

Таким образом, слоистая структура ZnO/Si допускает создание на своей основе акустических датчиков водорода и электрического поля. Определение максимальной и минимальной концентраций водорода (напряженности поля), на которые еще реагирует датчик, оптимизация чувствительности, номера акустической моды и других рабочих характеристик, а также сравнение этих характеристик с данными для других типов датчиков тех же величин (например, [9]) требует дальнейших исследований.

Литература

- [1] *Vellekoop M. J., Neiwkoop E., Haartsen J. C., Venema A.* Proc. IEEE Ultrason. Symp., 1987, p. 19.
- [2] *Mazzolai F. M., Birnbaum H. K.* In: Electronic Structure and Properties of Hydrogen in Metals, 1983, N 357, p. 125—131.
- [3] *D'Amico A., Palma A., Verona E.* Appl. Phys. Lett., 1982, v. 41, N 3, p. 300—301.
- [4] *Анисимкин В. И., Котелянский И. М., Осипенко В. А.* ЖТФ, 1987, т. 57, № 3, с. 535—539.
- [5] *Tiersten H. F. J.* Acoust. Soc. Am., 1978, v. 64, N 3, p. 832—838.
- [6] *Лямов В. Е.* Поляризационные эффекты и анизотропия взаимодействия акустических волн в кристаллах. М., 1983. 223 с.
- [7] *Palmieri L., Socino G., Verona E.* Proc. IEEE Ultrason. Symp., 1986, p. 1093—1096.
- [8] *Palma A., Palmieri L., Socino G., Verona E. J.* Appl. Phys., 1985, v. 58, N 8, p. 3265—3267.
- [9] *Jelley K. W., Maclay G. J.* IEEE Trans., 1987, v. ED-34, N 10, p. 2036—2097.

Институт радиотехники и электроники АН СССР

Москва

Институт акустики им. О. М. Корбиню

Рим

Поступило в Редакцию

16 марта 1988 г.

УДК 539.124 : 541.64

Журнал технической физики, т. 58, в. 10, 1988

ПОЗИТРОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ МДМ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ТИТАНАТА СТРОНЦИЯ

*Б. Н. Шаралов, С. Н. Скоков, Л. Т. Тер-Мартirosян,
А. И. Дедык, А. М. Прудан*

Позитронная спектроскопия твердых тел позволяет получить информацию о локальном и макроскопическом полях в веществе. В частности, воздействие внешнего электрического поля на твердое тело приводит к смещению центра углового распределения аннигиляционных фотонов (УРАФ) [1-3]. Термализованные позитроны дрейфуют в направлении макроскопического поля \mathcal{E} со средней скоростью $v = \mu \mathcal{E}$, где μ — дрейфовая подвижность позитронов. При этом средний импульс аннигилирующих электрон-позитронных пар отличен от нуля, что вызывает сдвиг центра спектра УРАФ на $\Delta \Theta = \mu c^{-1} \mathcal{E}$, где $c = 3 \cdot 10^8$ мс⁻¹. Дрейфовая подвижность позитронов в веществе может быть также определена по сдвигу спектра доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ) [4, 5] или растяжению (сжатию) имплантационного профиля позитронов [3].

Подвижность позитронов в различных материалах приведена в таблице.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния макроскопического электрического поля на положение центра спектра УРАФ в монокристаллическом титанате стронция (ТС).

Использовалась длиннощелевая установка с геометрическим разрешением 1 мрад. Время разрешения совпадений установки 50 нс, полное число фоновых отсчетов не более 2.5 % от полного числа событий. Накопление информации многоканальным амплитудным анализатором происходило при непрерывном многократном сканировании подвижным плечом в пределах ± 20 мрад.

Исследуемый образец представлял собой кристалл ТС в виде диска диаметром 8 мм и толщиной 600 мкм, вырезанного в плоскости [110]. Многоканальная проводимость материала 10^{-10} Ом⁻¹·м⁻¹ при $T = 300$ К [6]. Измерение УРАФ проводилось при комнатной температуре. Металлические электроды толщиной 0.7 мкм наносились на поверхность диска методом термического испарения в вакууме. Перед измерением спектров УРАФ образец был отожжен в течение 3 ч при $T = 300$ °С с замкнутыми электродами для устранения неравновесного состояния в структуре.

Материал	Подвижность позитронов, $\text{см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	Метод измерения, источник информации
Монокристаллический германий	350 \pm 17 (36 К) 124 \pm 10 (93 К) 20 (300 К)*	ДУАЛ [4]
Каптон	0.4 \pm 8.0	} ДУАЛ [5]
Майлар	0.4 \pm 0.1	
	0.4 \pm 3.0	
Стекло	2.7 \pm 2.6	} ДУАЛ [5], УРАФ [3]
Тефлон	3 \pm 2	
Кристаллический кварц	5 \pm 2	УРАФ [2]
Полиэтилен	30 \pm 2	ДУАЛ [5], УРАФ [1, 2]
Парафин	102 \pm 2	ДУАЛ [5]
Алмаз	160 \pm 80	} УРАФ [3]
Монокристаллический кремний	430 \pm 100	

* Все остальные данные относятся также к комнатной температуре.

Спектры УРАФ имели дисперсии порядка 22 мрад², что при общих наборах по 10⁴ событий позволяло определить смещение центра УРАФ при наложении электрического поля с точностью ± 0.02 мрад. При напряжениях $U=100, 200, 400$ В, приложенных к кристаллу так, что позитроны влетали со стороны электрода с отрицательным потенциалом (катода), смещения составили соответственно 0.20, 1.57, 1.61 мрад, причем направление среднего импульса аннигилирующих электрон-позитронных пар совпадало с направлением поля. Измеренные значения $\Delta \theta$ существенно превышают аналогичные результаты для других диэлектрических материалов (кварц, тефлон, полиэтилен). После отключения источника остаточное смещение центра УРАФ при разомкнутых электродах составило 0.98 мрад.

Наиболее вероятное объяснение наблюдаемых особенностей зависимости $\Delta \theta(U)$ состоит в том, что макроскопическое поле в структуре неоднородно за счет образования в нем прикатодного слоя объемного заряда (ОЗ). Толщина этого слоя и положение его центра зависят от напряжения приложенного к структуре. Пространственное совмещение области ОЗ с областью имплантации позитронов в кристалле ТС, которое реализуется при увеличении напряжения, составляет основу качественного объяснения зависимости $\Delta \theta(U)$.

Объемный заряд, сформированный при воздействии внешнего поля, сохраняется и после его выключения. Существование остаточного электрического поля вызывает смещение центра спектра УРАФ, измеренного после отключения источника напряжения. Совпадение направления среднего импульса аннигилирующих электрон-позитронных пар до и после выключения внешнего источника свидетельствует о том, что в области аннигиляции направление поля сохраняется.

Известно, что толщина слоя ОЗ в ТС может достигать 100 мкм [6]. Оценим толщину области имплантации позитронов l в ТС. Максимальный термализационный путь позитрона с начальной энергией E может быть оценен с помощью соотношения [7]

$$l \text{ (мкм)} = \frac{0.0215}{\rho \text{ (г} \cdot \text{см}^{-3}\text{)}} (E \text{ (кэВ)})^{1.7}.$$

Для ТС ($\rho=5.12 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$) и источника позитронов на основе ^{22}Na ($E_{\text{max}}=540 \text{ кэВ}$) $l=200$ мкм; при этом большая часть позитронов термализована на глубине, меньшей 100 мкм. Таким образом, толщины слоя ОЗ и области имплантации имеют значения, совпадающие по порядку величины, что также подтверждает ранее высказанное предположение об образовании под действием внешнего поля в прикатодной части МДМ структуры на основе ТС отрицательного объемного заряда [8].

Для расчета дрейфовой подвижности позитрона в ТС примем, что напряженность поля \mathcal{E} в области кристалла, где происходит аннигиляция, составляет $10^6-10^7 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$. При $\Delta \theta \sim 1$ мрад численная оценка дает $\mu \sim 10^2-10^3 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$, которое существенно превышает значение подвижности электронов (поляронов малого радиуса) в ТС ($\mu_e \sim 10^{-1} \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ при $T=300 \text{ К}$ [9]).

Таким образом, проведенное исследование показывает перспективность метода позитронной спектроскопии для исследования сегнетоэлектрических кристаллов. Результаты исследования МДМ структур на основе ТС свидетельствуют о том, что под действием внешнего

поля в кристалле ТС возникает отрицательный ОЗ в прикатодной части структуры. Дрейфовая подвижность термализованных позитронов в ТС является аномально большой по сравнению с подвижностью электронов.

Литература

- [1] Варисов А. З. ФТТ, 1986, т. 28, № 7, с. 2173—2174.
- [2] Варисов А. З. ФТТ, 1983, т. 25, № 7, с. 2210—2212.
- [3] Brandt W., Paulin R. Phys. Rev. B, 1977, v. 15, N 5, p. 2511—2518.
- [4] Mills A. P., Pfeitfer L. Phys. Rev. Lett., 1976, N 36, p. 1389—1393.
- [5] McKenzie J. K., Ghorayshi P. Z. Sol. St. Commun, 1985, v. 55, N 2, p. 125—127.
- [6] Дедык А. И., Прудан А. М., Тер-Мартirosян Л. Т. ФТТ, 1985, т. 27, № 6, с. 1615—1619.
- [7] Kögel G., Trijshäuser W. Red. Eff., 1983, v. 78, p. 221—230.
- [8] Вендик О. Г., Дедык А. И., Дмитриева Р. В. и др. ФТТ, 1984, т. 26, № 3, с. 684—689.
- [9] Бурсиан Э. В. Нелинейный кристалл. Титанат бария. М.: Наука, 1974. 295 с.

Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина)

Поступило в Редакцию
26 марта 1987 г.

УДК 537.525

Журнал технической физики, т. 58, в. 10, 1988

ОСОБЕННОСТИ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО СВЕЧЕНИЯ, РАСПОЛОЖЕННОГО ВНУТРИ ПОЛОГО КАТОДА ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

Б. И. Москалев

Разделение плазмы внутри полого катода тлеющего разряда на области отрицательного свечения и положительного столба, отграничивающиеся друг от друга участком, где электроны движутся против задерживающего их электрического поля, приводит к характерным особенностям, учет которых весьма важен при конструировании газоразрядных приборов на полом катоде [1]. Вопрос о наличии или отсутствии отрицательного электрического поля между зонами отрицательного свечения и положительного столба в тлеющем разряде как с полым, так и плоским катодом имеет принципиальное физическое значение [2, с. 180]. В [3] отрицательное электрическое поле наблюдалось внутри полого катода в направлении потока быстрых электронов, идущих от глухой стенки (дна) полости. Однако для анализа явлений в плазме, приводящих к появлению отрицательного электрического поля, гораздо более удобно использовать полый катод без дна. Такой катод был собран в экспериментальном макете с плоским зондом диаметром 1.5 мм, способным к передвижению по оси полости. Катод, аналогичный по конструкции использованному в [3], состоял из четырех открытых секций прямоугольного сечения размерами $34 \times 72 \times 50$ мм с небольшими зазорами между ними. Для измерения параметров плазмы использовалась лентмюровская методика экспериментов, разработанная для условий полого катода под руководством Б. Н. Клярфельда.

1. Экспериментальные результаты

При давлении неона 40 Па и токе 15 мА отрицательное свечение целиком заполняет прямоугольную полость размерами $34 \times 72 \times 200$ мм. На рис. 1 приведены распределения по оси отрицательного свечения потенциала пространства и концентрации электронов n_e , а также кривая направленного тока $I_{\text{напр}}$ в поперечных сечениях полости, иллюстрирующие основные особенности отрицательного свечения в случае его расположения внутри полого катода.

Одним из отличий отрицательного свечения внутри полого катода от отрицательного свечения, располагающегося у плоского катода тлеющего разряда, является рост направленного тока при приближении к аноду в первом случае в противоположность его постоянству для второго случая. Кроме того, в случае отрицательного свечения внутри полого катода поток быстрых электронов из зоны катодного падения перпендикулярен вектору направленного тока и не участвует в переносе тока к аноду.