

06.2; 06.3; 07

©1994

## АНАЛИЗАТОР ПОЛЯРИЗАЦИИ НА МАГНИТНОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕ

*Н.Н.Лошкарева, Ю.П.Сухорук, А.А.Самохвалов*

В современной технике существует проблема создания автоматических устройств, способных анализировать быстроменяющийся азимут поляризации линейно поляризованного излучения без использования механически управляемых узлов.

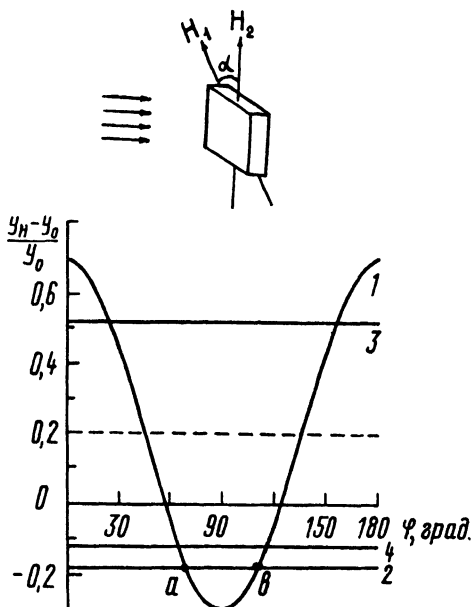
Азимут поляризации излучения является одним из основных показателей, характеризующих поляризованное излучение. Известно [1], что при падении линейно поляризованного излучения на анализатор интенсивность излучения на выходе анализатора  $I$  подчиняется закону Малюса:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi, \quad (1)$$

где  $I_0$  — интенсивность падающего излучения, а  $\varphi$  — угол между направлением колебаний электрического вектора падающей линейно поляризованной световой волны и плоскостью поляризации анализатора. Определение направления поляризации излучения относительно известного направления поляризации анализатора заключается в механическом повороте анализатора, установленного в оправе с лимбом, вокруг своей оси до исчезновения интенсивности излучения на выходе анализатора. При этом отсчет угла по лимбу соответствует  $\varphi = 90^\circ$ .

Существуют различные анализаторы (поляризаторы) ИК излучения: стопы из пленок селена, поляризаторы-решетки на подложках (на полиэтилене) и т.д. В видимом и ближнем ИК диапазоне используются также плоскопараллельные пластины из анизотропного (слоистого) полупроводника, обладающего сильным естественным дихроизмом [2].

При наличии в кристаллах сильного дихроизма, наведенного каким-либо воздействием, это явление можно использовать для создания анализаторов, управляемых этим воздействием. В настоящей работе описывается анализатор, основанный на большом эффекте магнитного линейного дихроизма в магнитной полупроводниковой шпинели  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$   $p$ -типа при температурах ниже температуры Кюри [3], управляемый магнитным полем.



Зависимость относительного изменения интенсивности излучения, прошедшего через пластину магнитной шпинели  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$  от угла между направлением поляризации падающего линейно поляризованного излучения и направлением магнитного поля (кривая 1) и относительные изменения интенсивности в первом (2) и втором (3,4) магнитном поле.  $T = 80 \text{ K}$ ,  $\lambda = 5.5 \text{ мкм}$ .

На вставке — схематическое изображение анализатора.

Воздействие магнитного поля на магнитную полупроводниковую шпинель  $p$ -типа в области взаимодействия с носителями заряда приводит к сильной косинусоидальной зависимости изменения пропускания шпинели от угла  $\varphi$  между направлением поляризации падающего линейно поляризованного излучения и направлением магнитного поля, т.е. к сильному наведенному линейному дихроизму (см. рисунок). Амплитуда осцилляций составляет 21%. Теоретическое рассмотрение [3] позволяет сделать вывод, что магнитный линейный дихроизм возникает в любом кубическом ферромагнетике, содержащем свободные носители заряда (полупроводнике или металле) в области магнитного упорядочения, и относительное изменение интенсивности излучения от угла  $\varphi$  имеет вид

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{(I_H - I)}{I} = A(B - \cos 2\varphi). \quad (2)$$

Величина и знак коэффициентов определяются зонной структурой конкретного материала. Коэффициенты  $A$  и  $B$  определяются из решения системы двух уравнений при направлении магнитного поля вдоль направления поляризации падающего излучения и перпендикулярно направлению поляризации. В общем случае параметры  $A$  и  $B$  зависят от электропроводности кристаллов или коэффициента поглощения света, связанного со свободными носителями заряда, которые в свою очередь являются функциями длины волны и температуры. Таким образом, точность определения азимута поляризации определяется точностью нахождения коэффициентов  $A$  и  $B$  при данной длине волны. Поскольку каждому значению относительной интенсивности соответствуют два значения азимута, то однозначное определение азимута может быть достигнуто лишь при использовании двух поочередно приложенных магнитных полей равной напряженности, направленных вдоль пластины магнитной шпинели и под углом друг к другу  $\alpha$  не равным  $\pi/2$  (вставка к рисунку).

Определение азимута поляризации осуществляется следующим образом. В отсутствии магнитного поля регистрируется сигнал  $I$  на выходе чувствительного элемента (пластины шпинели). Затем подают импульс тока на первую управляющую катушку, регистрируют сигнал  $I_H$  и вычисляют  $\frac{(I_H - I)}{I}$ . По заранее выявленной зависимости  $\frac{(I_H - I)}{I} = A(B - \cos 2\varphi)$ , т.е. заранее определенным коэффициентам  $A$  и  $B$ , определяют азимуты  $\varphi_1$  и  $\pi - \varphi_1$  относительно первого магнитного поля, которые соответствуют вычисленному значению  $\frac{(I_{H1} - I)}{I}$ . При этом за  $\varphi_1$  принимают азимут, меньший  $\pi/2$  и отсчитанный против часовой стрелки от направления первого поля, если смотреть по направлению распространения излучения. Затем при отсутствии импульса тока в первой катушке подают импульс тока на вторую катушку, регистрируют сигнал  $I_{H2}$  и вычисляют  $\frac{(I_{H2} - I)}{I}$ . По той же зависимости  $\frac{(I_H - I)}{I} = A(B - \cos 2\varphi)$  определяют азимуты  $\varphi_2$  и  $\pi - \varphi_2$  относительно второго магнитного поля. Затем производится сравнение азимутов  $\varphi_2$  и  $\pi - \varphi_2$  с суммой и разностью двух углов  $\varphi_1$  и  $\alpha$ . Знак угла  $\alpha$  положителен, когда второе магнитное поле повернуто относительно первого по часовой стрелке, если смотреть по направлению распространения излучения. Окончательно искомым азимут поляризации определяется из условий: если  $\varphi_2 = \varphi_1 + \alpha$ , то искомым азимут равен  $\varphi_1$ , если  $\varphi_2 = \varphi_1 - \alpha$ , то искомым азимут равен  $\pi - \varphi_1$ .

Рисунок поясняет способ однозначного определения азимута поляризации при использовании магнитной полупро-

водниковой шпинели  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$  с  $p = 10^{17} \text{ см}^{-3}$  при температуре 80 К ( $T_c = 106 \text{ К}$ ) и длине волны 5.5 мкм. Кривая 1 имеет вид  $\frac{\Delta I}{I} = -0.5(-0.4 - \cos 2\varphi)$ . Прямая 2 — относительное изменение интенсивности в первом поле, что соответствует двум возможным азимутам поляризации (точки  $a$  и  $b$ ). Если искомым азимутом при положительном угле  $\alpha = 45^\circ$  является  $\varphi_1$  (точка  $a$ ), то при приложении второго магнитного поля ему будет соответствовать относительная интенсивность, представленная прямой 3; если искомым азимутом является  $\pi - \varphi_1$ , то относительная интенсивность, представленная прямой 4. При отрицательном угле  $\alpha = -45^\circ$ , наоборот, азимуту  $\varphi$  будет соответствовать прямая 4, а азимуту  $\pi - \varphi_1$  — прямая 3.

Эффект магнитного линейного дихроизма может проявляться как в области взаимодействия света с носителями заряда (средний ИК диапазон) так и в области межзонных переходов (видимый и ближний ИК диапазон), что определяет спектральный рабочий диапазон анализатора.

Температурный рабочий диапазон ограничен сверху температурой Кюри используемого материала. Принципиальных ограничений на температуру снизу не установлено. В классе магнитных полупроводников, например, имеются материалы с температурой Кюри от комнатных и выше до температур ниже температуры жидкого азота.

Относительное изменение интенсивности  $\frac{\Delta I}{I}$  зависит от величины приложенного магнитного поля. Полевая зависимость амплитуды функции  $\frac{\Delta I}{I}$  имеет вид, характерный для ферромагнетиков — нарастание с увеличением поля и последующее насыщение. Оптимальной величиной приложенного поля является величина, при которой амплитуда выходит на насыщение, для  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$  толщиной 80 мкм —  $5.6 \cdot 10^4 \text{ А} \cdot \text{м}^{-1}$  (0.7 кЭ).

Время нахождения азимута определяется постоянной времени фотоприемника, быстродействием измерительных приборов и скоростью обработки информации управляющей ЭВМ. Время срабатывания самого чувствительного элемента из ферромагнетика мало (не более 2 мкс) и определяется динамикой доменов.

Таким образом, описанный анализатор азимута поляризации линейно поляризованного излучения позволяет существенно увеличить быстродействие процесса определения азимута поляризации за счет исключения механически управляемых узлов и применения только электронных средств управления и обработки сигналов.

Авторы благодарят М.И.Ауслендера и Н.Г.Бебенина за плодотворное сотрудничество, А.В.Дружинина за полезные консультации.

## Список литературы

- [1] Ландсберг Г.С. Оптика. М., 1976. 530 с.
- [2] Абдулаева С.Г., Мамедов Н.Т., Алиев В.А., Салаев Э.Ю. Дихроичный материал. А.с. 117568 СССР / Заявлено 17.10.83. Бюл. № 37. 1984.
- [3] Ауслендер М.И., Барсукова Е.В., Бебенин Н.Г., Гижевский Б.А., Лошкарева Н.Н., Сухоруков Ю.П., Чеботаев Н.М. // ЖЭТФ. 1989. Т. 95. В. 1. С. 247-252.

Институт физики металлов  
Екатеринбург

Поступило в Редакцию  
21 октября 1993 г.

---