

Результаты измерения диэлектрической проницаемости ряда образцов

Материал	Метод измерения								
	Резонаторный			Резонаторный			Волноводный		
	$\varepsilon/\varepsilon_0$	$\delta (\varepsilon/\varepsilon_0), \%$	$\lambda_0, \text{мм}$	$\varepsilon/\varepsilon_0$	$\delta (\varepsilon/\varepsilon_0), \%$	$\lambda_0, \text{мм}$	$\varepsilon/\varepsilon_0$	$\delta (\varepsilon/\varepsilon_0), \%$	$\lambda_0, \text{мм}$
Тефлон	2,06	1,0	1,95	2,04	1,0	8,21	2,04	4,9	7,98
Эбонит	2,73	0,3	2,00	2,75	1,6	8,15	2,76	5,4	7,98
Орг. стекло	—	—	—	2,48	1,2	8,21	2,40	5,0	7,98
Слюда	5,80	4,4	2,04	—	—	—	—	—	—
Плексиглас	2,61	0,3	2,01	—	—	—	—	—	—

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Ю. К., Афонин Д. Г., Костиенко А. И. О возможности простого расчета спектра резонансных частот открытого резонатора с плоскостной структурой.— Вестн. Моск. ун-та. Физ., астрон., 1977, 18, № 3, 87—90.
2. Вайштейн Л. А. Открытые резонаторы и открытые волноводы. М., 1966, 475 с.
3. Валитов Р. А. и др. Техника субмиллиметровых волн. М., 1969, 480 с.
4. Брандт А. А. Исследование диэлектриков на СВЧ. М., 1963, 403 с.
5. Degenford J. E., Coleman P. D. A quasi-optics perturbation technique for measuring dielectric constants.— Proc. IEEE, 1966, 54, N 4, 520—522.

Поступила в редакцию
21.03.79

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1980, Т. 21, № 2

УДК 621.315.592

Р. В. ПРУДНИКОВ, В. А. МАТВЕЕВ

**О МЕХАНИЗМЕ ЭФФЕКТА НАКОПЛЕНИЯ
ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ
ГЕРМАНИЯ В ПОПЕРЕЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ**

Ранее в работах [1—5] было показано, что при измерениях поверхностной проводимости германия в среде с повышенной влажностью в поперечных переменных электрических полях методом эффекта поля наблюдается накопление положительного поверхностного заряда (эффект накопления — ЭН). О механизме ЭН высказывались различные точки зрения. Ржанов с сотрудниками [1, 2, 5] связывал ЭН с процессом стимулированной электрическим полем адсорбции и десорбции молекул H_2O . Дорда [3, 4] полагал, что ЭН вызван туннельными пере-

ходами из медленных поверхностных состояний (МС) в окисле в зону проводимости германия. Однако какие-либо прямые эксперименты, подтверждающие тот, или иной механизм, в литературе не освещены.

С целью выяснения механизма ЭН мы в настоящей работе провели его исследование в атмосфере паров H_2O и NH_3 . Ранее было показано [6], что молекулы H_2O и NH_3 создают адсорбционные МС с близкими параметрами (концентрация, положение в запрещенной зоне, время релаксации и т. д.) и практически одинаково заряжают поверхность Ge при адсорбции. Исследовались образцы германия *n*-типа ($\rho = 27-30 \text{ Ом}\cdot\text{см}$), протравленные в 30%-ной перекиси водорода с небольшой добавкой щелочи. Для оценки ЭН использовалась методика эффекта поля аналогично [2, 5] на синусоидальном напряжении. В отличие от [1-5] образцы первоначально откачивались до более глубокого вакуума $\sim 10^{-8}$ Тор в безмасляной аппаратуре.

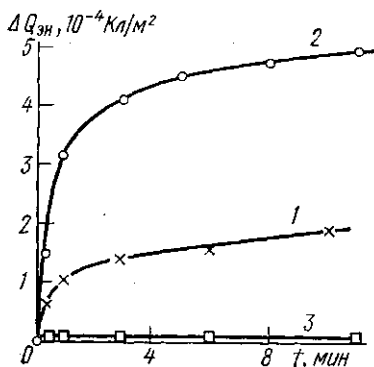


Рис. 1. Кинетические кривые ЭН при разных напряжениях: 1 — переменное немодулированное 250 В, 2 — модулированное постоянным напряжением — 150 В и 3 — +150 В

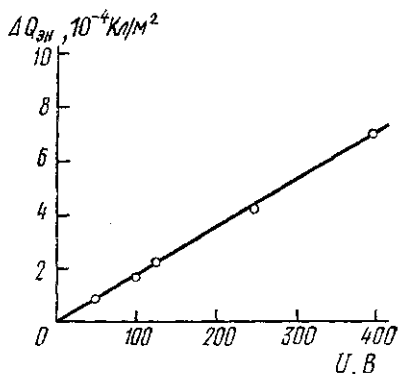


Рис. 2. Зависимость ЭН от амплитуды переменного напряжения

Кинетические кривые ЭН представлены на рис. 1. Видно (рис. 1, кривая 1), что адсорбция паров H_2O при давлениях порядка 10^{-1} Тор и выше приводит к появлению положительного заряда поверхности Ge ($Q_{ЭН}$), что находится в согласии с работами [1-5]. При этом величина накопленного заряда $Q_{ЭН}$ зависит от амплитуды переменного напряжения (рис. 2). В отличие от H_2O в парах NH_3 ЭН отсутствовал. Увеличение давления паров NH_3 до 30-40 Тор также не приводило к появлению ЭН.

Эксперименты с амплитудной модуляцией переменного напряжения (наложение на переменное напряжение постоянных напряжений разного знака) показали, что в том случае, когда поверхность Ge обогащалась неравновесными дырками («-» на полевом электроде), величина ЭН существенно возрастает (рис. 1, кривая 2). В то же время при обогащении поверхности неравновесными электронами («+» на полевом электроде) ЭН практически отсутствует (рис. 1, кривая 3). Это полностью согласуется с работами [3, 4], в которых ЭН исследовался с помощью импульсных полей.

Приведенные выше данные заставляют пересмотреть предложенный в работах [3-5] механизм ЭН. Против туннельного механизма [4]

свидетельствует тот факт, что при одинаковых эффективных уровнях МС, создаваемых молекулами H_2O и NH_3 [6], вероятности туннелирования с них в зону проводимости Ge будут совпадать. В таком случае ЭН должен был бы проявляться и в парах NH_3 . Если, как предполагают авторы [1, 2, 5], за ЭН ответственны стимулированные электрическим полем процессы адсорбции и десорбции, то они также должны мало различаться при адсорбции H_2O и NH_3 , поскольку теплота адсорбции этих молекул и изменение электрофизических параметров поверхности Ge при адсорбции близки [7].

В соответствии с развиваемым нами протонным механизмом нейтрализации поверхностных состояний [8] мы полагаем, что ЭН в парах H_2O обусловлен накоплением протонов, образующихся при диссоциации молекул H_2O , адсорбированных на координационно-ненасыщенных поверхностных атомах Ge. В этом случае молекулы H_2O образуют донорно-акцепторные (ДА) связи с поверхностными координационно-ненасыщенными атомами Ge. Захват дырок на такие ДА-комплексы

приводит к диссоциации H_2O : $Ge: O \begin{matrix} \nearrow H \\ \searrow H \end{matrix} + p \rightarrow Ge-OH + H^+$, где

$Ge: O \begin{matrix} \nearrow H \\ \searrow H \end{matrix}$ — ДА-комплекс. В случае NH_3 подобный механизм образования протонов маловероятен, поскольку константа диссоциации этих молекул на 5—6 порядков ниже, чем у H_2O [9]. Прямое доказательство участия дырок в диссоциации H_2O следует из роста $Q_{ЭН}$ при положительной модуляции переменного напряжения (рис. 1, кривая 2).

В целом величина ЭН будет определяться двумя процессами: темпом генерации протонов и их последующей рекомбинацией с электронами с образованием нейтрального атомарного или молекулярного водорода. Преобладание темпа генерации над темпом рекомбинации приводит к накоплению положительного заряда (ЭН). Темп генерации зависит от уровня инжекции неравновесных дырок. Последнее объясняет зависимость ЭН от поля (рис. 2).

Авторы выражают глубокую благодарность В. Ф. Киселеву за ценные замечания при интерпретации результатов работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ржанов А. В., Новотоцкий-Власов Ю. Ф., Неизвестный Н. Г. Исследование эффекта поля и поверхностной рекомбинации в образцах германия.— ЖТФ, 1975, 27, 2440—2450.
2. Ржанов А. В., Павлов Н. М., Селезнева М. А. Исследование энергетических положений и эффективных сечений захвата поверхностных рекомбинационных уровней в германии.— ЖТФ, 1958, 28, 2645—2656.
3. Dogda G. Internal field emission on germanium surface at a.c. field effect.— Phys. Stat. Sol., 1963, 3, 1318—1332.
4. Dogda G. Observation of slow states on germanium surface by tunneling at d-c field effect.— Phys. Stat. Sol., 1964, 5, 107—115.
5. Ржанов А. В. Электронные процессы на поверхности полупроводников. М., 1971, 332 с.
6. Козлов С. Н., Новотоцкий-Власов Ю. Ф., Киселев В. Ф. Об эффективных параметрах медленных состояний на поверхности германия.— Физ. и техн. полупроводников, 1972, 6, 2102—2106.
7. Киселев В. Ф., Козлов С. Н., Зарифьянц Ю. А. Проблемы физической химии поверхности полупроводников. М., 1978, 200 с.
8. Kiselev V. F., Prudnikov R. V., Matveev V. A. The proton mechanism of neutralization on surface recombination and fast capture on centers on germanium.— Phys. Stat. Solidi (a), 1978, 50, 739—744.
9. Гордон А., Форд Р. Спутник химика. М., 1976, 541 с.

Поступила в редакцию
3.11.78