

- [2] D a i n o B., G r e g o r y G., W a b -
n i t z S. // Opt. Lett. 1986. V. 11. С. 42.
- [3] М е н y к С.Р. // IEEE J. Quant. Electr. 1987.
QE-23. P. 174.
- [4] B l o w K.J., D o r a n N.J., W o o d D. //
Opt. Lett. 1987. V. 12. P. 202.
- [5] C h r i s t o d o u l i d e s D.N., J o -
s e p h R.H. // Opt. Lett. 1988. V. 13. P. 53.
- [6] T r a t n i k M.V., S i p e J.E. // Phys. Rev.
A. 1988. V. 38. P. 2011.
- [7] А ф а н а с ь е в В.В., Д и а н о в Е.М., П р о х о -
р о в А.М., С е р к и н В.Н. // Письма в ЖЭТФ. 1988.
Т. 48. С. 588.
- [8] Б е р х о е р А.Л., З а х а р о в В.Е. // ЖЭТФ. 1970.
Т. 58. С. 903.
- [9] М а н а к о в С.В. // ЖЭТФ, 1974. Т. 38. С. 248.

Поступило в Редакцию
10 мая 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 15 12 августа 1989 г.

10; 12

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КФМ, РАБОТАЮЩЕГО В ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЗОНЕ СТАБИЛЬНОСТИ

Н.В. Коненков, В.И. Кратенко,
Г.А. Могильченко, С.С. Сипаков

Важное значение имеют знания о допустимых инструментальных и аппаратурных погрешностях квадрупольных масс-спектрометров (КМС) в практике их разработки [1]. Суммарным фактором, влияющим на параметры КМС, такие как коэффициент пропускания, разрешающая способность, стабильность является качество формирования высокостабильного поля в анализаторе с гиперболическим распределением потенциала. На качество поля влияют инструментальные погрешности изготовления и сборки электродов анализатора, неидеальность симметрии питающих напряжений, нестабильность величины $\lambda = U/V$, где U, V величины постоянного и амплитуды переменного напряжений на электродах квадрупольного фильтра масс (КФМ).

Целью данной работы является анализ влияния указанных факторов на параметры КМС, работающего в режиме сепарации промежуточной области.

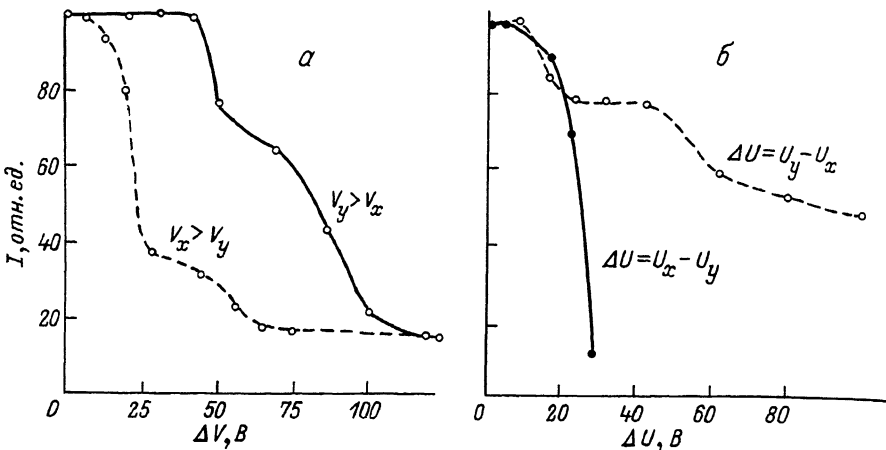


Рис. 1. Влияние разбаланса (α) ВЧ напряжений и (δ) постоянных составляющих напряжения на пропускание КФМ ($R_{0,1} = 219$; $M = 219$).

Теоретический учет влияния искажения поля анализатора на выходные параметры КМС сложен [2]. Поэтому рассматриваются элементарные оценки с привлечением экспериментальных данных.

Сепарация ионов реализуется вблизи вершины M диаграммы стабильности с координатами $q_M = 3.23408$, $a_M = 3.16429$. Параметры a, q выражаются следующим образом [1]:

$$a = \frac{8eU}{m\omega^2 r_0^2}; \quad q = \frac{4eV}{m\omega^2 r_0^2}, \quad (1)$$

где кроме указанных величин U, V входит e/m — удельный заряд иона с массой m и зарядом e , $\omega = 2\pi f$ — круговая частота ВЧ поля; r_0 — радиус вписанной окружности между вершинами электродов анализатора (радиус поля [1, 2]). Аппаратурно относительная полоса пропускания $R = q_M/\Delta q$ КФМ устанавливается соотношением

$$R = 0.17/(\lambda_0 - \lambda), \quad (2)$$

где $\lambda = U/V$, $\lambda_0 = 0.48921$.

На рис. 1 представлены зависимости интенсивности массового пика ионов $C_4F_9^+$ ($M = 219$) от величины разбаланса ΔV ВЧ напряжений (рис. 1, а) и от разбаланса ΔU постоянных напряжений (рис. 2, а) на электродах КФМ. При измерениях зависимости рис. 1, а поддерживался баланс по постоянным составляющим и зависимости рис. 1, б — по ВЧ напряжениям. В условиях эксперимента величина разрешающей способности $R_{0,1}$, определенная по 10%-ому

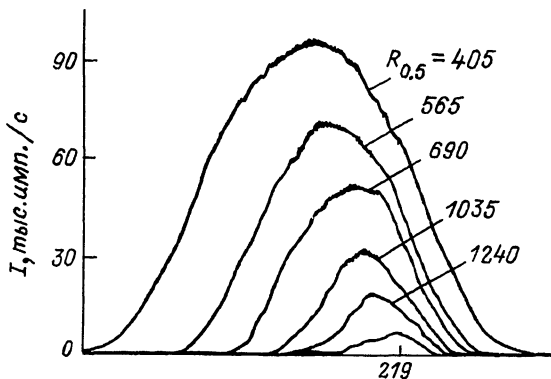


Рис. 2. Форма массового пика ионов $C_3F_4^+$ при различных значениях разрешающей способности $R_{0.5}$ ($\rho = 1 \cdot 10^{-5}$ Па; $I_0 = 40$ мкА; $eU_z = 20$ эВ).

уровню высоты массового пика $C_4F_9^+$, приблизительно оставалась постоянной.

Данные получены на анализаторе с длиной электродов 15 см и диаметром 8 мм. Частота ВЧ поля $f = 1$ МГц. Условия измерений: остаточное давление перфтортрибутиламина $1 \cdot 10^{-5}$ Па; ток эмиссии электронов 40 мкА, энергия ионов 20 В.

Из рис. 1 следует, что наиболее критично превышение напряжений от номинального на x -электродах, на которые падают положительный потенциал $+U$ при анализе положительных ионов. Величина выходного сигнала сильно падает при величине разбаланса $\Delta U_x \approx \Delta V_x \approx \approx 20$ В, что соответствует относительному уходу напряжений от номинала, соответственно, 4% и 2,3%. Разбаланс до таких значений при указанных условиях ($M = 219$, $R_{0.1} = 219$) в обычном режиме сепарации недопустим, поскольку [1] необходимо, чтобы

$$\Delta V \lesssim V \frac{\Delta m}{m} \approx 4B. \text{ Таким образом, из эксперимента следует, что}$$

допустимая величина разбаланса в режиме сепарации в промежуточной области в пять раз выше, чем в обычном режиме. Поддержание разрешающей способности $R_{0.1} = 219$ при разбалансе 20 В возможна благодаря тому, что полоса пропускания Δq_M по оси q в промежуточной области при одной и той же разрешающей способности $R = q/\Delta q$ в $q_M/q_0 = 4.6$ раза шире, чем в первой области, поскольку, как следует из определения q (1),

$$\Delta q_M = \frac{q_M}{q_0} \Delta q_0, \quad (3)$$

где $q_0 = 0.706$ - координата вершины и Δq_0 - полоса пропускания первой области стабильности [1]. Из (3) получаем, что отно-

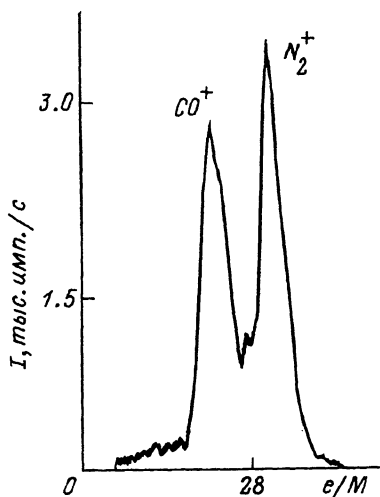


Рис. 3. Масс-спектр дублета ионов CO^+ , N_2^+ ($p(CO_2) = 1 \cdot 10^{-4}$ Па; $I_0 = 800$ мкА; $eU_Z = 18$ В).

сительное изменение разрешающей $(\delta R/R)_M$ вблизи вершины M при одном и том же изменении полосы пропускания $\delta(\Delta q)$ в q_M/q_0 раз меньше, чем в обычном режиме $(\delta R/R)_0$:

$$\left(\frac{\delta R}{R}\right)_M = \frac{q_0}{q_M} \left(\frac{\delta R}{R}\right)_0. \quad (4)$$

Форма наблюдаемого массового пика при различных значениях разрешающей способности показана на рис. 2.

На рис. 3 приведен масс-спектр дублета ионов CO^+ и N_2^+ с разрешающей способностью, приблизительно равной $R_{0.5} \approx 5000$. Масс-спектр получен на анализаторе длиной 27.5 см ($r_0 = 0.72$ см) и рабочей частоте ВЧ генератора 1.55 МГц. Инструментальная погрешность Δr изготовления и сборки анализатора составляла ≈ 3 мкм. В [2] приводится эмпирическая оценка величины допустимой (предельной) погрешности $\Delta r/r_0$ изготовления анализатора для обычного режима:

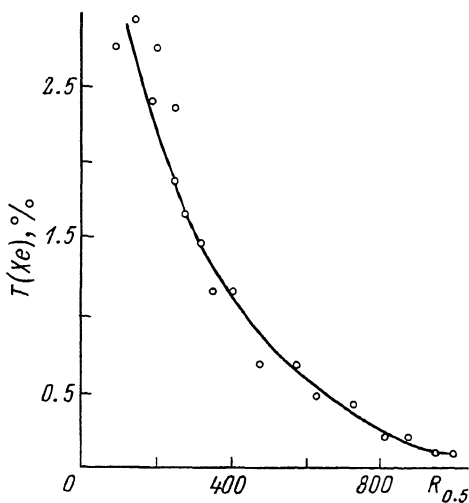
$$\Delta M/M \approx 1.3(\Delta r/r)^{0.94}, \quad (5)$$

основанная на обобщении экспериментальных факторов. Из (5) находим, что для достижения разрешающей способности $R_{0.5} = 5000$ необходимо $\Delta r < 1$ мкм. Из эксперимента следует, что в режиме сепарации промежуточной зоны стабильности инструментальная погрешность Δr ориентировочно в q_M/q_0 раз выше (при достижении одной и той же величины R), чем в обычном режиме.

На рис. 4 показана зависимость коэффициента пропускания T (трансмиссии [1]) КФМ ($L = 15$ см; $r_0 = 0.35$ см; $f = 1$ МГц, диаметр входной апертуры 2.5 мм) от величины разрешающей способности $R_{0.5}$ определенной по 50% уровню высоты массового пика ионов Xe_{132}^+ . Из данных рис. 4 следует, что относительное изменение $\Delta T/(T\Delta R)$ в области $R_{0.5} = 200$ составляет приблизительно $3.3 \cdot 10^{-3}$. Вблизи вершины стабильности M из (2) находим, что

(6)

Рис. 4. Зависимость коэффициента пропускания КФМ от величины разрешающей способности $R_{0.5}$, определенной по 50% уровню высоты массового пика ионов Xe_{132}^+ ($r_0 = 0.35$ см; $L = 15$ см; $f = 1$ МГц; $eU_z = 34$ эВ).



Используя оценку (6), получаем, что относительное изменение трансмиссии в пределах 5% при $R_{0.5} = 200$ требует поддержания уровня стабильности $\Delta\lambda/\lambda \approx 1.3 \cdot 10^{-4}$. В обычном режиме для обеспечения 5% уровня стабильности

трансмиссии при разрешающей способности $R_{0.5} = 100$ необходимо, чтобы $\Delta\lambda/\lambda < 3 \cdot 10^{-4}$ [3]. Отметим, что величина T (рис. 3, рис. 4) убывает в режиме сепарации промежуточной области приблизительно как $\sim R^{-1}$, в то время как для режима сепарации в первой области $\sim R^{-2}$ [3] (при ограничении разрешающей способности аксептансом анализатора).

Таким образом, шадящий режим по качеству формирования поля анализатора в промежуточной зоне стабильности позволяет практически достичь высоких значений разрешающей способности (~ 5000).

В ы в о д ы.

Использование ионно-оптических свойств промежуточной зоны стабильности позволяет снизить требования по качеству формирования поля анализатора ориентировочно в $q_m/q_0 = 4.6$ раза по сравнению с обычным режимом сепарации в первой зоне стабильности α, q параметров КФМ при достижении одних и тех же параметров.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] С л о б о д е н ю к Г.М. Квадрупольные масс-спектрометры. М.: Атомиздат, 1974. 272 с.
- [2] D a w s o n Р.Н. Quadrupole mass spectrometry and its applications. Amsterdam, Elsevier, 1976.
- [3] D a w s o n Р.Н. // J. Vac. Sci. Technol. 1986. A4(3). P. 1709-1714.

Поступило в Редакцию
27 марта 1989 г.

06.3; 07; 12

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ
НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДВОЙНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР
НА ОСНОВЕ $GaAs - AlGaAs$ А.П. З д е б с к и й, И.Б. П у з и н,
М.К. Ш е й н к м а н, Г.К. Ш е р в а р л ы

Ультразвуковое воздействие дупороговой интенсивности, приводящей не к генерации новых, а к преобразованию, а в некоторых случаях и к устранению уже имеющихся точечных дефектов и их комплексов, позволяет целенаправленно модифицировать дефектную структуру полупроводниковых материалов [1, 2] и улучшать характеристики приборов, содержащих PN - или гетеропереход [3].

С другой стороны, установлено [4, 5], что тепловая обработка светоизлучающих двойных гетероструктур (СДГС) (как с током инжекции неосновных носителей, так и без него) приводит к возрастанию мощности излучения за счет улучшения свойств pP -гетерограницы. Если учесть, что для улучшения параметров СДГС посредством тепловой обработки требуются десятки и даже сотни часов, а с помощью ультразвуковой обработки (УЗО) аналогичный результат может быть получен в течение одного часа, то ясно, что исследование влияния УЗО на СДГС представляет несомненный интерес. Ниже приведены результаты, показывающие, что УЗО может быть использована с целью уменьшения или устранения нелинейностей на ватт-амперных характеристиках СДГС на основе $GaAs - AlGaAs$. Исследованные СДГС с оксидной или диффузионной изоляцией полоскового электрода были получены методом жидкофазной эпитаксии и состояли из следующих слоев: $GaAs(Si)$ - подложка n -типа; $N-Al_{0.35}Ga_{0.65}As(Sn)$; $p-Al_{0.05}Ga_{0.95}As(Si)$; $p-Al_{0.35}Ga_{0.65}As(Ge)$. Толщина активного p -слоя 0.3 мкм. УЗО подвергались только СДГС с нелинейными ватт-амперными характеристиками (ВтАХ), имеющие исходно плохие электрофизические характеристики (ЭХ), а именно: аномально низкие напряжения пробоя и микроплазмы на обратной ветви вольт-амперной характеристики (ВАХ), большие избыточные токи в области малых прямых и обратных напряжений.

ЭХ снимались на автоматической установке [6], а профиль легирования в активной области СДГС определялся по методу $C-U$ -профилирования [7] на установке [8], автоматизированной посредством аппаратуры КАМАК и ЭВМ типа ДЗ-28. Обработка СДГС осуществлялась на частоте 20 МГц продольной ультразвуковой волной определенной амплитуды, распространяющейся параллельно плоскости гетероперехода. Одной дозе соответствует обработка в течение 1-го часа.