

динамических уравнений переноса [3] для компонент плазмы уже перестает быть применимой. Тем не менее решения этих уравнений дают в основном правильный предельный переход к однородной модели, описывающей разряд в области малых чисел Кнудсена $K_n \sim 1$. Дальнейшее уменьшение давления p_{H_2} переводит разряд в кнудсеновскую или плазменно-пучковую модификацию. Методика расчета таких разрядов изложена в [9].

3. Низковольтный цезий-водородный разряд характеризуется высокой средней колебательной энергией $\langle \epsilon_v \rangle$ молекул водорода. На рис. 4 в качестве примера приводятся распределения по зазору средней колебательной энергии $\langle \epsilon_v \rangle$ в расчете на одну молекулу водорода. Видно, что в области сравнительно малых $p_{H_2}L$ колебательная накачка молекул водорода весьма велика $\langle \epsilon_v \rangle \approx 0.5$ эВ при достаточно однородном распределении колебательно-возбужденных молекул по зазору. Прокачка молекулярного водорода сквозь такой разряд может оказаться весьма перспективной для различных плазмо-химических, лазерных и других приложений.

Авторы благодарят Г. А. Дюжева, Л. И. Елизарова, А. А. Костина, А. Г. Филатова, С. М. Школьника за полезное обсуждение.

Список литературы

- [1] Бахит Ф. Г., Иванов В. Г. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. Вып. 11. С. 672—675.
- [2] Бахит Ф. Г., Елизаров Л. И., Иванов В. Г., Юрьев В. Г. // Физика плазмы. 1988. Т. 14. № 1. С. 91—97.
- [3] Бахит Ф. Г., Елизаров Л. И., Иванов В. Г. // Физика плазмы. 1990. Т. 16. № 7. С. 854—861.
- [4] Бахит Ф. Г., Иванов В. Г. // Физика плазмы. 1986. Т. 12. С. 286—293.
- [5] Wadehra J. M. // Phys. Rev. A. 1984. Vol. 29. N 1. P. 106—110.
- [6] Бахит Ф. Г., Иванов В. Г. // ЖТФ. 1988. Т. 58. Вып. 2. С. 969—971.
- [7] Hiskes J. R., Karo A. M. // J. Appl. Phys. 1984. Vol. 56. N 7. P. 1927—1938.
- [8] Долгин А. И. // Химическая физика. 1984. Т. 3. № 11. С. 1624—1625.
- [9] Бахит Ф. Г., Колосов Б. И., Костин А. А. и др. Математическое моделирование процессов в низковольтном плазменно-пучковом разряде. М.: Энергоатомиздат, 1990. 136 с.

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
20 мая 1991 г.

12

Журнал технической физики, т. 62, в. 2, 1992

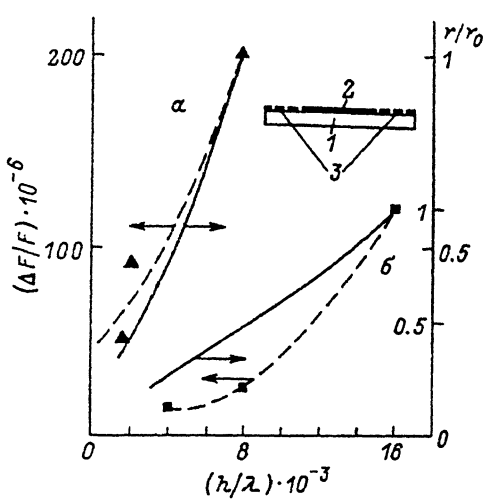
© 1992 г.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ГАЗОВЫХ ДАТЧИКОВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ

В. И. Анисимкин, И. М. Котелянский

Датчики газов на поверхностных акустических волнах (ПАВ) относятся к одним из перспективных типов химических датчиков, который в настоящее время интенсивно исследуется [1, 2]. Цель данной работы — показать, что “отклики” таких датчиков определяются а) долей акустической энергии волны r , которая сконцентрирована в пределах пленочного покрытия, изменяющего свои физические свойства при адсорбции газа, и б) величиной относительного изменения скорости распространения волны $V_{ПАВ}$, вызванного возникающими при адсорбции одновременными изменениями плотности ρ и упругих модулей C_{11}, C_{44} пленки.

Газовые датчики на ПАВ представляют собой, как известно [1], слоистые структуры (рис. 1), в которых чувствительная к газу пленка имеет толщину h , намного меньшую длины волны ПАВ λ ($h/\lambda \sim 0.01$). Поэтому при анализе таких структур можно ограничиться рассмотрением одной акустической моды (ПАВ



Рэлея) и аппроксимировать дисперсионную зависимость этой моды линейной функцией с наклоном $S = (1/V_{\text{ПАВ}}) \cdot (\partial V_{\text{ПАВ}} / \partial (h/\lambda))$. Анализ величин, определяющих работу газовых датчиков на ПАВ, проводился нами с использованием структур Pd/ST , $\text{X}-\text{SiO}_2$ и $\text{Pd}/\text{YZ}-\text{LiNbO}_3$, которые чувствительны

Рис. 1. Зависимость величины "отклика" датчика водорода на ПАВ $\Delta F/F$ (точки, штриховые линии) и доли энергии ПАВ в пленке r (сплошная линия) от нормированной толщины пленки h/λ .

a — структура Pd/SiO_2 , *б* — структура Pd/LiNbO_3 ; 1 — подложка, 2 — пленка, 3 — излучатель и приемник ПАВ.

к водороду. Для этих структур на рис. 1 приведены экспериментальные зависимости величин "откликов" (относительного изменения несущей частоты $\Delta F/F$) от относительной толщины пленки палладия h/λ . Данные взяты из [3–5]. На том же рисунке представлены рассчитанные нами значения энергетического параметра r , нормированного по значению, соответствующему максимальному "отклику" датчика. Расчет r проводился по методике [6] в предположении изотропности упругих свойств подложек ST , $\text{X}-\text{SiO}_2$ и $\text{YZ}-\text{LiNbO}_3$, эффективные упругие модули которых брались из [7]. Эффективные упругие модули

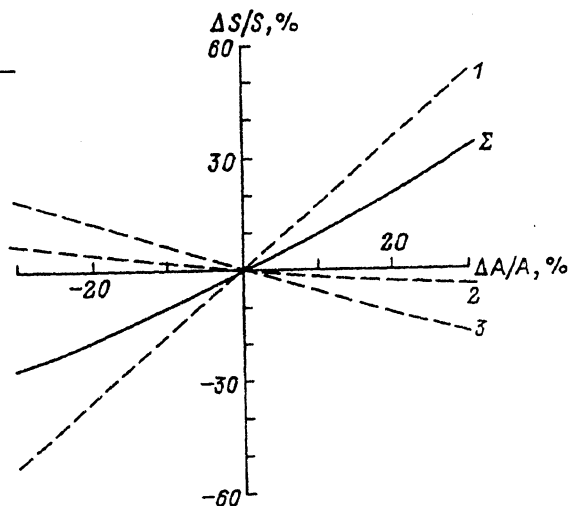


Рис. 2. Относительные изменения наклона дисперсионной зависимости ПАВ в структуре Pd/SiO_2 $\Delta S/S$ от относительных изменений плотности (1) и упругих модулей (2, 3) пленки Pd.

1 — $\Delta A/A = \Delta \rho/\rho$; 2 — $\Delta A/A = \Delta C_{11}/C_{11}$; 3 — $\Delta A/A = \Delta C_{44}/C_{44}$; Σ — одновременное изменение как плотности, так и упругих модулей.

поликристаллической пленки Pd с адсорбированным водородом и без него рассчитывались по методике [8] из упругих модулей монокристаллов $\text{PdH}_{0.66}$ и Pd [9] соответственно.

Сравнение зависимостей $\Delta F/F (h/\lambda)$ и $r(h/\lambda)$ (рис. 1) показывает, что для обеих структур увеличение доли энергии ПАВ, распространяющейся в пленке, сопровождается увеличением чувствительности датчика к водороду, при этом величины "откликов" датчиков на разных звукопроводах отличаются почти на порядок. Мы предполагаем, что указанное отличие связано, во-первых, с тем, что в структуре Pd/SiO_2 больше энергии ПАВ распространяется непосредственно в пленке Pd, и, во-вторых, с тем, что фазовая скорость ПАВ в этой структуре более чувствительна к изменениям параметров пленки. Проведенные расчеты подтвердили высказанное предположение (см. таблицу). Кроме того, они показали, что поскольку изменения плотности и упругих модулей пленки приводят к прямо

Структура	$\Delta F/F^1; 10^{-6}$	r^1	$\Delta S/S, \%^2$
Pd/SiO ₂	200	0.06	-14.2
Pd/LiNbO ₃	25	0.04	-11.9

¹ Толщина пленки Pd $h/\lambda = 8 \cdot 10^{-3}$.

² Изменение параметров пленки Pd соответствует переходу от чистого Pd к PdH_{0.66}:
 $\Delta\rho/\rho = -10\%$, $\Delta C_{11}/C_{11} = -6.7\%$, $\Delta C_{44}/C_{44} = -3.2\%$.

противоположным изменениям скорости ПАВ (рис. 2), то эти парциальные изменения скорости могут взаимно компенсировать друг друга. В этом случае чувствительность датчика снижается даже при значительной концентрации волны в пленке.

Проведенный анализ позволяет заключить, что при выборе материалов пленки и подложки для газовых датчиков на ПАВ необходимо, во-первых, стремиться к достижению максимальной концентрации энергии волны в пленочном покрытии (это условие наиболее эффективно выполняется в "ускоряющих" структурах [6]) и, во-вторых, избегать взаимной компенсации изменений плотности и упругих модулей пленки на скорость распространения ПАВ во всей структуре.

Список литературы

- [1] *Christofides C., Mandelis A.* // J. Appl. Phys. 1990. Vol. 68. N 6. P. R1—R30.
- [2] *Зимел Дж.* // Приборы для научных исследований. 1990. Т. 61. № 6. С. 3—30.
- [3] *Palma A., Verona E.* // Appl. Phys. Lett. 1982. Vol. 41. N 3. P. 300—301.
- [4] *D'Amico A., Gentili M., Verardi P., Verona E.* // 2nd Intern. Meeting on Chemical Sensors. Bordeaux, 1985. P. 743—746.
- [5] *Anisimkin V. I., Verona E., D'Amico A.* // Nuovo Cimento. 1989. Vol. 11D. N 3. P. 503—508.
- [6] *Анисимкин В. И., Котелянский И. М., Мааленков П. Н.* // Акуст. журн. 1988. Т. 34. № 2. С. 338—339.
- [7] *Chen D.-P., Hans H. A.* // IEEE Trans. 1985. Vol. SU-32. N 3. P. 395—408.
- [8] *Borchi E., De Gennaro S., Lombardini L., Zolli M.* // Phys. Stat. Sol. (a). 1987. Vol. 104. P. 667—678.
- [9] *Hsu D. K., Letsure R. G.* // Phys. Rev. 1979. Vol. 20B. N 4. P. 1339—1344.

Институт радиотехники и электроники
Москва

Поступило в Редакцию
19 февраля 1991 г.

05

Журнал технической физики, т. 62, в. 2, 1992

© 1992 г.

ИМПЕДАНС СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

А. М. Сатанин

В последнее время были выполнены многочисленные измерения импеданса высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) в интервале частот $\omega/2\pi = 1—100$ ГГц и достаточно широком интервале температур [1—5]. Интерпретация экспериментальных данных в рамках традиционных представлений пока вызывает существенные затруднения и не является однозначной. Это связано с отсутствием микроскопической теории ВТСП, а также с неконтролируемой структурой материалов, которая существенно зависит от технологии. Импеданс определяет потери и его дальнейшее изучение имеет важное практическое значение для определения характеристик ВЧ линий и резонаторов на основе ВТСП.

ВТСП можно условно разделить на три класса: керамические материалы