

**МОДУЛЯЦИЯ ПОЛЯРИЗОВАННОГО ОПТИЧЕСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ДЛИН ВОЛН,
ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕГО С МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТЬЮ**

Постельга А.Э., Игонин С.В., Бочкова Т.С., Нагорнов Г.М.

*Саратовский национальный исследовательский государственный
университет им. Н.Г. Чернышевского*

E-mail: sanyalace@list.ru

Аннотация: *Проведено экспериментальное измерение глубины модуляции оптического лазерного излучения с различными длинами волн через тонкий слой магнитной жидкости при приложении магнитного поля с различной величиной индукции. Выявлена зависимость глубины модуляции от длины волны лазерного излучения и величины индукции магнитного поля.*

Уникальность свойств магнитных жидкостей открыла многообразные возможности их применения в различных отраслях – машиностроении, медицине и технике [1-7]. Физические свойства магнитных жидкостей во многом определяются взаимодействием ферромагнитных однодоменных наночастиц между собой и с внешними электрическими и магнитными полями, что может приводить к возникновению структурных эффектов, к которым можно отнести агломерацию – объединение ферромагнитных частиц в нитевидные образования. Известны работы [8, 9], в которых доказывается возможность применения композиционных материалов с управляемыми характеристиками для создания методов модуляции электромагнитного излучения оптического диапазона.

В работе изучалось прохождение поляризованного оптического излучения через магнитную жидкость при различных значениях индукции магнитного поля. Экспериментальная установка и магнитная жидкость использовались те же, что и в [10]. В отличие от [10] в качестве источников

излучения использовалось несколько полупроводниковых лазеров на квантоворазмерных структурах с различными длинами волн оптического излучения.

При параллельном расположении нитевидных агломератов ферромагнитных наночастиц, выстроенных вдоль вектора индукции внешнего магнитного поля, и электрической составляющей линейно поляризованного лазерного излучения, должно наблюдаться максимальное взаимодействие поля с поглощающими его энергию агломератами. Если агломераты расположены перпендикулярно электрической компоненте лазерного излучения, то поглощение энергии поля должно быть минимальным, если вдоль – максимальным. Таким образом, изменяя направление вектора индукции воздействующего на магнитную жидкость магнитного поля, возможно модулирование прошедшей через нее мощности лазерного излучения.

В зависимости от угла поворота лазера изменялась интенсивность прошедшего через ячейку лазерного излучения вследствие изменения ориентации электрической компоненты лазерного излучения относительно агломератов, образованных ферромагнитными частицами магнитной жидкости под действием магнитного поля.

Глубина модуляции лазерного излучения была вычислена на формуле: $M=(U_{max}-U_{min})/U_{max}$, где U_{min} и U_{max} – напряжение с фотодиода, при параллельном и перпендикулярном расположении вектора индукции магнитного поля и электрической составляющей линейно поляризованного лазерного излучения, соответственно. Величина глубины модуляции для различных значений индукции магнитного поля представлена в таблице 1.

Таблица 1

| Значение индукции | Глубина модуляции, % |
|--------------------------|-----------------------------|
|--------------------------|-----------------------------|

| магнитного поля, мТл | 450 нм | 560 нм | 650 нм |
|----------------------|--------|--------|--------|
| 12 | 2,9 | 5,2 | 7,0 |
| 24 | 3,8 | 7,5 | 8,8 |
| 50 | 4,5 | 7,5 | 10,2 |
| 100 | 5,2 | 7,9 | 14,6 |
| 116 | 6,8 | 8,5 | 14,7 |
| 140 | 7,0 | 12,8 | 15,1 |

На рис. 1 представлена зависимость глубины модуляции интенсивности линейно поляризованного излучения лазеров с различными длинами волн от величины индукции магнитного поля.

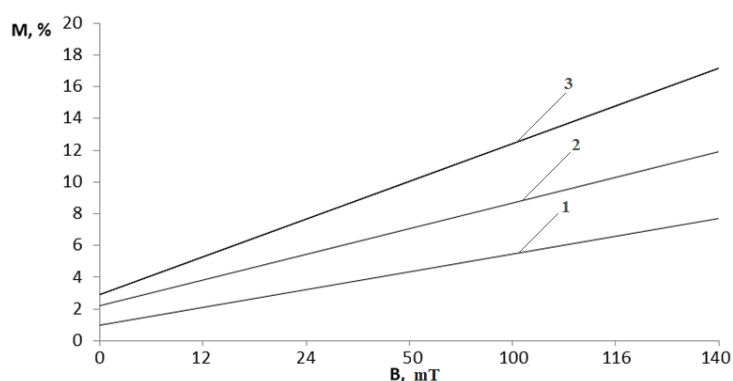


Рис. 1. Зависимость глубины модуляции интенсивности поляризованного излучения лазера при прохождении через магнитную жидкость с агломератами от индукции магнитного поля (№1 – с длиной волны 450 нм, №2 – с длиной волны 550 нм, №3 – с длиной волны 650 нм)

При увеличении значения индукции магнитного поля увеличивается глубина модуляции лазерного поляризованного излучения для всех длин волн. Это связано с тем, что при увеличении величины индукции магнитного поля увеличивается результирующая длина и толщина образующихся агломератов ферромагнитных частиц магнитной жидкости. Прохождение при параллельной ориентации электрической составляющей линейно поляризованного лазерного излучения и вектора индукции магнитного поля уменьшается, а при перпендикулярной – увеличивается. Уменьшение прохождения связано с образованием в магнитном поле агломератов магнитной жидкости, эффективно поглощающих оптическое излучение.

При увеличении длины волны лазерного излучения глубина модуляции увеличивается. С ростом значения индукции магнитного поля прохождение лазерного излучения с длиной волны 450 нм при перпендикулярной ориентации электрической составляющей линейно поляризованного лазерного излучения и вектора индукции магнитного поля становится меньше, чем прохождение лазерного излучения с длиной волны 650 нм, что объясняется увеличением поглощения вследствие увеличения толщины агломератов.

На рис. 2 представлена зависимость глубины модуляции интенсивности от длины волны поляризованного излучения при приложении магнитного поля с индукцией 140 мТл.

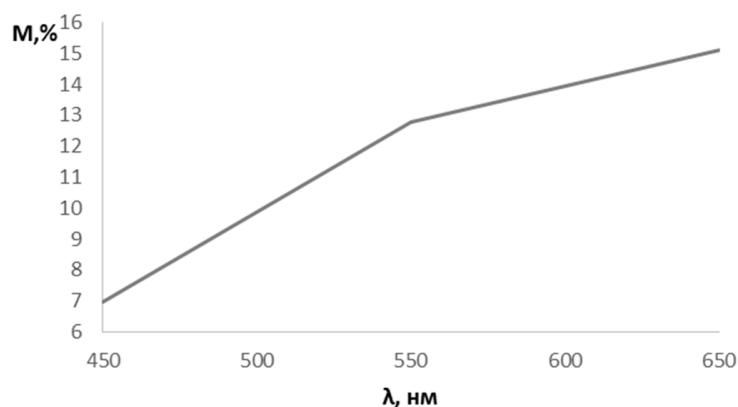


Рис. 2. Зависимость глубины модуляции интенсивности от длины волны поляризованного излучения при приложении магнитного поля с индукцией 140 мТл.

Таким образом, экспериментально реализован способ модуляции интенсивности линейно поляризованного излучения полупроводниковых лазеров с различными длинами волн ($\lambda=450$ нм, $\lambda=550$ нм, $\lambda=650$ нм) на квантоворазмерных структурах, проходящего через магнитную жидкость, при воздействии магнитного поля, с изменяющимся направлением вектора индукции магнитного поля и с величиной, достаточной для формирования агломератов ферромагнитных наночастиц. Выявлено, что глубина модуляции интенсивности линейно поляризованного оптического излучения, проходящего через магнитную жидкость, во внешнем магнитном поле с

переменным направлением возрастает с увеличением индукции магнитного поля и длиной волны лазерного излучения. Максимальное значение глубины модуляции составило 15% и наблюдалось для лазерного излучения с длиной волны 650 нм.

Литература

1. Stergiou C.A., Koledintseva M.Y., Rozanov K.N. Hybrid polymer composites for electromagnetic absorption in electronic industry // Hybrid Polymer Composite Materials: Applications. – 2017. – P. 53–106.
2. Lomaeva S.F., Maratkanova A.N., Petrov D.A., Rozanov K.N., Starostenko S.N. Microwave properties of FeCo–SiO₂ systems obtained by high-energy milling // Inorganic Materials: Applied Research. – 2017. – V. 8. – № 4. – P. 515–520.
3. Рыжков А.В., Меленёв П.В., Райхер Ю.Л. Магнитные и структурные свойства магнитополимерного композита: многочастичная модель // Неделя науки СПбПУ: Материалы научного форума с международным участием. Институт прикладной математики и механики. – 2015. – С. 216-219.
4. Hubert A., Schäfer R. Magnetic domains. Berlin, Germany: Springer, 1998. – P. 492.
5. Полунин В.М. Акустические свойства нанодисперсных магнитных жидкостей. М.: Физматлит, 2011. – 425 с.
6. Ivanov A.O., Camp P.J. Theory of the dynamic magnetic susceptibility of ferrofluids // Physical Review E. – 2018. – V. 98. – № 5. – P. 050602.
7. Pyanzina E., Kantorovich S., Ivanov A., Cerda J.J., Holm C. How to analyse the structure factor in ferrofluids with strong magnetic interactions: a combined analytic and simulation approach // Molecular Physics. – 2009. – V. 107. – № 4–6. – P. 571–590.
8. Belotelov V.I., Kreilkamp L.E., Akimov I.A., Kalish A.N., Bykov D.A., Kasture S., Yallapragada V.J., Achanta Venu Gopal, Grishin A.M., Khartsev S.I., Nur–E–Alam M., Vasiliev M., Doskolovich L.L., Yakovlev D.R., Alameh K., Zvezdin A.K., Bayer M. Plasmon-mediated magneto-optical transparency // Nature Communications. – 2013. – V.4(1).

9. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Ермолаев С.А. Дифракция света на агломератах слоя магнитной жидкости в магнитном поле, параллельном плоскости слоя // Письма в ЖТФ. – 1997. – Т. 23. – №. 3. – С. 64–67.
10. Усанов Д.А., Постельга А.Э., Бочкова Т.С., Гаврилин В.Н. Динамика агломерации наночастиц в магнитной жидкости при изменении магнитного поля // ЖТФ. – 2016. –Т. 86. – № 3. – С. 146–148.