$  に対して高周波数側に偏移し、その偏移量は  $l$  あるいは  $R$  の減少により増大することがわかる。しかしながら、 $\theta_0$  が増大するに従い、その偏移量は徐々に減少する。

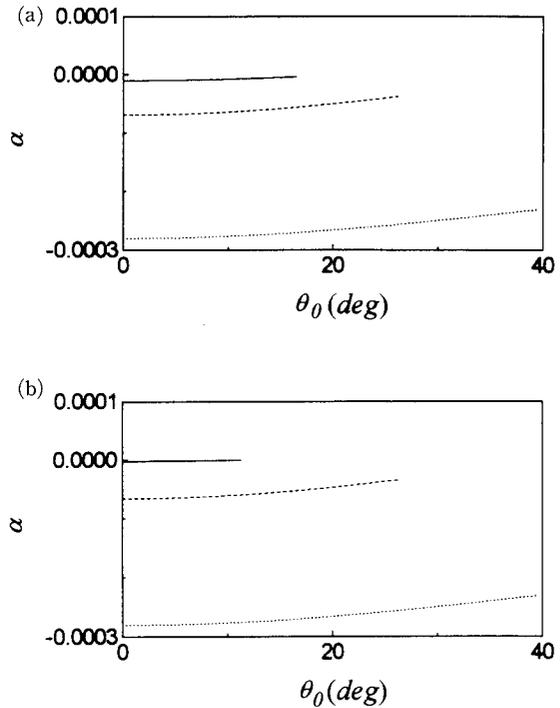


図 2 相対スペクトル偏移量  $\alpha$  の観測角  $\theta_0$  依存性。  
(a)  $l = 2.5\lambda_r$  (—),  $\lambda_r$  (---) 及び  $0.5\lambda_r$  (·····)。ただし、 $R = 0.90$ 。  
(b)  $R = 0.99$  (—),  $0.95$  (---) 及び  $0.90$  (·····)。ただし、 $l = 0.5\lambda_r$ 。

#### 5. 結 論

平板形マイクロキャビティからの自然放光による遠方場スペクトルを、Wolf 効果の観点から考察した。結果として、遠方場スペクトルは、キャビティ長及びミラー反射率に依存して偏移することがわかった。このことから、平板形マイクロキャビティは、空間的コヒーレンス特性がこれらキャビティのパラメーターにより容易に制御可能な部分的コヒーレント 1 次光源であることが明らかにされた。

#### 【参考文献】

- [1] G. Björk, H. Heitmann and Y. Yamamoto: Phys. Rev. A 47, 4451 (1993).
- [2] K. Ujihara: Jpn. J. Appl. Phys. 33, 1059 (1994).
- [3] H. C. Kandpal, J. S. Vaishya and K. C. Joshi: Opt. Eng. 33, 1996 (1994).
- [4] Z. Dačić and E. Wolf: J. Opt. Soc. Am. A 5, 1118 (1988).

**電子科学研究 第3巻**

---

1996年1月22日

編集 電子科学研究所出版委員会

印刷 (株)アイワード

---