

06.3;07;12

Зависимости амплитуды и фазы отраженного излучения в жидкокристаллических структурах с поверхностными плазмонами от напряжения

© Д.И. Коваленко

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

Поступило в Редакцию 3 декабря 1996 г.

В работе представлены результаты теоретического расчета зависимостей амплитуды и фазы отраженного p -поляризованного монохроматического излучения от слоистых жидкокристаллических структур на поверхностных плазмонах от приложенной к структуре внешнего напряжения (в геометрии Кречмана).

Поверхностные плазмоны теоретически и экспериментально исследовались многие годы. В последнее время они привлекают большое внимание исследователей, связанное с их применением в спектроскопии поверхности, оптической микроскопии, с созданием оптических датчиков различных физических величин [1–3], а также с разработкой электрически и оптически управляемых модуляторов света, в том числе жидкокристаллических. В ряде работ экспериментально и теоретически исследовались главным образом устройства в режиме амплитудной модуляции отраженного излучения. Характеристики жидкокристаллических модуляторов света с поверхностными плазмонами при различных напряжениях исследовались лишь экспериментально [10].

Целью данной работы является теоретическое исследование свойств жидкокристаллических структур с поверхностными плазмонами при напряжении. В данной работе сообщается о результатах теоретического расчета зависимости амплитуды и фазы отраженного p -поляризованного монохроматического излучения ($\lambda = 6328\text{Å}$) у различных жидкокристаллических структур с поверхностными плазмонами напряжения.

Подобные задачи можно решать, используя либо уравнения Френеля [5] либо матричный метод [4,7]. Нами в работе для расчетов исполь-

звался матричный метод [7]. Оба эти метода требуют однородности слоев, поэтому вместо одного слоя жидкого кристалла подставлялось множество однородных слоев. В своих расчетах мы разбивали слои жидкого кристалла на 256 слоев. При большем числе слоев результаты расчетов практически не изменялись, однако время расчета становилось чрезвычайно большим. Для каждого слоя для заданного напряжения рассчитывался угол наклона директора из решения системы уравнений [8]:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{1}{\pi} (1 + Y(1 + \gamma))^{1/2} \times \int_0^\infty \sqrt{\frac{(1+Y)(1+W) + kYW}{((1+Y)(1+W) + \gamma YW)(1+Y+W)(1+W)W}} dW, \quad (1)$$

$$\frac{2z}{L} \int_0^\infty \sqrt{\frac{((1+Y)(1+W) + kYW)((1+Y)(1+W) + \gamma YW)}{(1+Y+W)(1+Y)(1+W)W}} \frac{dW}{1+W} = \int_0^{W_L} \sqrt{\frac{((1+Y)(1+W) + kYW)((1+Y)(1+W) + \gamma YW)}{(1+Y+W)(1+Y)(1+W)W}} \frac{dW}{1+W}, \quad (2)$$

$$V_0 = \pi \sqrt{\frac{k_{11}}{\varepsilon_0(\varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp})}}, \quad (3)$$

$$W_L = \frac{\tan^2 \Phi (1 + Y)}{Y - \tan^2 \Phi}, \quad (4)$$

$$k = \frac{(k_{33} - k_{11})}{k_{11}}, \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{(\varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp})}{\varepsilon_{\perp}}, \quad (6)$$

где L — толщина пластины, z — дистанция в глубину пластины, $Y = \tan^2 \Phi_m$, Φ_m — максимальный угол наклона директора.

Нами предполагалось, что при отсутствии напряжения угол наклона директора был равным нулю, хотя в реальных структурах этот угол обычно равен нескольким градусам.

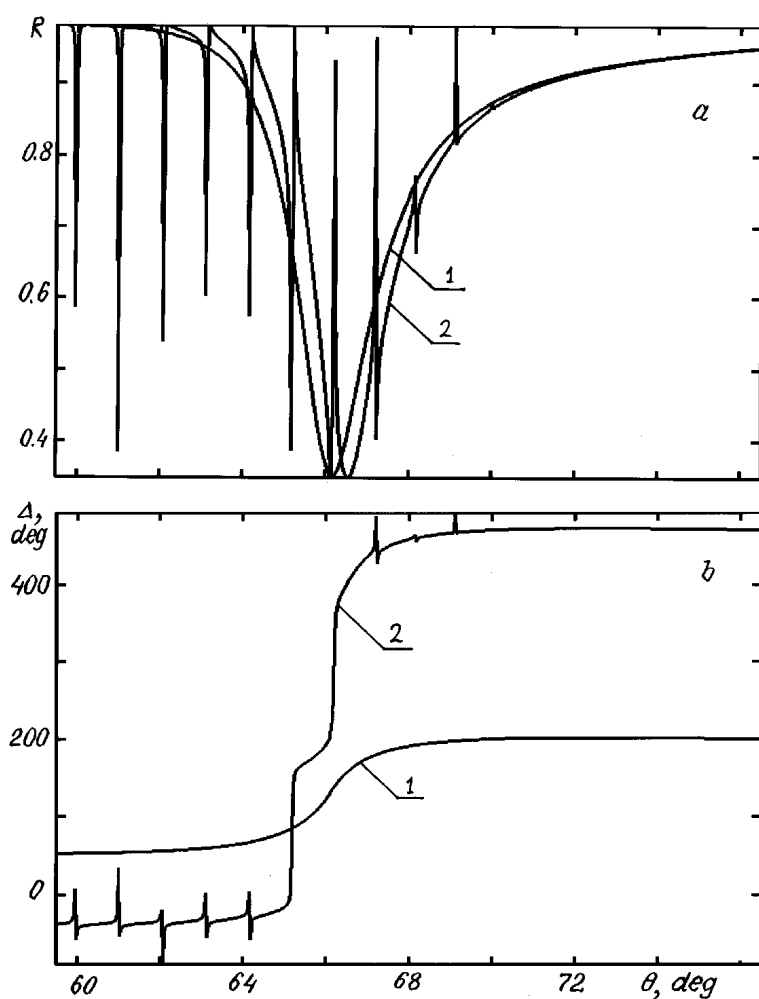


Рис. 1. *a* — зависимости энергетических коэффициентов отражения от угла падения при фиксированном напряжении. Кривая 1 — 0 В, кривая 2 — 6 В; *b* — зависимости фазового сдвига между *p*- и *s*-компонентами отраженного излучения от угла падения при фиксированном напряжении. Кривая 1 — 0 В, кривая 2 — 6 В.

Для проверки компьютерных программ мы использовали материалы статей [6,8]. Было получено полное совпадение с опубликованными результатами.

Расчет зависимостей амплитуды и фазы от угла падения производился при напряжениях от 1 до 10 V с шагом 0.1 в интервале углов падения от 59.5 до 76.5°. Затем из полученных зависимостей от угла падения при напряжениях были построены зависимости от напряжения при разных углах падения.

Мы использовали следующую структуру (в геометрии Кречмана): стекло ($n = 1.8$), металл ($\epsilon = -17.75 + i \cdot 0.787$, $d = 400 \text{ \AA}$), SiO_x ($\epsilon = 2.234 + i \cdot 0.0045$, $d = 265 \text{ \AA}$), жидкий кристалл ($d = 95400 \text{ \AA}$, $\epsilon_{\parallel} = 18.7$, $\epsilon_{\perp} = 4.4$, $n_o = 1.526$, $n_e = 1.74$, $K_{11} = 11.7e - 12 \text{ Nm}^{-1}$, $K_{33} = 18.9e - 12 \text{ Nm}^{-1}$).

На рис. 1, *a* приведены расчетные зависимости энергетических коэффициентов отражения *p*-поляризованной компоненты излучения от угла падения для двух приложенных к жидкокристаллической структуре напряжений. На рис. 1, *b* показаны расчетные зависимости разности фаз между *p*- и *s*-компонентами отраженного излучения от угла падения для двух приложенных к жидкокристаллической структуре напряжений. Из рисунков видно, что при приложении напряжения возникающие моды в жидкокристаллической структуре сильно искажают идеальную картину нарушения полного внутреннего отражения. Поэтому в приборах на основе структуры с жидким кристаллом под напряжением следует использовать свойства мод.

На рис. 2, *a, b* представлены кривые зависимостей коэффициента отражения *p*-поляризованного света от приложенного к жидкокристаллической структуре, рассчитанные для одной и той же структуры в режимах амплитудной и фазовой модуляций, при фиксированном угле падения. Из анализа рисунка следует, что данную структуру можно использовать как эффективный модулятор света, так как и на амплитудной, и на фазовой характеристиках имеются участки с большим углом наклона. Выбрав необходимый участок кривой, можно создать прибор как с высокой чувствительностью, так и с хорошей линейностью передаточной характеристики. При этом возможно создание приборов для широкого интервала напряжений. Для этого надо лишь изменить угол падения/отражения.

Таким образом, разработанная программа расчета не только амплитуды, но и фазы отраженного *p*-поляризованного излучения в режиме

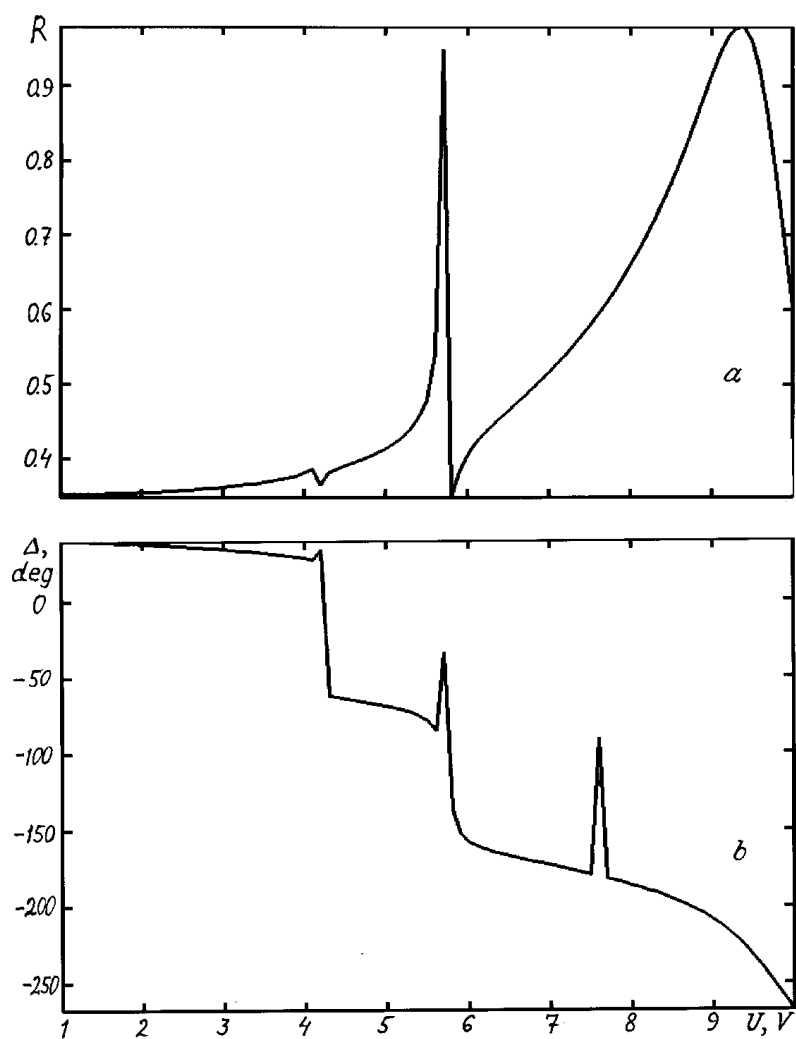


Рис. 2. *a* — зависимость энергетического коэффициента отражения отраженного излучения от напряжения при фиксированном угле падения 66.0875° , *b* — зависимость фазового сдвига между *p*- и *s*-компонентами отраженного излучения от напряжения при фиксированном угле падения 66.0875° .

возбуждения поверхностных плазмонов в структурах с жидким кристаллом, учитывающая анизотропию свойств слоев, является очередным шагом к решению задач определения свойств и характеристик структур на поверхностных плазмонах включая и жидкокристаллические.

Список литературы

- [1] Поверхностные поляритоны. Электромагнитные волны на поверхностях и границах раздела сред / Под ред. В.М. Аграновича, Д.Л. Миллса. М.: Наука, 1985. 525 с.
- [2] *Дмитрук Н.Л., Литовченко В.Г., Стрижевский В.Л.* Поверхностные поляритоны в полупроводниках и диэлектриках. Киев: Наук. думка, 1989. 376 с.
- [3] *Welford K.R.* // Opt. and Quant. Electron. 1991. V. 23. N 1. P. 1–27.
- [4] *Simon J.M., Presa V.A.* // J. Mod. Opt. 1989. V. 36. N 5. P. 649–657.
- [5] *Борн М., Вольф Э.* Основы оптики. М., 1973. 719 с.
- [6] *Басманова С.А.* // Опт. и спектр. 1994. Т. 76. № 1. С. 100–101.
- [7] *Sprokel G.J.* // Cryst. Liq. Cryst. 1981. V. 68.
- [8] *Welford K.R., Samples J.R.* // Liquid Crystals. 1987. V. 2. N 1. P. 91–105.
- [9] *Названов В.Ф., Коваленко Д.И.* // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 14. С. 60–63.
- [10] *Названов В. Ф., Афонин А.О., Гребенников А.И.* // Квантовая электроника. 1995. Т. 22. № 10. С. 1063–1064.
- [11] *Remillard J.T., Ginder J.M., Weber W.H.* // Appl. Opt. 1995. V. 34. N 19. P. 3777–3785.
- [12] *Levesque L., Paton B.E.* // Can. J. Phys. 1994. V. 72. N 9–10. P. 651–657.