

АТОМНЫЙ ЗОНД С КОМПЕНСАЦИЕЙ РАЗБРОСА КИНЕТИЧЕСКИХ ЭНЕРГИЙ ИОНОВ

А.Н. Кудрявцев, Н.В. Никоненко,
Б.М. Дубенский, Д.В. Шмикк

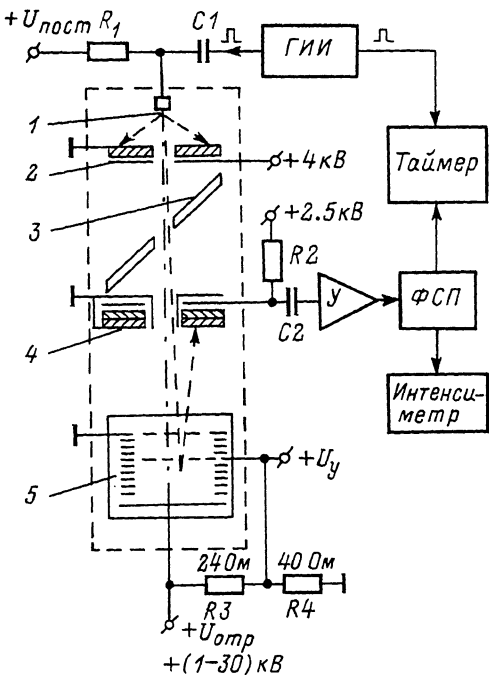
Описан новый тип атомного зонда, высокая разрешающая способность которого достигается компенсацией разброса кинетических энергий за счет применения электростатического отражателя ионов.

Атомный зонд является уникальным исследовательским инструментом, сочетающим высокое пространственное разрешение автоионного микроскопа (0,2–0,5 нм) с возможностями времяпролетного масс-спектрометра, регистрирующего единичные ионы [1]. Локальность метода при определении количественных соотношений элементов в сплавах, в частности на основе железа и никеля, не хуже 3–5 нм. Прибор нашел широкое применение при исследовании структуры металлов и сплавов в части изучения локального изменения состава при фазовых превращениях и на различного рода дефектах [1], исследовании полупроводников [2] и сверхпроводящей керамики [3].

Физический принцип действия прибора основан на полевом испарении атомов с поверхности игольчатого эмиттера под воздействием высоких электростатических полей. Режим полевого испарения реализуется подачей на игольчатый эмиттер с радиусом кривизны 10–50 нм, находящийся под положительным потенциалом 5–20 кВ, положительных высоковольтных импульсов наносекундной длительности. Поскольку фронт испаряющего импульса имеет конечную длительность, испарение иона с определенной вероятностью может происходить не только при достижении максимальной амплитуды. Это явление, известное как преждевременное полево испарение, приводит к разбросу кинетических энергий десорбированных ионов и к ухудшению разрешения по массе [1, 4]. Принципиальное значение это имеет при работе со сплавами, где практически невозможно подобрать постоянное напряжение на образце при наличии компонентов сплава с различными, порой существенно отличающимися величинами поля испарения, и влиянием на этот процесс химических связей и локального окружения атомов.

Для уменьшения влияния эффекта преждевременного полевого испарения в известных к настоящему времени конструкциях атомных зондов используется тороидальный дефлектор или линза Пошенридера. При длине пролетной базы 2,5–3 м разрешающая способность прибора составляет ~ 1000 и выше [4, 5]. Однако атомный зонд с тороидальным дефлектором имеет ряд недостатков. При крупных габаритах, сложности изготовления и юстировки устройства диапазон изменения испаряющего напряжения, в котором обеспечивается высокоэффективная фокусировка ионов, не превышает $\pm 3.5\%$ [4]. Это

Рис. 1. Структурная схема атомного зонда с отражателем ионов.



обстоятельство усложняет проведение экспериментов в условиях изменяющейся геометрии поверхности эмиттера при проведении количественных измерений и при исследовании сплавов и полупроводников, для которых требуется высокое отношение величины амплитуды импульсного напряжения к постоянному ($\sim 0.2-0.4$).

Для устранения ряда отмеченных недостатков авторами предложен новый тип атомного зонда, в котором для компенсации разброса кинетических энергий ионов использован принцип пространственно-временной фокусировки ионов

в процессе их отражения в однородном электростатическом поле [6, 7]. Отражатель ионов выполнен двухзоровым, что дает возможность даже при значительном разбросе кинетических энергий (до 40 %) достигать разрешающей способности ~ 1000 [7].

Структурная схема разработанного прибора представлена на рис. 1. Автоионное изображение поверхности образца 1 усиливается микроканальным усилителем яркости 2, собранным на базе пластины МКП-60-15 с отверстием в центре $\phi 3$ мм, и с помощью наклонного зеркала 3, также с отверстием, выводится наружу. Для проведения масс-анализа на образец подаются импульсы высокого напряжения от генератора испаряющих импульсов ГГИ. Одновременно происходит запуск таймера. Десорбированные высоковольтным импульсом ионы через отверстия в усилителе яркости 2, зеркале 3 и микроканальном детекторе 4 поступают в двухзоровый отражатель 5. Отраженные ионы попадают на детектор 4, сигналы с которого через усилительный тракт, состоящий из усилителя У и формирователя со следящим порогом ФСП, поступают на стоповый вход таймера. Временное разрешение регистрирующей аппаратуры ± 2 нс. Двухзоровый отражатель с входным отверстием $\phi 70$ мм размещен на расстоянии 600 мм от образца. Полная длина пролета в бесполовом пространстве 940 мм. Отражатель содержит входной заземленный сетчатый электрод, управляющий сетчатый электрод, тормозной сплошной электрод и набор кольцевых электродов. Все электроды питаются через делители напряжения R_3 и R_4 .

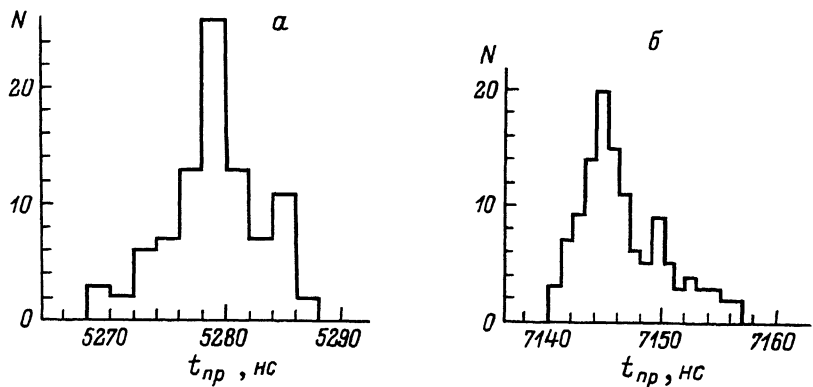


Рис. 2. Временные спектры одиночных ионов металлов в атомных зондах: а) с отражателем ионов (ионы $^{56}\text{Fe}^{+2}$), $U_{\text{пост}}=8.1$ кВ, амплитуда испаряющего импульса 2.8 кВ; б) с тороидальным дефлектором (ионы $^{59}\text{Co}^{+2}$), $U_{\text{пост}}=15.5$ кВ, амплитуда испаряющего импульса 3.1 кВ [5].

На рис. 2, а представлен временной спектр одиночных ионов железа $^{56}\text{Fe}^{+2}$, полученный при полевом испарении сплава на основе $\text{Fe} - \text{Ni}$. Ширина пика на половине его высоты составляет 6 нс, что даже при относительно короткой длине дрейфа (0.94 м) обеспечивает разрешение ~ 500 . Для сравнения на рис. 2, б представлен временной спектр ионов кобальта $^{59}\text{Co}^{+2}$, полученный в атомном зонде с тороидальным дефлектором [5]. Спектр ионов железа (рис. 2, а) был получен при достаточно высоком отношении импульсного напряжения к постоянному ~ 0.35 , тем не менее даже при таких условиях временные характеристики полученных спектров оказались близки: ширина пиков на половине высоты $\sim 4-6$ нс, по основанию $\sim 16-18$ нс.

Таким образом, применение в атомном зонде для компенсации разброса кинетических энергий ионов отражателя ионов дает возможность облегчить юстировку и управление прибором в условиях изменения геометрии образца при послойном количественном анализе и расширяет возможности прибора как в исследовании металлов, так и полупроводников. Кроме того, существенное упрощение конструкции атомного зонда должно способствовать расширению применения этого прибора как для исследований структуры материала на атомном уровне, так и изучения явлений на поверхности твердых тел в сильных электростатических полях.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] М ю л л е р Э.В., Ц о н г Т.Т. Полевая ионная микроскопия, полевая ионизация и полевое испарение / Пер. с англ. под ред. и с дополнением В.Н. Шредника. М.: Мир. 1980. 220 с.

- [2] Х а с и д з у м е, Х а с е г а в а, К о б а я с и, С а -
к у р а и // Приборы для научных исследований. 1986.
В. 57. № 7. С. 95-98.
- [3] К e l b g g G.L., B r e n n e r S.S. // Appl.
Phys. Lett. 1987. V. 51. N 22. P. 1851-1853.
- [4] М ю л л е р Э.В. Полевой ионный микроскоп с атомным
зондом. В кн.: Методы анализа поверхности / Под ред. А.Зан-
дерны. Пер. с англ. М.: Мир, 1979, с. 401-463.
- [5] Р е н, Ц о н г, М а к - Л е й н. // Приборы для научных
исследований. 1986. № 10. С. 82-86.
- [6] К а р а т а е в В.Н., М а м ы р и н Б.А., Ш м и к к Д.В.//
ЖТФ. 1971. Т. 41. В. 7. С. 1498-1501.
- [7] Ш м и к к Д.В., Д у б е н с к и й Б.М. // ЖТФ. 1984.
Т. 54. В. 5. С. 912-916.

Поступило в Редакцию
1 февраля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 7
07

12 апреля 1989 г.

СУЖЕНИЕ ШИРИНЫ ЛИНИИ ГЕНЕРАЦИИ ОДНОЧАСТОТНЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

И.Б. В и т р и щ а к, С.Г. М у р а в и ц к и й,
О.А. О р л о в, В.И. У с т ю г о в

Твердотельные лазеры непрерывного действия, работающие в од-
ночастотном режиме, являются удобными источниками высокомоно-
хроматического излучения для таких применений, как, например,
лазерная спектроскопия, интерферометрия, когерентная светолокация,
связь. На практике степень монохроматичности этих лазеров обыч-
но связана с уровнем их выходной мощности. Так, в $YAG: Nd$ -
лазерах с полупроводниковой лазерной накачкой и выходной мощно-
стью порядка единиц - десятков милливатт достигнута ширина линии
(характеризующая в данном случае кратковременную стабильность
частоты) порядка единиц и десятков килогерц [1, 2], тогда как
в более мощных гранатовых лазерах - с ламповой накачкой и выход-
ной мощностью порядка ватта - кратковременная стабильность час-
тоты реализована лишь на уровне ста килогерц [3]. Такая разница
в первую очередь связана с тем, что повышение уровня накачки
вынуждает применять жидкостное охлаждение активного элемента,
являющееся дополнительным источником возмущений частоты излу-
чения вследствие флуктуаций теплоотвода из-за турбулентного тече-
ния хладагента. Известно, что такого рода флуктуации приводят так-
же и к амплитудным шумам лазера. В [4] было показано, что