

不同状态下激光器电场强度分布的电光检测与初步分析*

王 硕 勤 朱 祖 华

(浙江大学信息与电子工程系, 杭州 310008)

Analysis and measurement on distribution of electric field in GaAs/AlGaAs lasers under different bias

WANG Shuoqin, ZHU Zuhua

(Department of Information & Electric Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310008)

Abstract According to the basic principle of CWEOP (Continue Wave Electro-Optic Probing), we detect the distribution of the electric field of two types of GaAs/GaAlAs heterojunction lasers (the proton-bombarded and the broad-area contact). The experimental results obtained at different areas and under different bias conditions reflect the characteristics of lasers such as carrier confinement, the change of the distribution of electric field corresponding to different bias currents and the distribution of electric field under negative bias.

Key words linear electro-optic, CWEOP, distribution of electric field

1 引 言

连续波电光检测技术是近几年发展起来的测量光电材料及光电材料制备的器件的电特性的一种新型测量技术^[1]。它基于线性电光效应^[2]。采用连续波激光作为测量手段。

CW EOP 技术已在 GaAs, LiNbO₃ 等光电材料及器件的电场分布检测中得到实质性应用^[3]。采用 CW EOP 技术对半导体激光器内场分布电光检测的初步结果在文献[4]中已有报道, 本文是对激光器在不同状态下进行场分布电光检测的更进一步探讨。

2 实验原理

被测的 GaAs/GaAlAs 导电结激光器管芯各层从上电极到下电极依次为 P 型 GaAs 接触层、P 型 Ga_{0.6}Al_{0.4}As 限制层、GaAs-Ga_{0.8}Al_{0.2}As 多量子阱有源区、N 型 Ga_{0.6}Al_{0.4}As 限制层、N

* 本工作得到国家八六三计划光电子主题的支持。

型 GaAs 过渡层、N 型 GaAs 衬底,两边为质子轰击区。宽接触型激光器除未经质子轰击外其结构与上述相同。

忽略激光器各层之间的折射率之差。假设样品内的电场方向为 E_z 方向,即从上电极到下电极方向,忽略可能存在在下限制层附近的较小横向扩散电流^[5],从而认为激光器各层之间满足单一的折射率椭球方程形式^[2],加在其上的电场将改变感应主轴分量的大小,使入射的探测光产生相位延迟。合理的探测光偏振模式和入射及出射模式应能最大限度地携带出反馈在其上的电场强度 E_z 的信息。根据被测激光器结构,探测光从被测激光器前表面即光出射面入射,从激光器后表面出射。在这样的设置条件下探测光的相位延迟为

$$\Delta\Gamma = (\frac{1}{2})K\gamma_{41}E_z n_0^3 L$$

其中波长常数 $K = 2\pi/\lambda = 4.8 \times 10^6$ (1/m),GaAs 电光张量系数 $\gamma_{41} = 1.6 \times 10^{-12}$ (m/V),未加电场的折射率 $n_0 = 3.34$, L 是探测光经过被测样品的距离。使光的相位变化转化为光强度的变化并在锁相放大器上读出 :

$$V_{(E-O)} \propto \Delta\Gamma = (\frac{1}{2})K\gamma_{41}E_z n_0^3 L$$

上式中 K, γ_{41}, n_0, L 是与电场无关的常量。由于各层之间折射率的相对变化小于 5.7%^[6],同时注意到虽然在正向工作条件下被测激光器的有源层由于大量载流子注入会引起折射率的变化,然而在文献[7]中可以看到它的相对变化量不大于 1.7%。在以后的电光信号结果中可看出电光信号 $V_{(E-O)}$ 随空间位置产生的变化在几十倍到几百倍以上,因此各层之间的折射率之差以及载流子注入效应引起的空间各点的折射率差异并不是引起电光信号 $V_{(E-O)}$ 变化的主要因素,可以被忽略,电光信号 $V_{(E-O)}$ 主要由 E_z 场决定。实验装置如图 1 所示,实验具体过程见文献[4]。

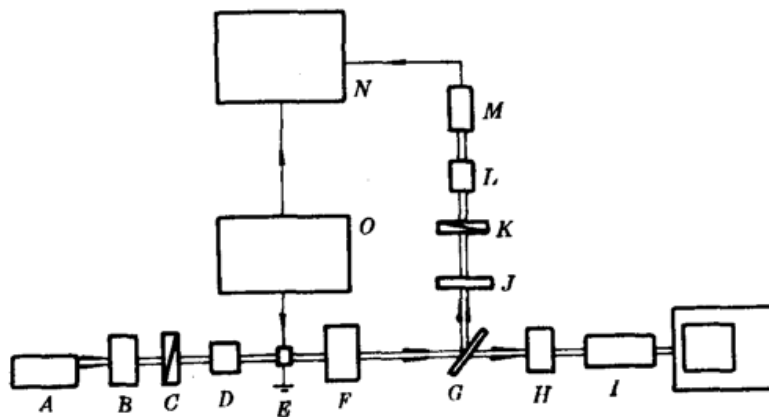


Fig. 1 Schematic diagram of experiment setup

A — 1.3 μm InP laser; B — collimating objective; C — polarizer and $\frac{1}{4}$ wavelength plate; D — focusing lens; E — the detected-GaAs/GaAlAs laser; F — collimating objective; G — beamsplitter; 1.3 μm 80% reflection and 0.85 μm 80% transmission; H — imaging lens; I — infrared camera system; J — filter: 0.85 μm 80% reflection and 1.3 μm 80% transmission; K — analyzer; L — focusing lens; M — photodiode; N — lock-in amplifier; O — Electric signal source as the bias of the detected laser as well as the reference of lock-in amplifier

3 实验结果及讨论

3.1 实验结果

分别对编号为 MB-8, ME-2 两个 GaAlAs/GaAs 双异质结质子轰击型激光器管芯及编号为

PO72 宽接触型激光器管芯进行了各种偏置状态下的电场强度空间分布的测量。我们主要针对发光区、下限制层及衬底区域进行了横向扫描探测,并绘出了相应的电场强度位置分布图。

MB-8 样品的阈值电流 $I_{th} = 73 \text{ mA}$, 分别在正向偏置电流 $I_b = 23 \text{ mA (rms)}$ 即阈值以下, 和 $I_b = 50 \text{ mA (DC)} + 37 \text{ mA (rms)}$, 即阈值电流以上沿上述沿三个区域扫描。获得的电光信号曲线如图 2 所示。

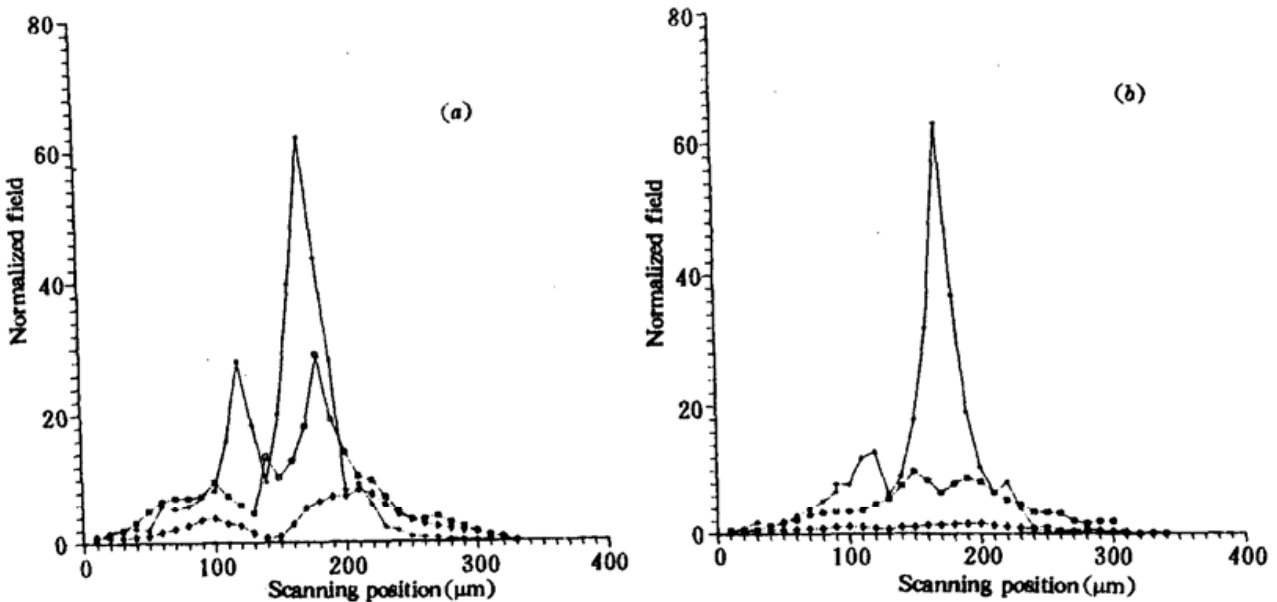


Fig. 2 Measured normalized magnitude of the electro-optic signal as a function of the position of the probing beam

(a) $I_{BLAS} = 23 \text{ mA (rms)}$; (b) $I_{BLAS} = 50 \text{ mA (DC)} + 30 \text{ mA (rms)}$

* — probing beam scanning along the vicinity of the fluorescent area; □ — probing beam scanning along the vicinity of the under-confinement area; ◇ — probing beam scanning along the vicinity of the substrate

ME-2 样品的阈值电流 $I_{th} = 80 \text{ mA}$ 。分别在阈值电流以下 $I_b = 19 \text{ mA (rms)}$ 和阈值电流以上 $I_b = 50 \text{ mA (DC)} + 35 \text{ mA (rms)}$ 进行电光检测,获得的电光信号曲线如图 3 所示。

在 $I_b = 0.5 \text{ mA (DC)} + 1.0 \text{ mA (rms)}$ 下对 PO72 激光器进行电光检测,获得的电光信号曲线如图 4 所示。

3.2 分析讨论

3.2.1 有源层附近电光信号的变化反映出有源层附近载流子限制情况

有源层附近载流子限制同激光器的阈值电流、侧向漏电流情况及激光器横模模式等有直接关系。有源层附近载流子密集区域对应的注入电流密度大,造成此处的电场强度强,测量出的电光信号大,电光信号的分布间接反映出载流子密度的分布情形及载流子横向限制质量,三个典型样品的测量中我们均明显地发现电光信号较强区域对应着它们各自的荧光发光区域及载流子密集区。

从光近场实验中已知,MB8 样品相对 ME2 而言,发光模式较好,且阈值电流较小,从两个样品的电光测量曲线可见,MB8 样品的电光信号半宽域窄于 ME2,从而在电光检测中证实了 MB8 样品的侧向限制优于 ME2 样品。宽接触型样品如 PO72,由于没有横向限制结构造成发光区及载流子注入区较宽,从 PO72 样品的电光信号强场区域平缓且宽与 MB8 及 ME2 样品的电光信号强场区域较陡且窄中可明显反映出这一结构差异。

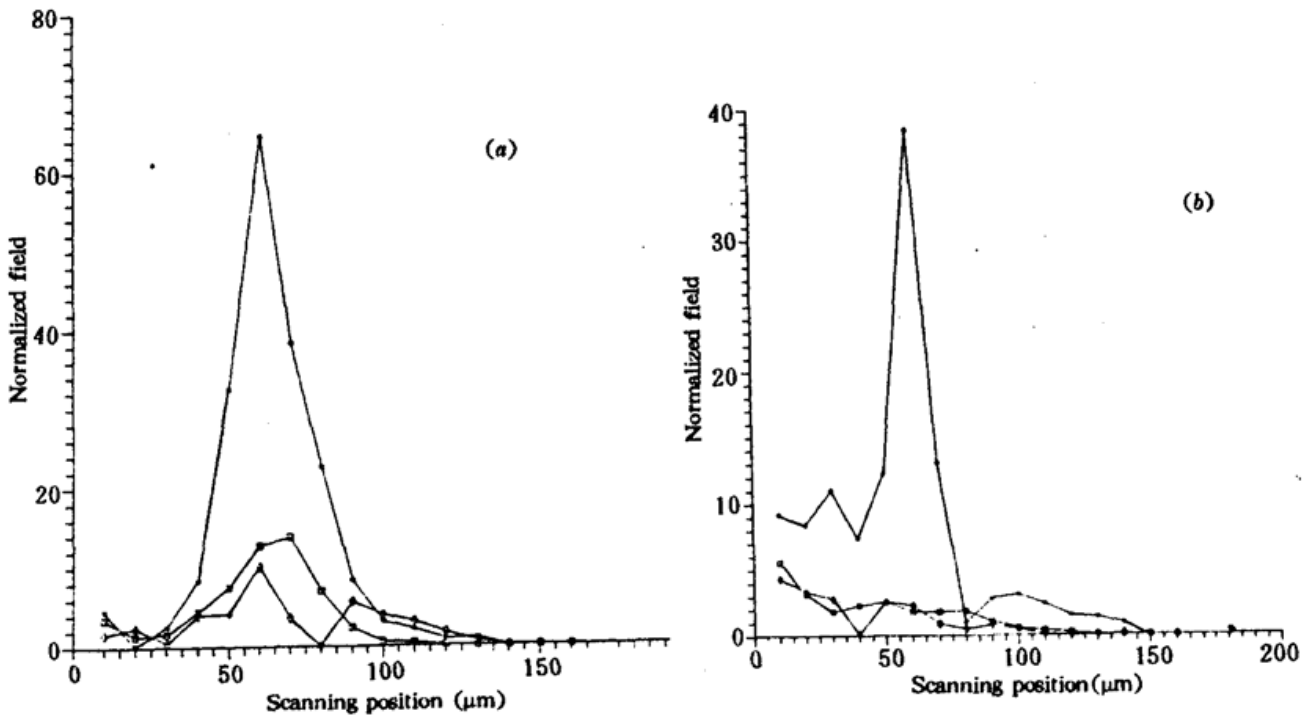


Fig. 3 Measured normalized magnitude of the electro-optic signal as a function of the position of the probing beam

(a) $I_{BIAS} = 19 \text{ mA (rms)}$; (b) $I_{BIAS} = 50 \text{ mA (DC)} + 35 \text{ mA (rms)}$

* — probing beam scanning along the vicinity of the fluorescent area; □ — probing beam scanning along the vicinity of the under-confinement area; ◇ — probing beam scanning along the vicinity of the substrate

3. 2. 2 不同偏置电流状态影响载流子限制情形

分别设置偏置电流在阈值以上及以下对 MB8, ME2 样品的有源区附近同一扫描区域测量, 从图 2, 图 3 看出, 阈值以上的曲线半宽度窄于阈值以下的。这反映出激光器在阈值以上工作, 其载流子限制性能与光场性能较之在阈值以下有较大改善。

3. 2. 3 激光器内部电流分布不均匀, 且在不同偏置电流下电场分布有明显变化

在模拟计算激光器内场分布情形时, 为方便起见, 注入电流及载流子分布都简单地被视为均匀分布或满足一定的数学表达式的分布形式。然而样品外延质量、缺陷或是一些未知的激光器电场分布机理造成实际的激光器电场分布较为复杂和不均匀, 图 2 和图 3 表明各曲线的峰值位置即对应的载流子高密度区的空间位置有些错位, 这部分反映出激光器内部电流从上电

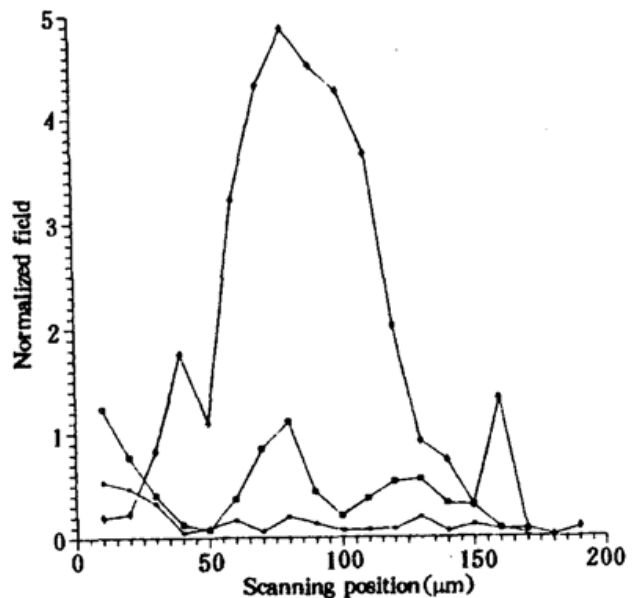


Fig. 4 Measured normalized magnitude of the electro-optic signal as a function of the position of the probing beam, $I_{BIAS} = 0.5 \text{ mA (DC)} + 1.0 \text{ mA (rms)}$

* — probing beam scanning along the vicinity of the fluorescent area; □ — probing beam scanning along the vicinity of the under-confinement area; ◇ — probing beam scanning along the vicinity of the substrate

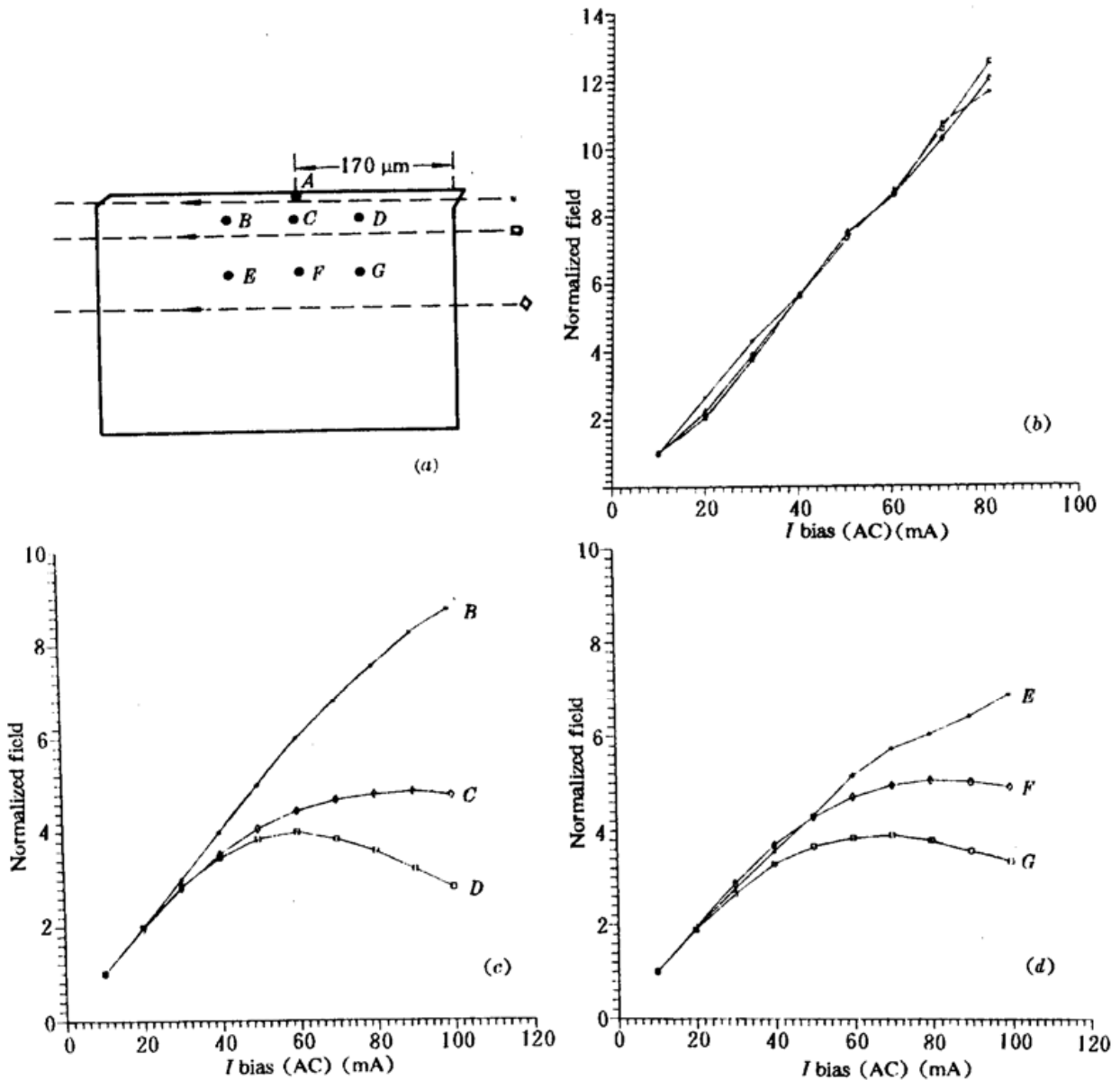


Fig. 5 (a) The backward of sample MB8 and the paths the probing rays scanning on the sample, • the fluorescent area of the sample; (b) Measured normalized magnitude of the electro-optic signal at point A in sample MB8 as a function of the AC biased current, * — DC biased current is 40 mA, □ — DC biased current is 50 mA, ◇ — DC biased current is 60 mA; (c) Measured normalized magnitude of the electro-optic signal at point B, C, D in sample MB8 as a function of the AC biased current; (d) Measured normalized magnitude of the electro-optic signal at point E, F, G in sample MB8 as a function of the AC biased current

极到下电极时有扭折现象。我们进而分别在 MB8 样品各主要区域选择了几个抽样点进行了电光信号随偏置电流变化的实验,分别选定发光区的点 A,下限制层附近的点 B, C, D,衬底附近的点 E, F, G,如图 5(a) 所示,实验系统如前,MB8 样品偏置电流设置情况是:直流偏置 40 mA,交流偏置调制信号依次增长,记录每点测得的电光信号变化情形结果示于图 5(b), (c), (d),实验曲线表明各点的电场强度随偏置电流的增大出现了不同形式的变化,某些点的电场强度随电流增大呈上升趋势,而某些点则反而出现下降现象,表明了不断增长的光场不仅反过来影响着有源层载流子限制情形,也影响着下限制层及衬底附近的电场分布。其具体原因尚在进一步分析。

理论认为有源区的结电压在阈值以上有饱和现象,但在此实验结果中,并未发现曲线在阈

值前后有斜率突变现象,发光区测得的电光信号随偏置电流增大一直呈线性增长趋势。为了证实此实验结果的可靠性,在对点 A 的测试时,分别在直流偏置 50 mA,60 mA 下进行了电光信号随电流变化的实验,仍然发现电光信号随电流增大呈线性增长的趋势,如图 5(b) 所示,初步的分析认为由于目前实验中的探测光光斑分辨率还不高,不能将光限制在仅 1 μm 的有源层进行更加细致的扫描,因此尚不能发现这个斜率突变点。

3.2.4 反向偏置电流下激光器内部电场强度分布存在着不同的机理

激光器处于反偏置下,其内场分布主要是由加在样品两端的反向偏压及各区的电导性质所定,图 6 是对 PO72 样品在反向偏压 $V = -5.4 \text{ V (DC)} + 1.8 \text{ V (rms)}$ 的工作条件下测得的曲线。从实验曲线可看出有源层附近的电光信号远大于其它区域的电光信号。这说明由于有源区附近的 P-N 结反向偏压下结电阻很大,使反偏电压主要集中在这一段很薄的结区上,从而造成该处电场骤增,而其它区域由于压降很小,因而电场强度很弱,这也部分证实了激光器的反向击穿电压即 P-N 结的反向耐压性与有源层的杂质浓度有关。

感谢中国科学院半导体所陈良惠、徐俊英等同志及上海光机所方祖捷等同志提供的帮助。感谢丁纯、丁桂兰、吴小萍、张国荣、楼东武等同志在实验过程中给予的支持。

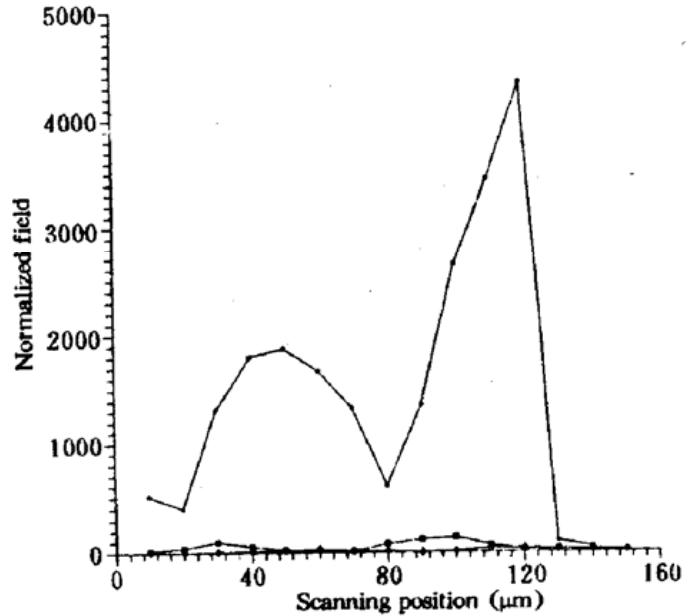


Fig. 6 Measured normalized magnitude of the electro-optic signal as a function of the position of the probing beam $V_{\text{reverse bias}} = 5.4 \text{ V (DC)} + 1.8 \text{ V (rms)}$
 * - Probing beam scanning along the vicinity of the fluorescent area;
 □ - probing beam scanning along the vicinity of the under-confinement area;
 ◇ - probing beam scanning along the vicinity of the substrate

参 考 文 献

- 1 Z. H. Zhu et al., *Appl. Phys. Lett.*, **49**(8), 432~434(1986)
- 2 朱祖华 编著,信息光电子学基础,浙江大学出版社,1990年7月,第一版 345~366
- 3 朱祖华 et al., *光学学报*, **11**(10), 944~950(1991)
- 4 朱祖华 et al., *半导体学报*, **13**(7), 417(1992)
- 5 S. P. Cheng et al., *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-24**(12), 2433~2440(1988)
- 6 黄玉辉 et al., *中国电子学报论文集*, 1988年11月, C-23, 1~3
- 7 J. Manning et al., *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-19**(10), 1525~1530(1983)

(收稿日期:1992年9月7日;收到修改稿日期:1993年2月22日)