

07; 11

© 1991

## ФАЗОВАЯ ПЭВ-МИКРОСКОПИЯ

А.К. Н и к и т и н, А.А. Т и ш е н к о

Поверхностные электромагнитные волны (ПЭВ) широко применяются в спектроскопии поверхности и датчиках физических величин [1, 2]. Применение ПЭВ перспективно также в оптической микроскопии [2-5]. Основным достоинством ПЭВ-микроскопии является более высокое, по сравнению с традиционной оптической микроскопией, вертикальное разрешение (относительно поверхности объекта) без существенного снижения латерального разрешения. ПЭВ-микроскопия, рассмотренная в опубликованных работах, по существу является амплитудной, так как в ней для визуализации неоднородностей исследуемого объекта изменение фазы отраженного от объекта излучения не используется.

В настоящей работе рассмотрена фазовая ПЭВ-микроскопия, основанная на сильной зависимости фазы отраженного  $\rho$ -поляризованного монохроматического излучения от свойств отражающей структуры при углах падения излучения  $\theta$ , близких к углу оптимального возбуждения ПЭВ  $\theta_0$  [6, 7]. На примере конкретной структуры показано, что при определенных условиях фазовая ПЭВ-микроскопия имеет более высокое вертикальное разрешение по сравнению с амплитудной ПЭВ-микроскопией. Сочетание обоих видов ПЭВ-микроскопии расширяет возможности исследований неоднородных структур.

Рассмотрим возможности фазовой ПЭВ-микроскопии в сопоставлении с амплитудной ПЭВ-микроскопией, примененной в работе [8] для визуализации золотой решетки. А $\mu$  решетка с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_3 = -2.1 + j \cdot 4.0$  толщиной  $h = 0.95$  нм осаждалась на А $g$  пленку с  $\epsilon_2 = -8.5 + j \cdot 0.35$  толщиной  $d = 51.0$  нм, нанесенную на основание стеклянной призмы с  $\epsilon_1 = 2.32$ ; прилегающая к А $g$  пленке среда - воздух. Возбуждение ПЭВ осуществлялось по схеме Кречманна излучением с длиной волны  $\lambda = 488$  нм. Измерения выполнялись в отраженном от основания призмы излучении. Приведены экспериментальные зависимости коэффициентов отражения по мощности  $\rho$ -поляризованного излучения  $R_p(\theta)$ , полученные при  $h = 0$  и  $h = 0.95$  нм, и контраста изображения А $\mu$  решетки  $K_R(\theta) = (R_p^0 - R_p^*) \cdot (R_p^0 + R_p^*)^{-1}$ , где  $R_p^0 = R_p$  при  $h = 0$  и  $R_p^* = R_p$  при  $h = 0.95$  нм. Авторами работы [8] установлено, что в зависимости от величины угла падения  $\theta$  контраст изображения решетки может быть как положительным  $K_R^+$ , так и отрицательным  $K_R^-$ , причем максимальные значения контраста  $K_{Rmax}^+ = 0.3$  и  $K_{Rmax}^- = -0.2$  достигаются при  $\theta > \theta_0$

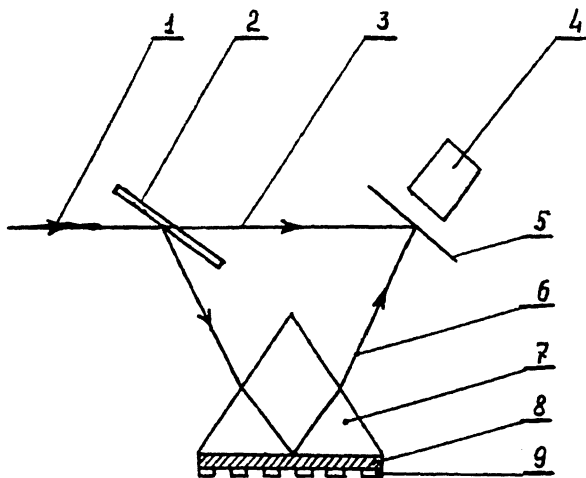


Рис. 1. Схема установки для реализации фазовой ПЭВ-микроскопии: 1 -  $\rho$ -поляризованное излучение, 2 - лучеразделительная пластинка, 3 - референтный луч, 4 - оптический микроскоп, 5 - экран, 6 - сигнальный луч, 7 - призма, 8 -  $Ag$  пленка, 9 -  $Au$  решетка.

и  $\theta < \theta_0$  соответственно. Выполненный нами расчет показал, что для данной структуры теоретически можно достичь  $K_{Rmax}^+ \approx K_{Rmax}^- \approx 0.7$ .

Известно [6, 7], что при возбуждении ПЭВ методом НПВО фаза  $\varphi$  отраженного излучения очень чувствительна к свойствам отражающей структуры. Так, например, для структуры, рассмотренной в [8], величина фазового сдвига  $\Delta = \varphi_h = 0 - \varphi_h = 0.95 \approx 1.83 \cdot \pi$  при  $\theta = 44^\circ 11'$ .

Для реализации фазовой ПЭВ-микроскопии в методе НПВО необходимо сформировать референтный пучок излучения и совместить его с сигнальным в области наблюдения микрограммы (рис. 1). В этом случае ее контраст можно рассчитать по формуле:

$$K_T = (I^o - I^*) \cdot (I^o + I^*)^{-1}, \quad (1)$$

где  $I^o$  - интенсивность излучения в плоскости микрограммы в отсутствие объекта визуализации ( $Au$  пленки);  $I^*$  - интенсивность излучения в плоскости микрограммы при наличии на  $Ag$  пленке объекта визуализации.

Положим в формуле (1)  $I^o = 4 \cdot R_p^o$ , что соответствует равенству интенсивностей излучения референтного и сигнального пучков и их синфазности, а  $I^* = R_p^o + R_p^* + 2 \cdot \sqrt{R_p^o \cdot R_p^*} \cdot \cos \Delta$ . Тогда максимальный контраст, равный 1.0, может быть достигнут в двух случаях: 1) при  $I^o = 0$  (это случай амплитудной ПЭВ-

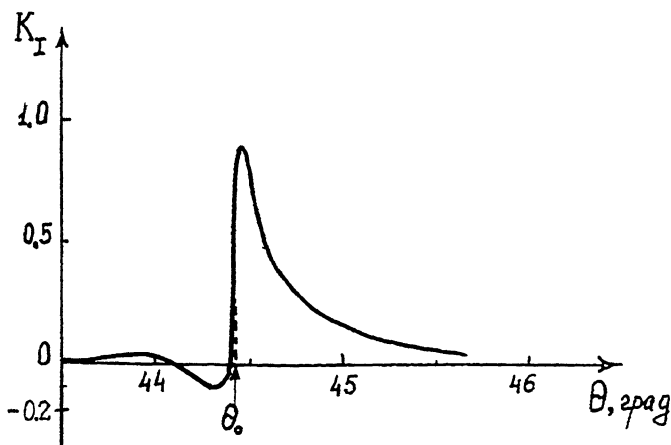


Рис. 2. Расчетная зависимость контраста  $K_I(\theta)$  изображения  $Au$  решетки, получаемого с помощью фазовой ПЭВ-микроскопии.

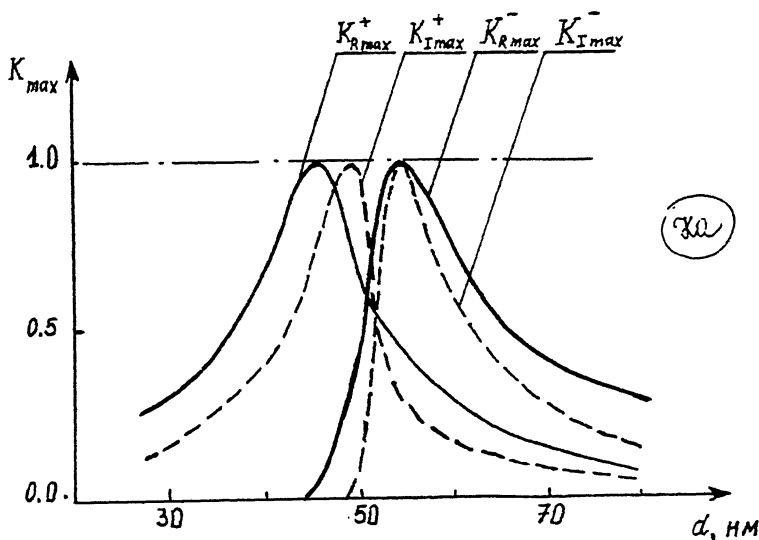


Рис. 3. Расчетные зависимости максимальных значений контраста изображения  $Au$  решетки  $K_{Rmax}^+$ ,  $K_{Imax}^+$  и  $K_{Rmax}^-$ ,  $K_{Imax}^-$ , получаемого с помощью амплитудной ПЭВ-микроскопии (сплошные линии) и фазовой ПЭВ-микроскопии (штриховые).

микроскопии, для которой  $R_p^0 = 0$ ); 2) при  $\Delta = \arccos\left(\frac{R_p^0 + R_p^*}{-2\sqrt{R_p^0 \cdot R_p^*}}\right)$  (это случай фазовой ПЭВ-микроскопии).

На рис. 2 приведены результаты рассчитанных нами зависимостей  $K_I(\theta)$  для структуры, рассмотренной в [8]. Видим, что

в случае фазовой ПЭВ-микроскопии контраст изображения решетки может достигать  $K_{I_{max}}^+ \approx 0.9$ . Таким образом, при визуализации рассмотренной в [8] структуры фазовая ПЭВ-микроскопия могла бы оказаться более эффективной.

Из рассчитанных нами зависимостей  $K_{R_{max}}^+$ ,  $K_{R_{max}}^-$  и  $K_{I_{max}}^+$ ,  $K_{I_{max}}^-$  для этой же структуры от толщины  $d$   $Ag$  пленки (рис. 3) видно, что и при амплитудной ПЭВ-микроскопии можно получить изображение  $Ag$  решетки с полосами толщиной 0.95 нм с контрастом  $K_R = 1.0$ , но для этого необходимо выбрать другую (чем в [8]) толщину  $Ag$  пленки: 46.5 или 55.5 нм.

Таким образом, амплитудная и фазовая ПЭВ-микроскопия взаимно дополняют друг друга. Предпочтительное использование того или иного вида ПЭВ-микроскопии зависит от свойств исследуемой структуры, характера неоднородностей и условий измерений.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Поверхностные поляритоны. Электромагнитные волны на поверхностях и границах раздела сред / Под ред. Аграновича В.М., Милса Д.Л. М.: Наука, 1985. 525 с.
- [2] Никитин А.К., Тищенко А.А., Черняй А.И. // Зарубежная радиоэлектроника. 1990. № 10. С. 14-30.
- [3] Yeatman E., Ash E.A. // Electron. Lett. 1987. V. 23. N 20. P. 1091-1092.
- [4] Rothenhauser B., Knoll W. // Nature. 1988. V. 332. N 6165. P. 615-617.
- [5] Nickel W., Rothenhauser B., Knoll W. // J. Appl. Phys. 1989. V. 66, N 10. P. 4832-4836.
- [6] Никитин А.К., Тищенко А.А. // Поверхность. 1987. № 9. С. 84-89.
- [7] Simon J.M., Presa V.A. // J. Modern Optics. 1989. V. 36. N 5. P. 649-657.
- [8] Nickel W., Knoll W. // Acta Metallurgica. 1989. V. 37. N 8. P. 2141-2144.

Поступило в Редакцию  
21 февраля 1991 г.