

УДК 004.085

С. Н. Савенков¹, А. А. Крючин², Е. А. Оберемок¹, В. В. Якубчак¹

¹Радиофизический факультет

Киевского национального университета имени Тараса Шевченко
просп. Глушкова, 2, корп. 5, 03022 Киев, Украина

²Институт проблем регистрации информации НАН Украины
ул. Н. Шпака, 2, 03113, Киев, Украина

Поляриметрия подложек компакт-дисков

Приведены результаты экспериментальных исследований анизотропии подложек оптических дисковых накопителей информации методом полной Мюллер-поляриметрии. Показано, что значения двулучепреломления в подложках компакт-дисков, изготовленных из поликарбоната, сильно зависят от условий изготовления. Проведенные исследования показали, что анизотропия в подложках, выполненных из монокристаллического сапфира существенно меньше.

Ключевые слова: двулучепреломление, анизотропия, Мюллер-поляриметрия, компакт-диск.

Введение

Подложки современных оптических дисковых накопителей информации, изготовленные методом инъекционного литья из поликарбоната, являются оптически анизотропными (показатель преломления материала подложки зависит от состояния поляризации излучения записи/считывания). Двулучепреломление подложек оптических дисков создает зависящие от поляризации излучения фазовые сдвиги в системе оптического считывания, которые существенно влияют на уровни сигналов считывания. Величина двулучепреломления широко используемых пластиковых подложек из поликарбоната зависит от ориентации молекул и внутренних напряжений в подложках. При увеличении плотности записи информации требования к допустимым значениям двулучепреломления возрастают (предельно допустимые значения двулучепреломления для подложек DVD-носителей составляют 100 нм, а для подложек HD DVD-носителей — 60 нм на длине волны $\lambda = 0,63$ мкм). В связи с этим разработка методик точных поляризационных измерений величины двулучепреломления представляется весьма актуальной задачей. Проведение поляризационных измерений позволяет выбрать режимы литья подложек, при которых обеспечиваются минимальные значения двулучепреломления

© С. Н. Савенков, А. А. Крючин, Е. А. Оберемок, В. В. Якубчак

и их постоянство по поверхности подложек, при которых обеспечиваются режимы надежного и бесшумного считывания информации. Выявленные оптические неоднородности позволяют отбраковывать подложки со значительными механическими напряжениями, которые приводят к разрушению компакт-дисков в процессе работы.

Методика поляризационных измерений характеристик подложек оптических дисков

Существуют различные методики исследования свойств и контроля качества подложек оптических дисков. В данной работе использован метод Мюллер-поляриметрии [1]. Поляриметрия — метод, высокие метрологические и информационные возможности которого с успехом используются для исследования объектов различной природы, в частности, в кристаллооптике, медицине, биологии, для решения задач экологического мониторинга и т.д.

Измерения проводились на поляриметре, блок-схема которого представлена на рис. 1. Принцип работы поляриметра описан в [2].

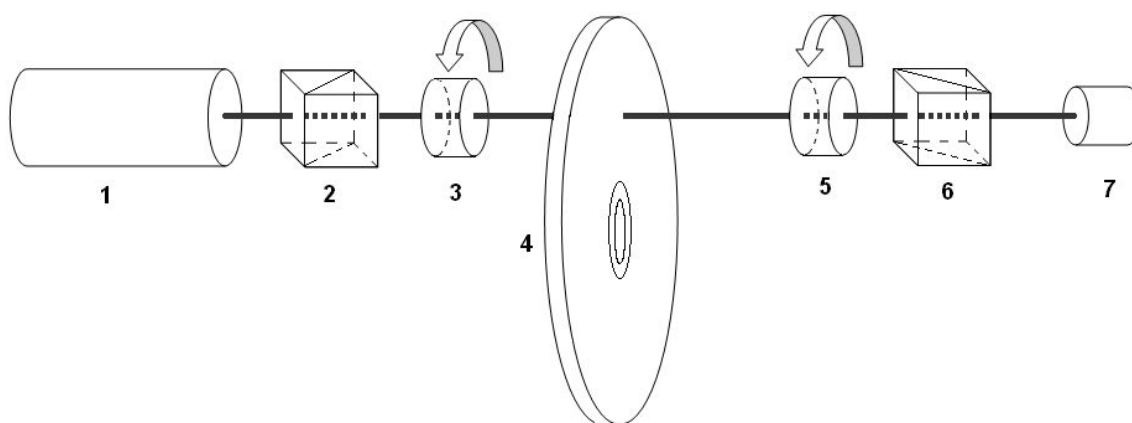


Рис. 1. Блок-схема поляриметра: 1 — He–Ne-лазер ($\lambda = 0,63$ мк); 2 — поляризатор (призма Глана); 3 — фазовая пластинка; 4 — исследуемый образец; 5 — фазовая пластинка; 6 — анализатор; 7 — фотодетектор

Диск закреплялся на штативе, с помощью которого осуществлялось изменение положения диска в плоскости, нормальной к направлению распространения зондирующего излучения. Анализ экспериментальных матриц Мюллера осуществлялся по методике, описанной в [4], и включал в себя:

1) определение детерминированной части исходной матрицы Мюллера [5, 6];

2) определение параметров анизотропии, характеризующих материал дисков [7, 8]: R — величина круговой амплитудной анизотропии; P — величина линейной амплитудной анизотропии; ψ — азимут ориентации линейной амплитудной анизотропии; δ — величина линейной фазовой анизотропии; α — азимут ориентации линейной фазовой анизотропии; φ — величина круговой фазовой анизотропии.

Исследование поляризационных характеристик подложек оптических дисков

Исследования проводились на подложках без металлического отражающего слоя на просвет. Анализировались поляризационные характеристики следующих видов подложек:

- подложки дисков CD-R — 2 шт. (изделия № 1.1 и № 1.2);
- подложки дисков CD-ROM, изготовленные на литьевой машине фирмы Toolex alfa — 2 шт. (изделия № 2.1 и № 2.2);
- подложки дисков CD-ROM, изготовленные на литьевой машине фирмы Netstall — 2 шт. (изделия № 3.1 и № 3.2);
- подложка диска CD-ROM, изготовленная на литьевой машине Krauss Maffi — 1 шт. (изделие № 4);
- лейкосапфировый диск — 1 шт. (изделие № 5);
- подложка диска-оригинала системы Fire Track — 1 шт. (изделие № 6).

Размещение точек, в которых проводились измерения, представлено на рис. 2.

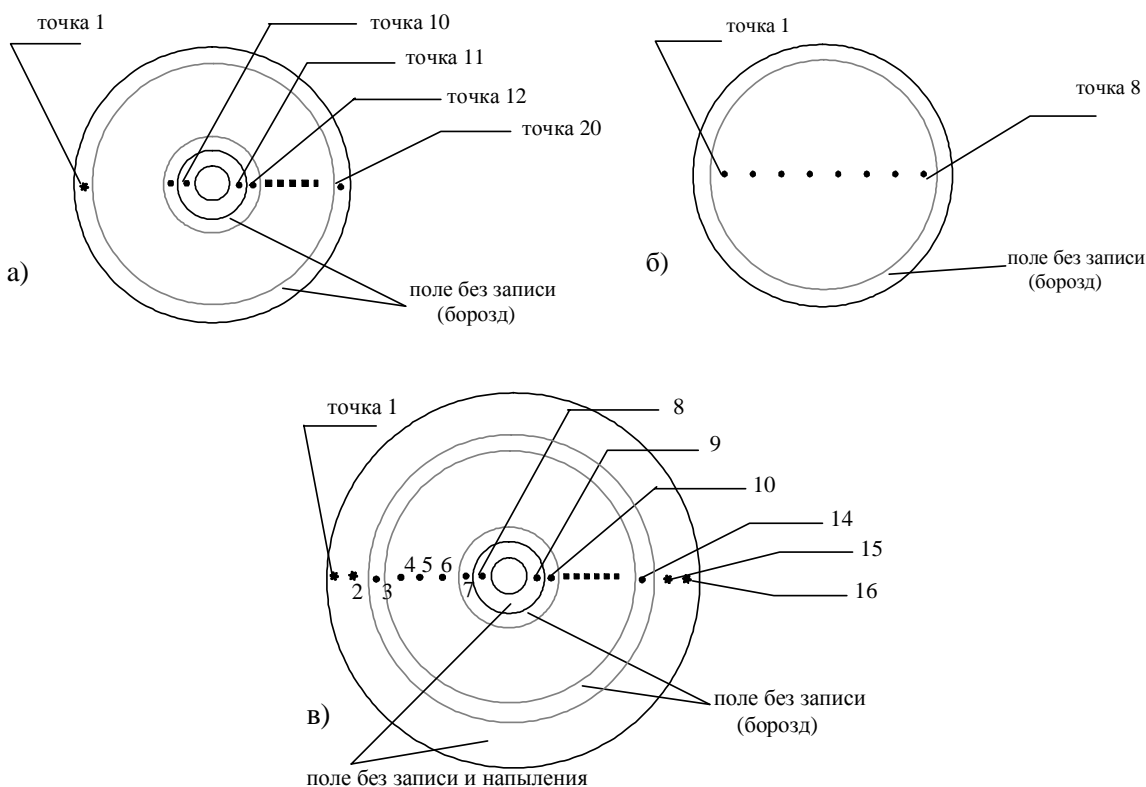


Рис. 2. Геометрия зондирования дисков: а) изделия № 1 – № 4; б) изделие № 5; в) изделие № 6

На подложках компакт-дисков диаметром 120 мм и толщиной 1,2 мм измерения проводились в 20 точках вдоль радиуса диска с шагом между точками 5 мм (рис. 2а). На подложке из лейкосапфира диаметром 120 мм измерения проводились в 8 равноотстоящих друг от друга точках (рис. 2б). На подложке диска-оригинала диаметром 160 мм и толщиной 1,2 мм измерения проводились в 16

равноотстоящих друг от друга точках (рис. 2в). Каждое измерение являлось результатом усреднения по 250 реализациям. Погрешность измерений на данной установке не превышала $1,5 \pm 2\%$ [3].

На рис. 3, 5, 7, 9, 11, 13 представлены зависимости величин элементов матрицы Мюллера от точки к точке в плоскости диска. Все экспериментальные матрицы Мюллера были исследованы на предмет принадлежности их к классу детерминированных и, тем самым, возможности их дальнейшего анализа в базисе матриц фазовой и амплитудной анизотропии [5, 6]. На рис. 4, 6, 8, 10, 12, 14 представлены зависимости величин параметров анизотропии для каждой точки зондирования в плоскости диска.

Характер полученных зависимостей величин элементов матрицы Мюллера для всех изделий соответствует средам с преобладанием линейной фазовой анизотропии (линейное двулучепреломление). Величины диагональных элементов нормированных на элемент M_{00} матриц Мюллера близки к единице, исключение составляет только изделие № 4 (рис. 9), для которого величины элементов M_{22}/M_{00} и M_{33}/M_{00} заметно отличаются от единицы и зависят от точки измерения в плоскости дисков. Не диагональные элементы, кроме M_{31}/M_{00} , M_{13}/M_{00} и M_{23}/M_{00} и M_{32}/M_{00} в пределах точности измерений равны нулю. Исключения составляют только те точки, в которых нет записи, так называемые борозды (пустые поля). Для них, как можно видеть, наблюдаются изменения величин матричных элементов.

Величина круговой амплитудной анизотропии R равна нулю. Величина линейной амплитудной анизотропии P для большинства образцов равна единице. Указанные значения для R и P соответствуют отсутствию данных видов анизотропии. Это, в частности, приводит к вырождению азимута ориентации линейной амплитудной анизотропии и в этих точках.

Интересный характер носит зависимость величины линейной фазовой анизотропии δ от точки измерения в плоскости диска. Величина этого параметра не постоянна по плоскости диска и растет от краев диска к центру. Именно этот параметр является максимально информативным для количественного оценивания основных отличий дисков и их классификации. Величина азимута ориентации оси α линейной фазовой анизотропии также имеет характерный рост от краев к центру дисков. Величина круговой фазовой анизотропии ϕ с точностью до погрешности равна нулю.

Для подложек из лейкосапфира наблюдаются значительно менее выраженные изменения величин элементов матрицы Мюллера по сравнению с подложками из поликарбоната, что свидетельствует о значительно большей оптической однородности монокристаллической подложки.

Для подложек компакт-дисков, изготовленных различными производителями, наблюдаются существенные различия в значениях параметров α и δ , а также распределение значений по поверхности подложек.

Изделие № 1

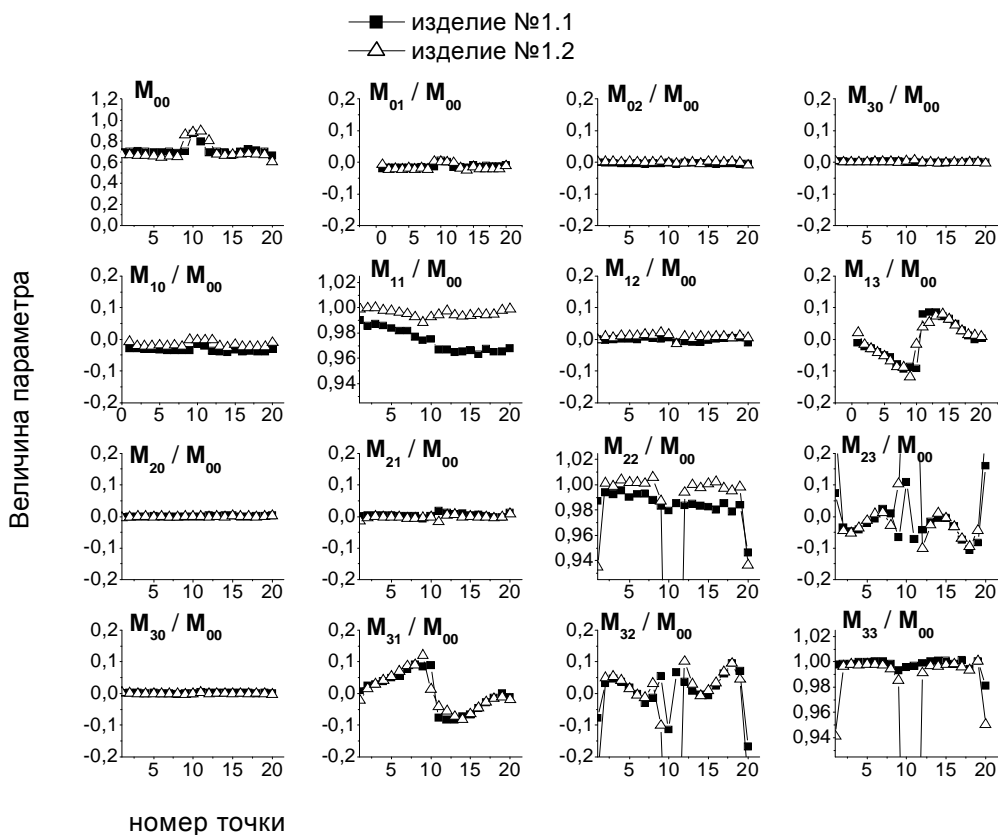


Рис. 3. Зависимость элементов матрицы Мюллера от точки к точке в плоскости диска для изделий № 1.1 и № 1.2

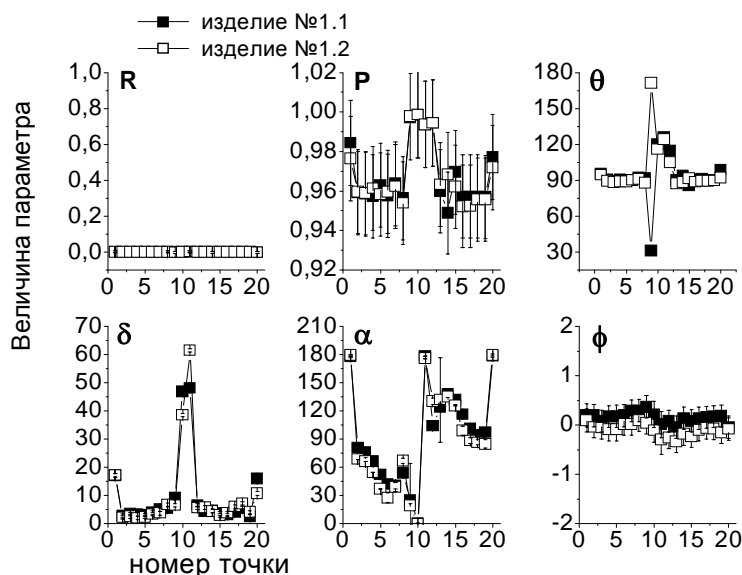


Рис. 4. Зависимость параметров анизотропии от точки к точке в плоскости диска для изделий № 1.1 и № 1.2

Изделие № 2

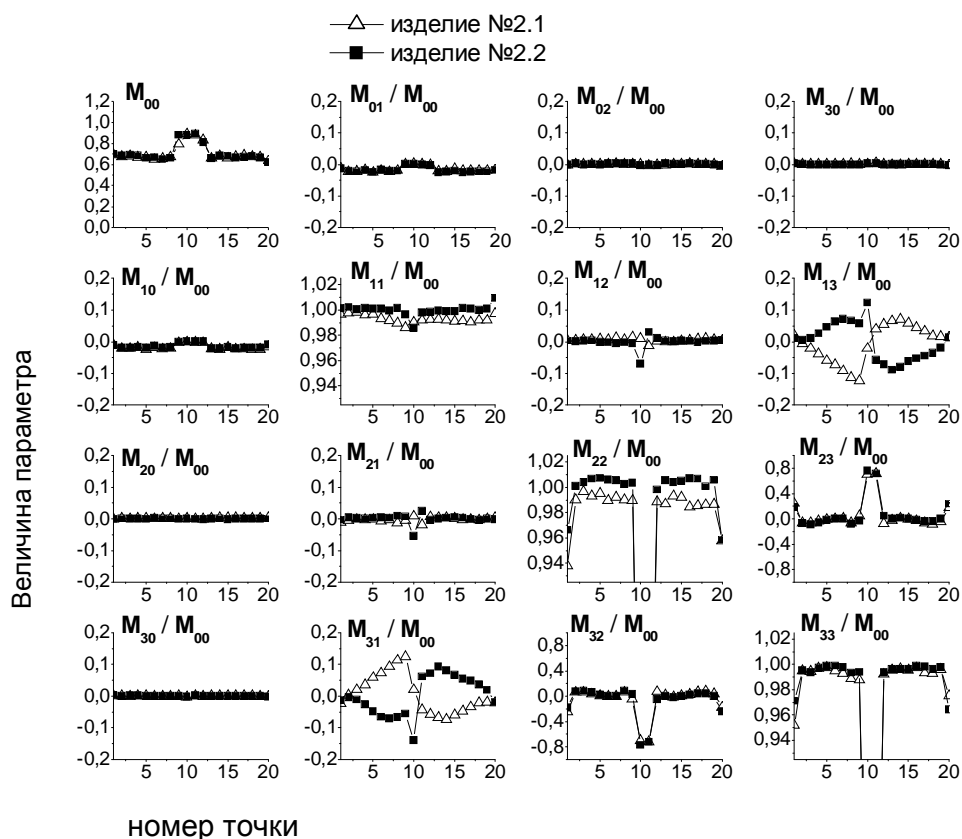


Рис. 5. Зависимость элементов матрицы Мюллера от точки к точке на плоскости диска для изделий № 2.1 и № 2.2

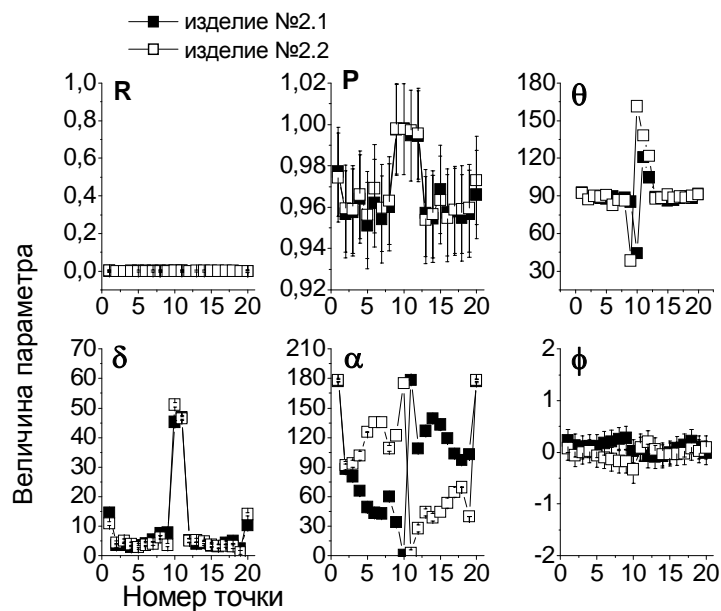


Рис. 6. Зависимость параметров анизотропии от точки к точке на плоскости диска для изделий № 2.1 и № 2.2

Изделие № 3

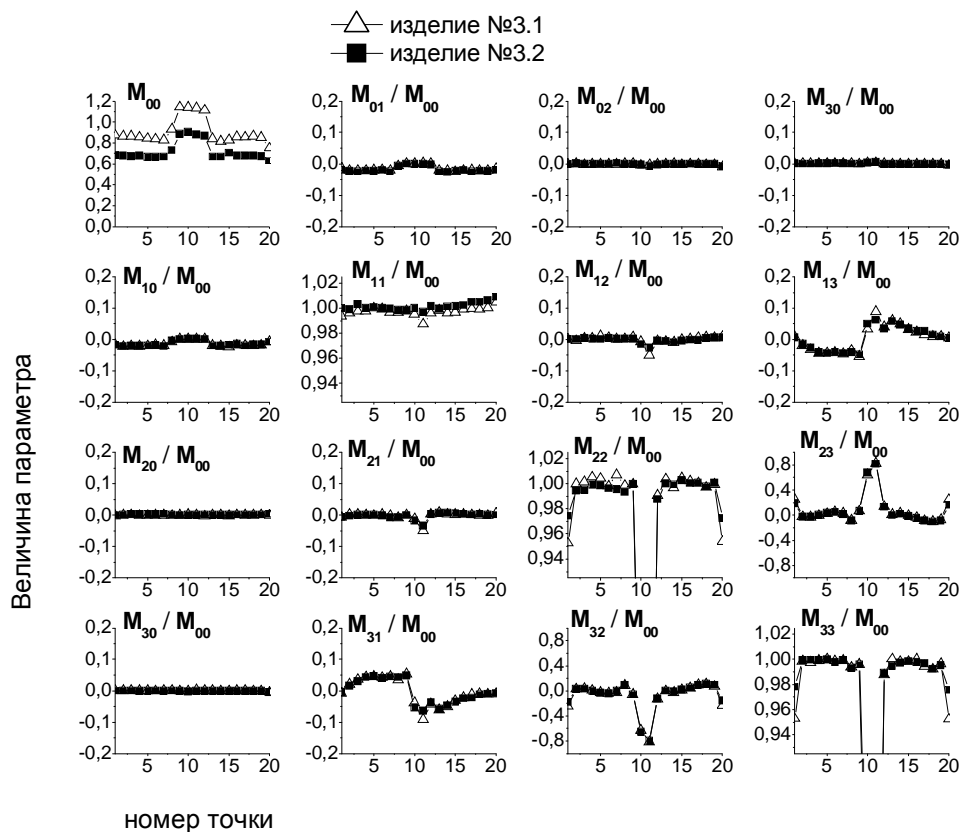


Рис. 7. Зависимость элементов матрицы Мюллера от точки к точке на плоскости диска для изделий № 3.1 и № 3.2

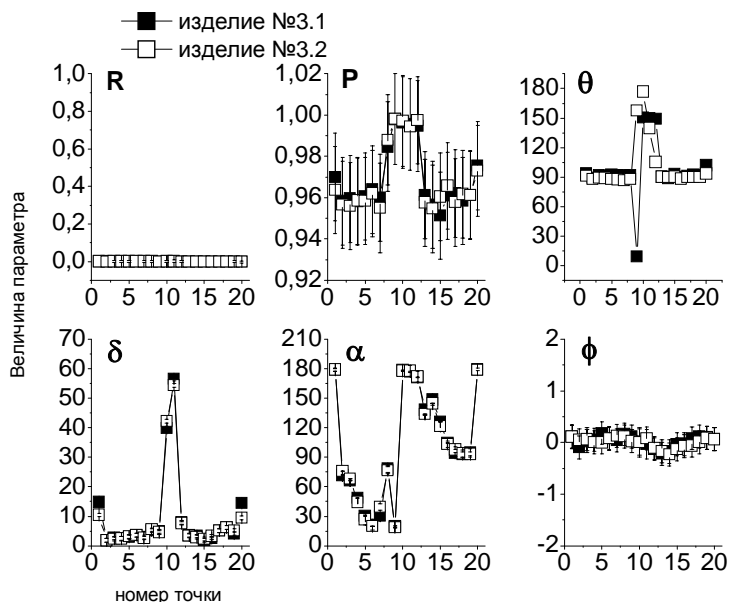


Рис. 8. Зависимость параметров анизотропии от точки к точке на плоскости диска для изделий № 3.1 и № 3.2

Изделие № 4

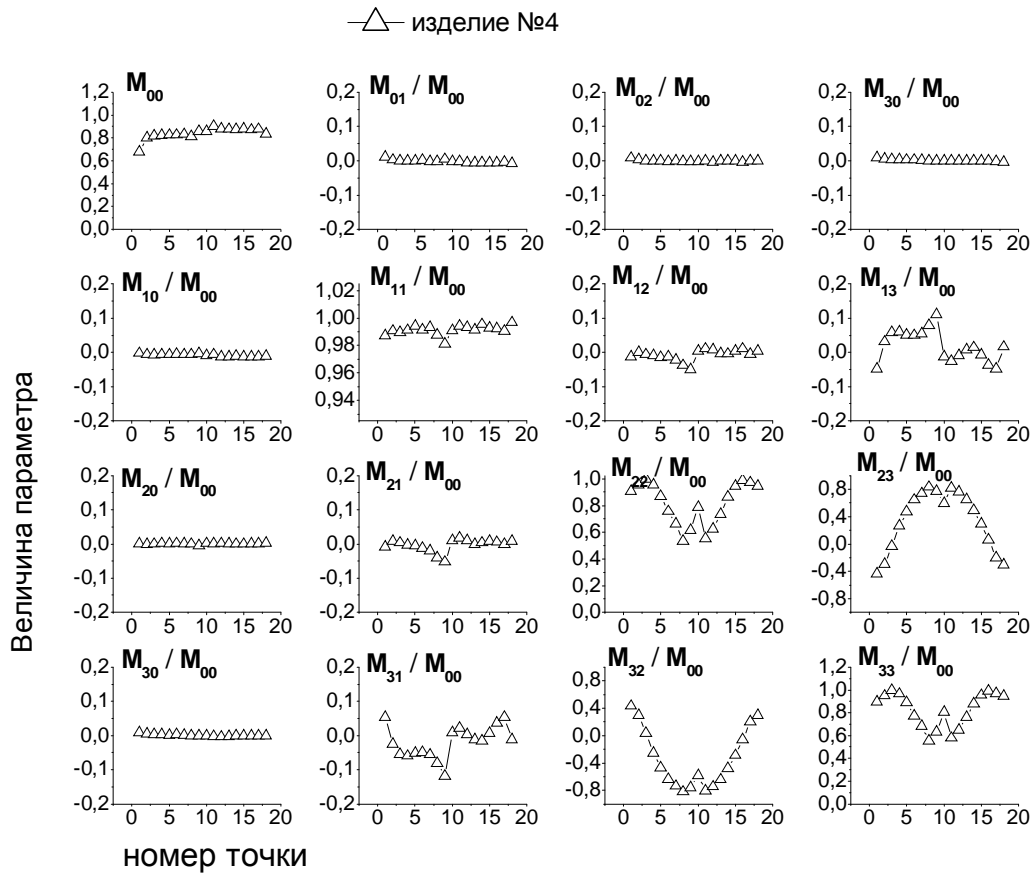


Рис. 9. Зависимость элементов матрицы Мюллера от точки к точке на плоскости диска для изделия № 4

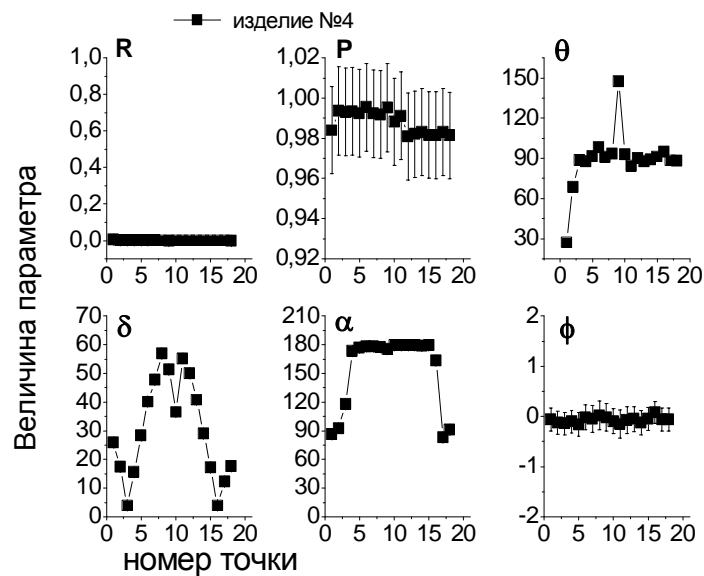


Рис. 10. Зависимость параметров анизотропии от точки к точке на плоскости диска для изделия № 4

Изделие № 5

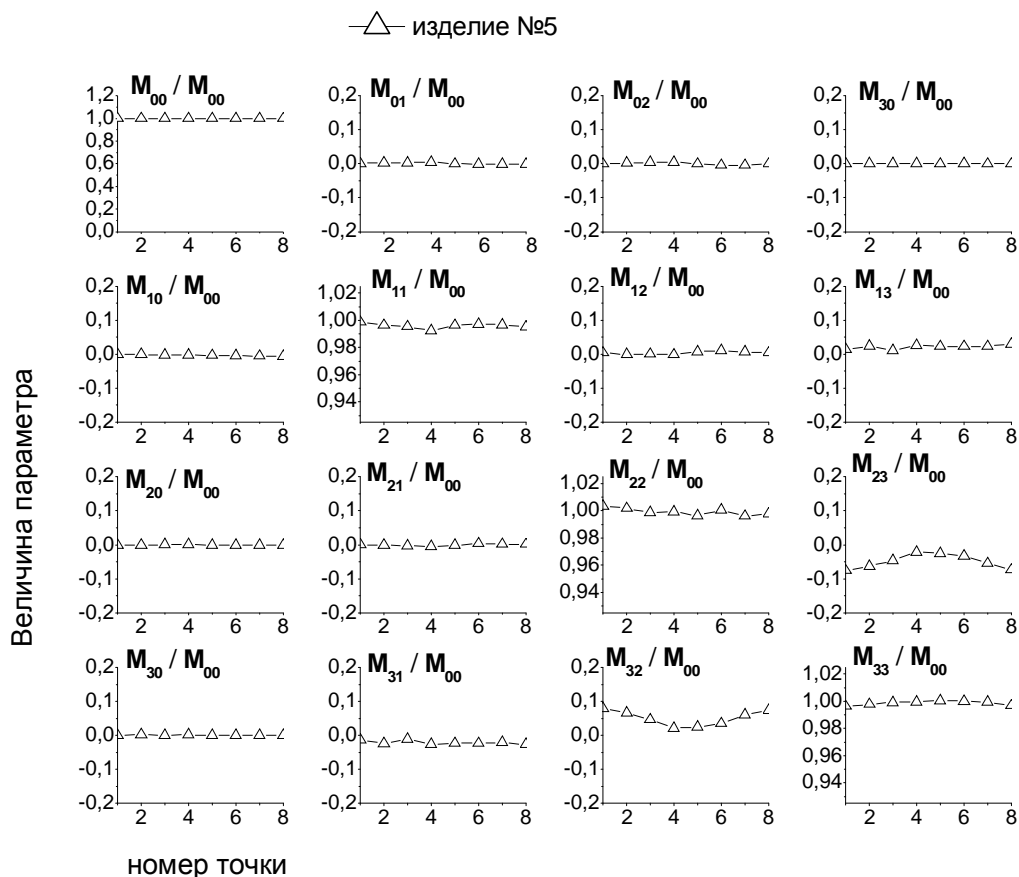


Рис. 11. Зависимость элементов матрицы Мюллера от точки к точке на плоскости диска для изделия № 5

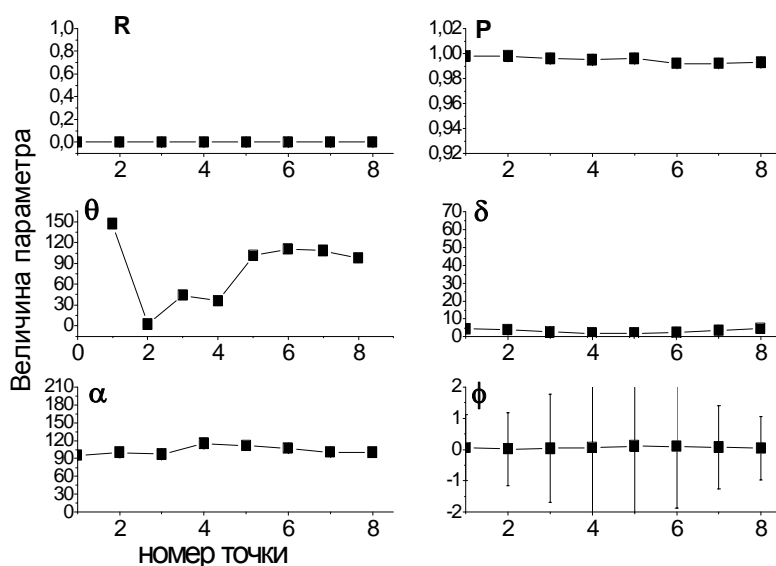


Рис. 12. Зависимость параметров анизотропии от точки к точке на плоскости диска для изделия № 5

Изделие № 6

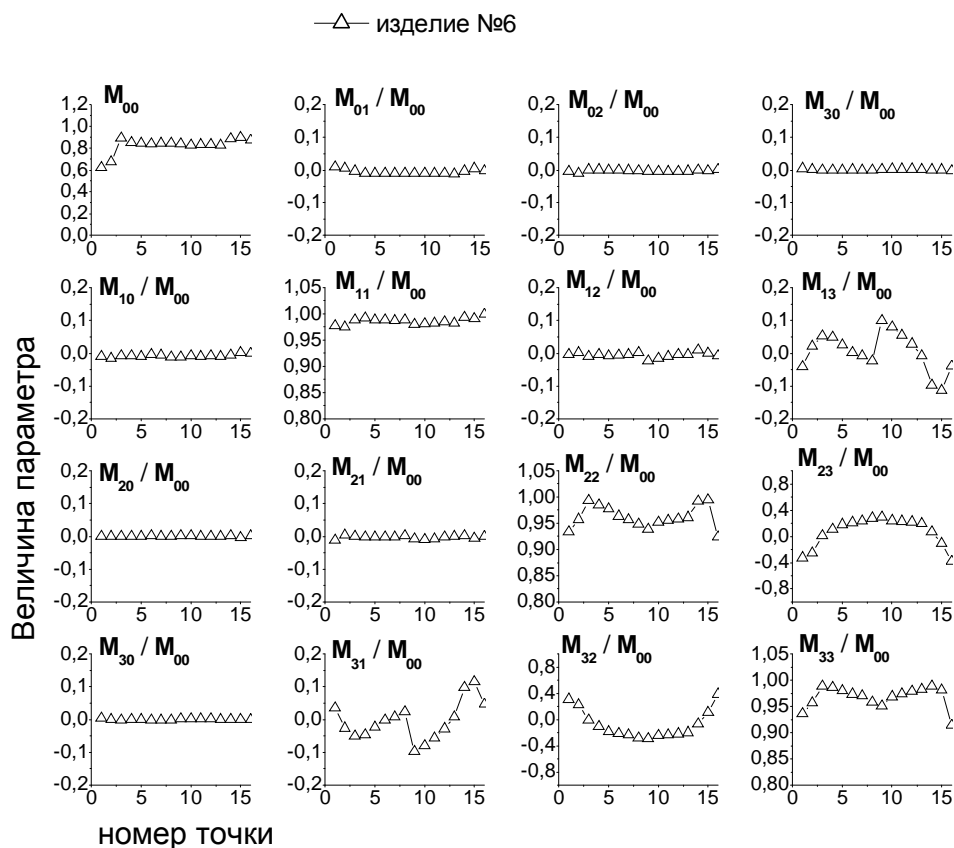


Рис. 13. Зависимость элементов матрицы Мюллера от точки к точке на плоскости диска для изделия № 6

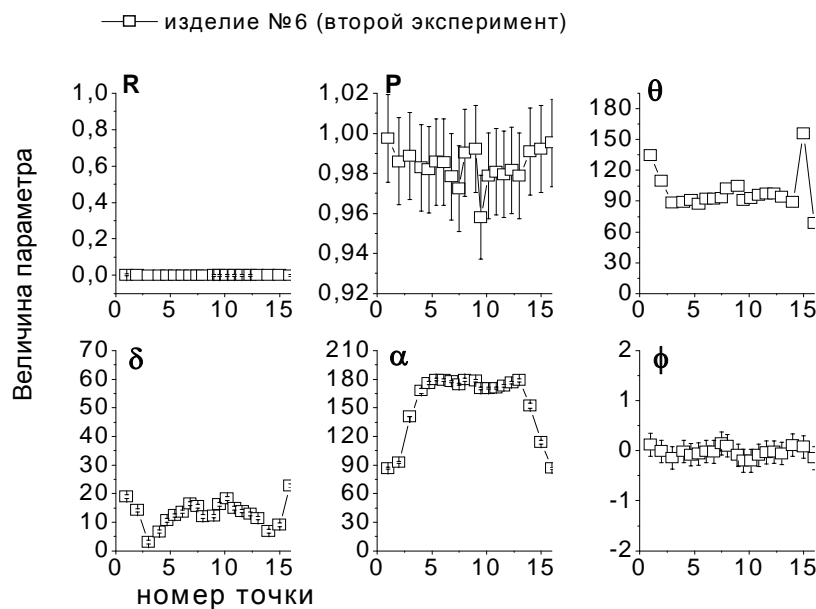


Рис. 14. Зависимость параметров анизотропии от точки к точке на плоскости диска для изделия № 6

Выводы

1. Использование метода полной Мюллер-поляриметрии позволяет с высокой степенью точности производить контроль оптической анизотропии подложек оптических носителей информации.

2. Предложенный метод, по-видимому, позволяет производить идентификацию производителей компакт-дисків, выявлять механические и оптические неоднородности в подложках компакт-дисків, которые могут приводить к их разрушению при записи/считывании информации на высоких скоростях.

3. Проведенные измерения позволили выявить существенные различия в поляризационных характеристиках подложек компакт-дисків различных производителей. Следует отметить, что характеристики дисків из одной партии в пределах погрешности совпадают. Наименьшей оптической анизотропией характеризуется подложка из лейкосапфира.

1. *Azzam R., Bashara N.M.* Ellipsometry and Polarized Light. — Amsterdam (North-Holland), 1984.

2. *Savenkov S.N.* Optimization and Structuring of the Instrument Matrix for Polarimetric Measurements // Opt. Eng. — 2002. — **41**. — P. 965–972.

3. *Савенков С.М., Оберемок Е.А., Юштин К.Е.* Проблема похибок при вимірюванні матриць Мюллера ряду поляризаційних класів об'єктів з ізотропною деполяризацією // Укр. фіз. жур. — 2002. — Т. 47, № 9. — С. 898–903.

4. *Savenkov S.N.* Scattering (Mueller) Matrices and Experimental Determination of Matrix Elements. Chapter 4 in «From Spectroscopy to Remotely Sensed Spectra of Terrestrial Ecosystems» / R.S. Mutiah ed. — Dordrecht (Netherlands): Kluwer Academic Publishers, 2002. — P. 85–107.

5. *Cloude S.R.* Group Theory and Polarization Algebra // Optik. — 1986. — **75**. — P. 26–36.

6. *Cloude S.R. and Pottier E.* Concept of Polarization Anisotropy in Optical Scattering // Opt. Eng. — 1995. — **34**. — P. 1599–1610.

7. *Mar'enko V.V., Savenkov S.N.* Representation of Arbitrary Mueller Matrix on the Basis of Circular and Linear Anisotropy // Opt. Spec. — 1994. — **76**. — P. 94–96.

8. *Оберемок Е.А., Савенков С.М.* Розв'язок оберненої задачі поляриметрії для детермінованих об'єктів на основі неповних матриць Мюллера // Укр. фіз. жур. — 2002. — Т. 47, № 8. — С. 803–807.

Поступила в редакцію 31.10.2005