

по высоте були может представляться оправданным. На рис. 2 построена характеристическая поверхность K_{33} монокристаллической були, нормированная к единице.

Полученные результаты объясняют имеющие место расхождения литературных данных о величине электрических характеристик кристаллов α -LiIO₃. Рис. 2 наглядно показывает, что анализ экспериментальных данных необходимо проводить с учетом влияния структурного

Компоненты матриц d_{im} , ϵ_{ij} ($U_{max} \leq 80$ В, $f = 2$ кГц)
и величины K_{ij} монокристаллов α -LiIO₃
при комнатной температуре

$d_{im} \cdot 10^{-8}$, ед. СГСЭ			ϵ_{ij}^S		K_{ij}	
d_{15}	d_{31}	d_{33}	$\epsilon_{11} = \epsilon_{22}$	ϵ_{33}	K_{33}	K_{31}
111	7.1	97	300	1000	0.37	0.35

совершенства кристаллов и места расположения выбранного для исследования образца в объеме були. Типичные значения компонент матриц d_{im} , ϵ_{ij} и величин КЭМС K_{ij} , измеренные нами для образцов из средней части монокристаллической були, приведены в таблице.

Учет полученных результатов позволит оптимизировать препарирование кристаллов на рабочие элементы с заданным набором или распределением свойств.

Список литературы

- [1] Авдиенко К. И., Богданов С. В., Архипов С. М. и др. Иодат лития. Выращивание кристаллов, их свойства и применение. Новосибирск: Наука, 1980. 144 с.
- [2] Смажеская Е. Г., Фельдман Н. Б. Пьезоэлектрическая керамика. М.: Сов. радио, 1971. 199 с.

СЕЛЕКТИВНАЯ ФОТОИОНИЗАЦИЯ АТОМОВ ИНДИЯ В ГИПЕРБОЛОИДНОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРЕ ТИПА ТРЕХМЕРНОЙ ЛОВУШКИ

Э. П. Шертов, А. И. Сулов, Б. И. Колотилин, А. Б. Ястребков,
Н. В. Веселкин, В. К. Комов, С. П. Овчинников

Гиперболоидные масс-спектрометры типа трехмерной ловушки (ГМС) в настоящее время широко начинают использовать в технике и науке [1]. Недавно был создан масс-спектрометр этого типа для автоматической межпланетной станции «Вега» по международной программе «Венера—комета Галлея» [2]. В настоящей работе сообщается о реализации метода селективной фотоионизации атомов индия в таком приборе.

В работе [3, 4] высказана идея двухмерного масс-оптического спектрометра. Экспериментальные исследования проводились в этих работах с использованием времяпролетных масс-спектрометров.

Применение ГМС позволяет реализовывать непрерывный режим накопления ионов, что особенно важно при детектировании следовых количеств вещества. Кроме этого, одновременно с накоплением ионов осуществляется их селекция по массам, что существенно снижает влияние фона.

Селективная фотоионизация атомов индия осуществлялась с помощью излучения перестраиваемого лазера на красителях, возбуждаемого импульсным азотным лазером. Излучение направлялось в вакуумную камеру, в которой находилась электродная система анализатора ГМС, вдоль одной из асимптот электродной системы (рис. 4). Вдоль другой асимптоты в рабочий объем ГМС вводился пучок атомов индия, полученный с помощью термического атомизатора.

Осесимметричная электродная система анализатора ГМС представляет собой тонкостенный гиперболоид. Анализатор изготовлен по технологии, разработанной в Рязанском радиотехническом институте.

Для возбуждения атомов индия лазер на красителях настраивался на длину волны $\lambda = 410, 18$ нм (переход $5^2P_{1/2} - 6^2S_{1/2}$), ионизация с возбужденного уровня осуществлялась этим же излучением. Длительность импульса излучения на полувысоте составляла 8 нс, что обеспечивало реализацию фазового ввода ионов в ГМС. Пиковая мощность излучения лазера в области взаимодействия с атомами при частоте следования импульсов $\nu = 13.7$ Гц составляла $P = 3.8$ кВт. Излучение фокусировалось в пятно $\varnothing 1.1$ мм, которое, как показали теоретические расчеты, должно являться оптимальным с точки зрения получения максимального числа ионов при данной мощности излучения.

Работа лазерной системы синхронизировалась с ГМС, на кольцевой электрод которого подавалось импульсно-периодическое напряжение с частотой 112.5 кГц, соответствующей удержанию в ГМС ионов индия. Фаза ввода ионов поддерживалась оптимальной. Подробное описание конструкции ГМС и его блоков дано в работе [1]. Для ввода излучения и атомного пучка в рабочий объем анализатора в периферийных областях электродов ГМС были сделаны отверстия $\varnothing 10$ мм (рис. 1).

Регистрация ионов осуществлялась с помощью микроканальных пластин и стробирующей системы счета ионов.

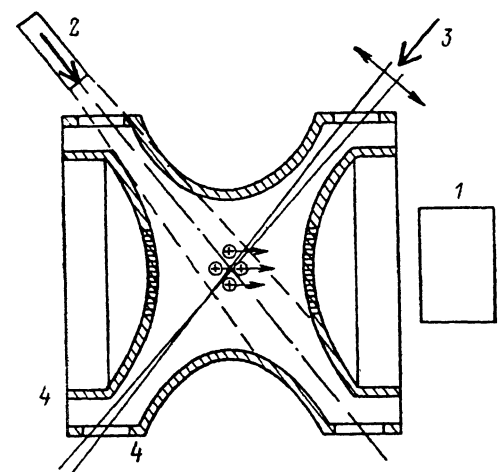


Рис. 1. Схема ввода атомного пучка и лазерного излучения в электродную систему анализатора ГМС.

1 — микроканальная сборка для регистрации ионов, 2 — пучок атомов индия, 3 — излучения лазера на красителях, 4 — электродная система анализатора ГМС.

цей системы счета ионов. Температура термического атомизатора выбиралась такой, чтобы обеспечить достаточно большой выходной сигнал по отношению к фону (~ 3000) при работе системы регистрации в линейном режиме. По проведенным оценкам концентрация атомов индия в области ионизации не превышала 10^8 см $^{-3}$. При низких давлениях остаточного газа в вакуумной камере и малом количестве периодов удержания регистрировалось ~ 40 ионов за один лазерный импульс.

Весьма существенным для реализации режима накопления ионов в ловушке является вопрос о влиянии остаточного газа в вакуумной системе ГМС на удержание ионов. Теоретический анализ показывает, что процессы столкновения ионов, удерживаемых в ГМС, с атомами остаточного газа могут приводить к их потере. Потери ионов при их удержании в ГМС могут быть также обусловлены нестолкновительными механизмами, например за счет неидеального изготовления электродной системы.

В данной работе экспериментально исследовано влияние давления остаточного газа на эффективность удержания ионов. Давление остаточного газа устанавливалось с помощью регулируемого микроваткателя. На рис. 2, а приведены экспериментальные зависимости логарифма числа ионов индия N , зарегистрированных системой счета по истечению n периодов их удержания после одного ионизирующего лазерного импульса при давлении остаточных газов p . При давлении остаточных газов $p = 3.7 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. число регистрируемых ионов индия убывает в e приблизительно за 2400 периодов импульсно-периодического напряжения, подаваемого на кольцевой электрод ГМС, что соответствует времени удержания $\sim 3 \cdot 10^{-2}$ с. Увеличение давления остаточных газов приводит к более быстрому уменьшению числа регистрируемых ионов при увеличении числа периодов удержания. На рис. 2, б показаны зависимости логарифма числа ионов индия, зарегистрированных системой счета по истечению n периодов их удержания, от давления остаточных газов. Экспериментальные зависимости, полученные в данной работе, хорошо описываются зависимостью вида

$$N = N_0 e^{-(n_1 p \sigma + k) n t},$$

где N — число ионов индия, зарегистрированных системой счета по истечению n периодов их удержания; N_0 — начальное число ионов; n_1 — концентрация частиц остаточного газа

при единичном давлении $3.6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3} \text{ мм рт. ст.}^{-1}$; p — давление остаточного газа; σ — сечение процесса, характеризующего потерю ионов индия в ГМС за счет столкновений с остаточным газом; l — длина траектории иона в ГМС за один период удержания; k — коэффициент, обуславливающий потерю ионов за счет неидеальности электродной системы.

Длина траектории иона для ГМС используемого типа при оптимальном фазовом вводе составляла $l=9 \text{ см}$. На основании экспериментальных зависимостей была оценена величина сечения σ , характеризующего потерю ионов за счет столкновения с остаточным газом. Она составляла $\sigma=9 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2$, что существенно ниже газокинетического сечения азота ($\sigma_2=6 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$), которая в основном составляет остаточный газ, как показали измерения, проводимые с помощью того же самого ГМС при ионизации электронным ударом. Упрощенно этот факт можно интерпретировать так, что в среднем каждое второе из ста столкновений

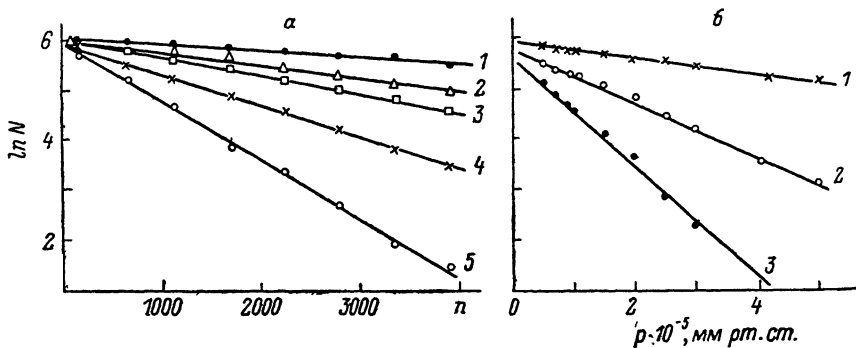


Рис. 2. Зависимости числа ионов, зарегистрированных детектором ГМС за один лазерный импульс, от числа периодов удержания n при давлениях остаточного газа (а) и давления p остаточного газа при различном числе периодов удержания ионов в ГМС (б).

а — p , мм рт. ст.: 1 — $3.8 \cdot 10^{-6}$, 2 — $7 \cdot 10^{-6}$, 3 — 10^{-5} , 4 — $2 \cdot 10^{-5}$, 5 — $4 \cdot 10^{-5}$; б — n : 1 — 672, 2 — 1964, 3 — 3928.

приводит к уходу ионов индия из области удержания ГМС. Следует отметить, что ионы индия имеют существенно бóльшую массу, чем атомы остаточного азота. Вследствие этого импульс ионов индия при столкновении с атомами остаточного газа заметно измениться не может, чем и обусловлено низкое значение σ . Процессы перезарядки ионов индия при столкновении, по-видимому, также играют незначительную роль. При селективной ионизации и накопления в ГМС ионов более легких элементов, чем индий, столкновения будут играть более существенную роль.

На основании экспериментальных зависимостей была оценена максимальная величина коэффициента k , обуславливающего потерю ионов за счет неидеальности электродной системы $k \leq 7 \cdot 10^{-6} \text{ см}^{-1}$. Таким образом, при существенном понижении давления остаточных газов следует ожидать, что количество регистрируемых ионов индия в ϵ раз будет уменьшаться за время удержания не менее 0.15 с. Для реализации более продолжительного времени удержания необходимо более качественное изготовление электродной системы ГМС.

В результате проведенных исследований показана возможность реализации селективной фотоионизации в ГМС типа трехмерной ловушки и промоделирована возможность продолжительного удержания ионов в рабочем объеме ГМС в условиях высокого вакуума.

Список литературы

- [1] Шертов Э. П. // ЖТФ. 1979. Т. 49. Вып. 1. С. 34—40.
- [2] Сурков Ю. А., Иванова В. Ф., Пудов А. Н. и др. // Космические исследования. 1987. Т. XXV. № 5. С. 744—750.
- [3] Ambazumian R. V., Letokhov V. S. // Appl. Opt. 1972. Vol. 11. P. 354—357.
- [4] Летохов В. С. Лазерная фотоионизационная спектроскопия. М.: Наука, 1987. 320 с.

Рязанский
радиотехнический институт

Поступило в Редакцию
8 января 1989 г.
В окончательной редакции
12 июня 1989 г.