

регистрации не только фазы, но и амплитуды сигнала „объектного“ фотодиода для идентификации перехода границы и измерения толщины тонкого слоя.

В заключение авторы выражают благодарность Ф.А. Пудонину за изготовление образцов для исследования, а также И.М. Ахмеджанову за помощь в работе.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] S e e C.W., V a e z I r a v a n i M. // Appl. Opt. 1985. V. 24. N 15. P. 2373-2379.
[2] C h u n g H., W a l p i t a L.M., C h a n g W.S.G.// Appl. Opt. 1986. V. 25. N 18. P. 3014-3017.

Ярославский
политехнический институт

Поступило в Редакцию
24 февраля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 12
12

26 июня 1989 г.

ФАЗОВЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ИОНИЗАЦИИ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ КВАДРУПОЛЬНОМ ПОЛЕ

В.А. Е л о х и н, С.В. П р о т о п о п о в,
А.Ф. К у з ь м и н, С.Е. Р я б о в

Квадрупольный масс-анализатор является одним из наиболее широко используемых анализаторов в масс-спектрометрии [1]. Существенный недостаток анализаторов такого типа заключается в наличии краевых полей, в которых происходит потеря ионов; особенно такие потери велики при прохождении тяжелых ионов через входное краевое поле [1]. Радикальный способ исключения такого недостатка заключается в проведении процесса ионизации непосредственно в квадрупольном высокочастотном поле, т.е. внутри масс-анализатора [2]. В настоящей работе впервые реализован такой способ, основанный на методе лазерной ступенчатой ионизации. Исследованы зависимости пропускания ионов квадрупольным масс-фильтром от фазы зарождения ионов по отношению к фазе высокочастотного (ВЧ) поля, проведено сравнение пропускания анализатора при ионизации внутри ВЧ поля и при традиционной ионизации в источнике ионов.

Исследования проводились на экспериментальной установке, описанной в работе [3]. Использовался квадрупольный масс-спектрометр МС-7302 и перестраиваемый лазер на красителях ЛЖИ-501, накачиваемый лазером на Nd^{+} ИАГ ЛТИ-401. Излучение лазера на красителях фокусировалось в межэлектродной области на оси квадрупольного анализатора вне входного краевого поля. Исследования

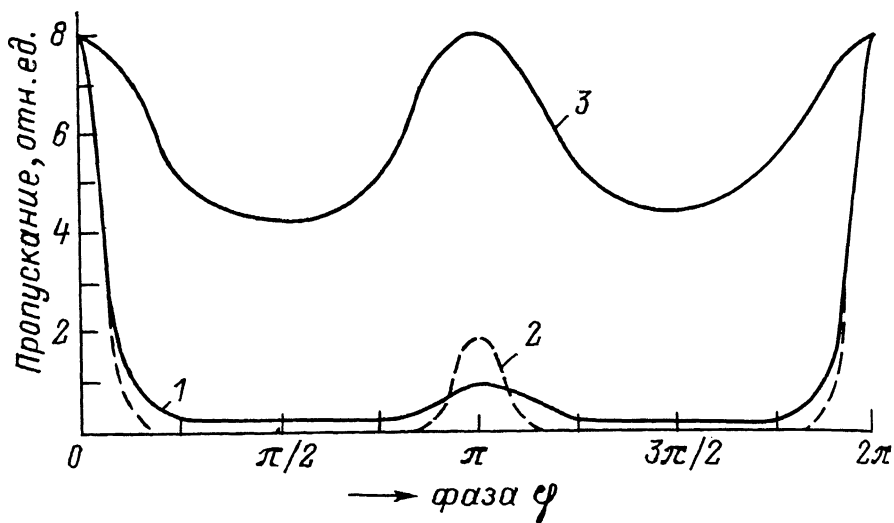


Рис. 1.

выполнены с использованием молекулы анилина, двухфотонная ионизация которой осуществлялась через промежуточный электронно-возбужденный уровень на длине волны 293.6 нм при плотности мощности лазерного излучения в импульсе $\sim 10^{10}$ Вт \cdot м $^{-2}$ и давлении паров анилина $\sim 10^{-4}$ Па.

Управление фазой образования ионов по отношению к фазе ВЧ напряжения квадрупольного масс-анализатора осуществлялось путем синхронизации импульсного лазера и ВЧ генератора масс-спектрометра. Схема синхронизации обеспечивала режим фазокоррелированной ионизации за счет регулируемого смещения лазерного ионизирующего импульса длительностью 25 нс в пределах одного периода ВЧ напряжения, равного 644 нс (частота $1.6 \cdot 10^6$ Гц). Это позволило исследовать зависимости пропускания ионов масс-анализатором от фазы ВЧ напряжения, при которой ионы зародились в этом поле или в источнике ионов. В последнем случае ионы транспортировались через источник ионов и входное краевое поле в область масс-анализатора.

На рис. 1 приведена характерная зависимость пропускания квадрупольного масс-анализатора от фазы ВЧ поля (кривая 1) для молекулярного иона анилина (масса равна 93 а.е.м.), измеренная при разрешении $R=93$ и энергии ионов ~ 0.5 эВ. Эта зависимость имеет аналогичный характер и при других значениях разрешения и энергии ионов. Таким образом, видно, что при импульсной ионизации в оптимальной фазе ВЧ поля выигрыш в чувствительности может составлять порядок и более. Следует отметить, что полученная зависимость хорошо согласуется с результатами теоретических расчетов из работы [1] (кривая 2), выполненных в приближении бесконечно длинного поля и параллельного ионного

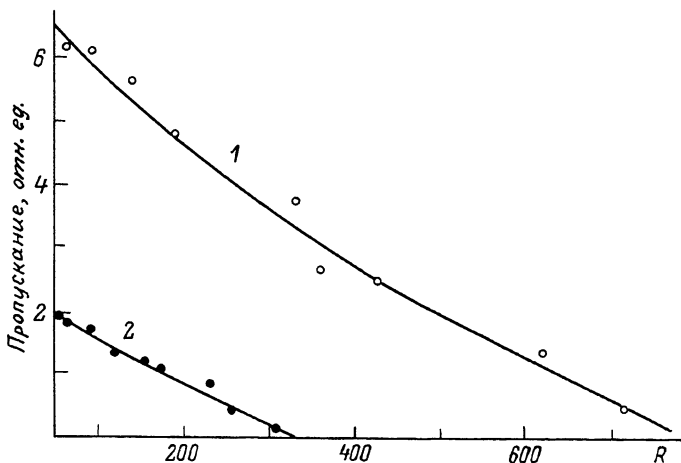


Рис. 2.

пучка. Такое согласие свидетельствует о правомерности используемых в работе [1] приближений для численного анализа фазовых эффектов в квадрупольном анализаторе.

На рис. 1 приведена также фазовая зависимость пропускания, измеренная для режима работы квадрупольного масс-спектрометра без постоянной составляющей напряжения (кривая 3). Такой режим часто используется при работе квадрупольного масс-анализатора в качестве фокусирующей системы.

Установлено, что при использовании режима фазокоррелированной ионизации внутри источника ионов масс-спектрометра фазовая зависимость пропускания ионов отсутствует. Это объясняется размыванием по времени ионного пакета до величины, большей периода ВЧ поля в процессе транспортировки пакета в источнике ионов и во входном краевом поле. Важное практическое значение имеет вопрос сопоставления по величине пропускания двух режимов ионизации. На рис. 2 приведены зависимости пропускания масс-анализатора от разрешающей способности R (для массы равной 93 а.е.м.) при оптимальной фазе $\varphi = 0$ в случае ионизации внутри квадрупольного масс-анализатора (кривая 1) и для случая ионизации внутри источника ионов (кривая 2), разрешение определялось на уровне 10% от максимума массового пика. Сравнение этих зависимостей свидетельствует о выигрыше по пропусканию и по предельному разрешению для режима фазокоррелированной ионизации внутри масс-анализатора. Этот эффект может быть использован для повышения чувствительности метода масс-спектрометрии с лазерной многофотонной ионизацией при его реализации на основе квадрупольных масс-анализаторов.

Авторы выражают благодарность В.В. Горьковому за полезные дискуссии и помощь в работе.

- [1] D a w s o n P.H. // Int. J. Mass Spectrom. Ion. Phys. 1974. V. 14. N 4. P. 317-337.
- [2] К у з ь м и н А.Ф. // Квадрупольный масс-спектрометр. Авт. свид. № 957318, Бюлл. изобр. и откр., № 33, 1982.
- [3] Г а л л ь Р.Н., Е л о х и н В.А., П р о т о п о п о в С.В., Ч е р н е ц к и й С.М. Тезисы докладов 1У Всесоюзной конф. по масс-спектрометрии. Сумы, 1986, с. 87.

Поступило в Редакцию
27 марта 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 12
03.6; 07

26 июня 1989 г.

ОПТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫЕ ТЕРМОУПРУГИЕ ДЕФОРМАЦИИ КРИСТАЛЛА $Bi_{12}SiO_{20}$

А.М. Б л и з н е ц о в, А.В. Х о м е н к о

Кубический кристалл $Bi_{12}SiO_{20}$ (BSO) является фоторефрактивным [1]. При освещении в нем образуется объемный заряд, электрическое поле которого вызывает двулучепреломление кристалла за счет линейного электрооптического эффекта. Это позволяет использовать кристаллы BSO для записи голограмм и в пространственно-временных модуляторах света. Кроме того, в [2] показано, что поле фотоиндуцированного заряда может вызывать упругие деформации поверхности кристалла BSO , вызванные обратным пьезоэлектрическим эффектом. Такие деформации носят нестационарный характер, возникают после включения освещения и затем исчезают. Величина деформаций при плотности интенсивности светового воздействия до 10^{-4} Вт/см² не превышает 70 Å.

В данной работе исследуются стационарные деформации поверхности пластин кристалла BSO , которые возникают при больших интенсивностях засветки (в наших экспериментах до 65 мВт/см²). Деформации возникают, если одновременно с засветкой в кристалле создается продольное электрическое поле. Зарегистрированы смещения, величина которых достигает долей микрона. Формой и величиной деформаций кристалла можно управлять оптически, изменяя засветку кристалла. Это позволяет использовать исследованный эффект для пространственно-временной модуляции света. Экспериментально показано, что при этом может быть достигнута дифракционная эффективность $\sim 10\%$.

В экспериментах использовались образцы кристалла BSO , представляющие собой круглые пластины диаметром 22 мм. Пластины имели толщину 0.45-0.7 мм и ориентацию (111) или (110).