

нов. На рис. 1 представлена интенсивность протонов в относительных единицах в зависимости от времени (данные усреднены за одну «машинную секунду»  $\approx 6,5$  мин) за период от 03 час 08 мин до 0,5 час 52 мин.

Наблюдается широтный ход интенсивности, так как спутник пересекал географические широты от 0 до  $64^\circ$ . С помощью данных [4] по геомагнитному образованию нами были получены интегральный спектр галактических космических лучей (до вспышки) и спектр солнечных протонов в момент времени, близкий к максимуму интенсивности. Спектр солнечных протонов имеет вид  $N \sim E^{-1,5}$  (рис. 2). Приведенные ошибки складываются из неточности в определении времени накопления  $2^{18}$  импуль-

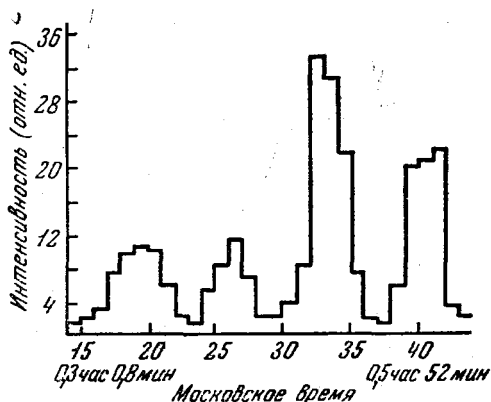


Рис. 1. Изменение со временем интенсивности протонов измеренное прибором СЭЗ-13 7 июля 1966 г.

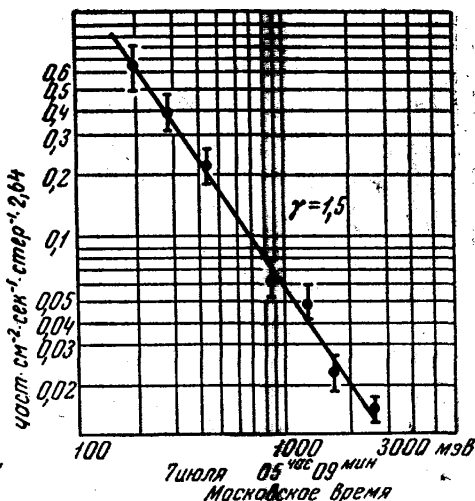


Рис. 2. Спектр солнечных протонов, рассчитанный по данным, усредненным за период с 4 час 50 мин до 5 час 30 мин московского времени

сов совпадения и ошибки ( $\pm 3\%$ ) в определении геометрического фактора. Возможное затенение прибора Землей не учитывалось. По предварительным данным, интенсивности галактических космических лучей с энергией  $>1000$  МэВ и с энергией  $>10000$  МэВ равны соответственно  $0,64$  част.  $\text{см}^{-2}\cdot\text{сек}^{-1}\cdot\text{стер}^{-1}$  и  $0,127$  част.  $\text{см}^{-2}\cdot\text{сек}^{-1}\cdot\text{стер}^{-1}$ . Приведенные величины интенсивностей могут быть несколько завышены, так как не учитывалось вторичное излучение, образующееся при поглощении высокоэнергичных галактических космических лучей в веществе спутника.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Dj Heristchi et al. Sparmo Bulletin, No. 4, desembre, 1966.
2. Баяревич В. В., Чарахчьян А. Н. Препринт ФИАН № 100, 1967.
3. Кахидзе Г. П. Реферат канд. диссертации. НИИЯФ МГУ, 1968.
4. Shea M. Q., Smart D. F. Me Call. Canadian Journal of Physics, 46, 1098, 1968.

Поступила в редакцию  
25.9 1969 г.

НИИЯФ

УДК 537.533.35

### Н. Н. СЕДОВ, В. Г. ДЮКОВ, А. Н. НЕВЗОРОВ ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ МИКРОПОЛЕЙ В ЭМИССИОННОМ МИКРОСКОПЕ

Эмиссионный электронный микроскоп удобен для изучения электрических и магнитных микрополей на поверхностях твердых тел и, в частности, для исследования полупроводников. С его помощью исследовались поля  $p$ - $n$ -переходов в диодах различных типов [1, 2], на солнечных батареях и т. д. Наблюдались эффекты расширения  $p$ - $n$ -переходов, обнаружена связь между степенью неоднородностей  $p$ - $n$ -перехода и

качеством прибора [1], наблюдались поверхностные явления на полупроводниках, вызывающие нестабильности.

Существенное расширение возможностей эмиссионных электронных микроскопов связано с применением стробоскопической методики наблюдения [3]. Это позволяет наблюдать периодические быстропеременные процессы на поверхности полупроводников, причем разрешающая способность во времени получается порядка 10 нсек.

В эмиссионной микроскопии развиваются в последние годы количественные методы [4], позволяющие путем обработки картины контраста изображения (см. [4, 5, 6])

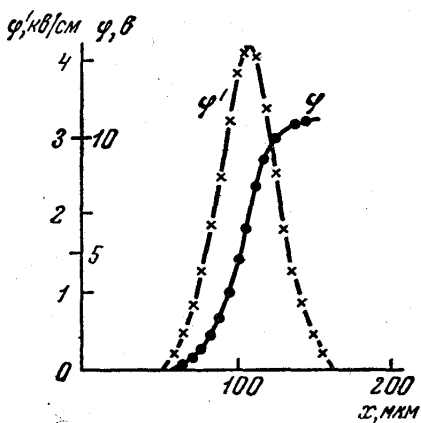
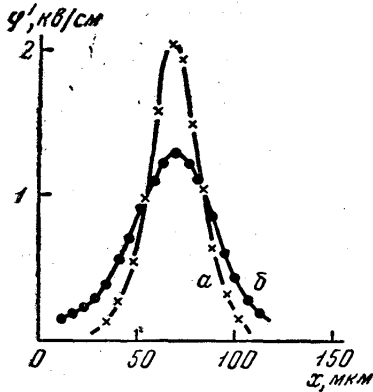


Рис. 2. Кривые распределения напряженности поля и потенциала в базе кремниевого диффузионного диода в момент подачи прямого импульса. Стробоскопический режим в эмиссионном микроскопе без диафрагмы ( $\tau_{\text{имп}}=40$  нсек)

производить и количественные измерения на наблюдаемых объектах.

Эти методы измерения в равной мере применимы к объектам, наблюдаемым как в статическом режиме, так и в стробоскопическом. В последнем случае благодаря высокой разрешающей способности во времени появляется возможность измерять распределение переменных полей на поверхности объекта в любой момент времени.

Для измерения импульсных микрополей был использован стробоскопический эмиссионный микроскоп [3], в котором также имелись

Рис. 1. Сравнение кривых напряженности поля ( $\varphi'$ ) и потенциала ( $\varphi$ ) для кремниевого диода в статическом (а) и импульсном (б) режимах. Расчет полей производился по контрасту изображения при наличии апертурной диафрагмы

приспособления для автоматического считывания распределения плотности тока на экране [5]. Система измерения регистрировала при этом периодические вспышки сцинтиллятора за счет импульсной работы ионной пушки, освещающей образец. При усилении сигнала происходило его усреднение за время периода между импульсами, поскольку усилительный тракт не пропускал высоких частот, соответствующих периоду повторения строб-импульсов. Благодаря этому считывание сигнала распределения плотности тока при пилообразной развертке изображения во времени происходило так же, как и в статическом случае.

Оциллограммы распределения яркости изображения затем рассчитывались с помощью ЭЦВМ по формулам, приведенным в [5, 6].

Нами производились измерения распределения поля и потенциала в импульсном режиме на кремниевых диодах. Сдвигая освещающий строб-импульс относительно основного, подаваемого на образец, можно производить измерения в различные моменты времени.

На рис. 1 приводятся полученные описанным способом кривые распределения поля и потенциала на  $p-n$ -переходе кремниевого диффузионного диода в статическом режиме (а) и в импульсном (б). Во втором случае на диод подавались прямоугольные импульсы в обратном направлении. В обоих случаях приложенное к диоду напряжение составляло 6 в. Измерение в импульсном режиме производилось через 40 нсек после подачи импульса на образец.

Кривые напряженности поля в обоих случаях имеют симметричный характер. Однако, как видно из рис. 1, распределение поля в импульсном режиме отличается от статического. Такого рода явления наблюдались нами для германиевых и для кремниевых образцов. Изменяя задержку строб-импульса, можно проследить изменение картины распределения поля со временем. В первые моменты после подачи импульса на образец распределение поля сильно отличается от статического. С течением времени оно приближается к статическому, причем время установления может быть весьма разнообразным. Нами наблюдались процессы установления, длящиеся всего несколько десятков наносекунд, но в отдельных случаях время это было и во много раз больше.

Эти эффекты объясняются релаксационными процессами на поверхности, связанными с быстрыми и медленными поверхностными состояниями. Такие явления могут иметь важное значение для работы полупроводниковых приборов.

Нами измерялось также распределение поля и потенциала при подаче импульсного напряжения на диод в прямом направлении [3] (рис. 2). Измерение производилось в эмиссионном микроскопе без диафрагмы, и расчет поля производился с использованием соответствующей теории [6]. Из рисунка видно, что кривая напряженности поля плавно нарастает и достигает максимума в центре базы диода. Подобное распределение поля обусловлено распределением примесей в базе диода.

Производить подобные измерения в импульсном режиме, по-видимому, невозможно другими способами. Действительно, обычно применяемые для измерений на  $p-n$ -переходах методы [7], в том числе метод зондовых и емкостных измерений, обладают значительно большей инерционностью и применяются в основном для статических измерений.

Авторы выражают благодарность проф. Г. В. Спиваку за обсуждение результатов работы, а также М. Н. Переднему, принимавшему участие в работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Седов Н. Н., Спивак Г. В., Иванов Р. Д. «Изв. АН СССР», сер. физич., **26**, 1332, 1962.
2. Rehme H. Proc. IV. Eur. Reg. Conf. El. Micr., т. I, Rome, 1968, p. 121.
3. Спивак Г. В., Дюков В. Г., Седов Н. Н., Невзоров А. Н. «Изв. АН СССР», сер. физич., **30**, 742—749, 1966.
4. Седов Н. Н. «Изв. АН СССР», сер. физич., **32**, 1175, 1968.
5. Седов Н. Н., Спивак Г. В., Дюков В. Г., Невзоров А. Н. «Изв. АН СССР», сер. физич., **32**, 978, 1968.
6. Седов Н. Н., Спивак Г. В., Дюков В. Г., Гвоздовер Р. С. «Изв. АН СССР», сер. физич., **32**, 1140, 1968.
7. Красик Б. А., Грибов А. И. Полупроводники германий и кремний. М., Металлургиздат, 1961.

Поступила в редакцию  
20.6 1969 г.

Кафедра  
электроники

УДК 541.11

В. К. СЕМЕНЧЕНКО, В. В. ГАЛЫЦЕВ

### СТАТИСТИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ И МАГНИТНЫМИ ДИПОЛЯМИ

Еще в 1916 г. С. А. Богуславский высказал предположение [1] о возможности существования веществ, молекулы которых имеют одновременно электрические и магнитные диполи.

В связи с созданием в последнее время нового класса веществ, сегнетомагнетиков [2], сочетающих в себе в некоторых температурных интервалах электрическую и магнитную структуры, связанные между собой, выясним статистический смысл диэлектрической, магнитной и магнитно-электрической проницаемостей, а также определим влияние магнитного поля на диэлектрическую проницаемость и электрического поля на магнитную проницаемость в случае идеального дипольного газа, являющегося в нулевом приближении (т. е. без учета внутренних полей) аналогом сегнетомагнетиков выше точки или точек Кюри.