

- [1] *Celler G. K., Robinson McD., Trimble L. E., Lishner D. J.* // Appl. Phys. Lett. 1983. Vol. 43. N 9. P. 868—870.
- [2] *Heinig K.-H.* // Intern. Conf. on Energy Pulse Modification of Semiconductors and Related Materials. Dresden, 1984. P. 265—279.
- [3] *Вейко В. П., Имас Я. А., Либенсон М. Н.* и др. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1985. Т. 49. № 6. С. 1236—1239.
- [4] *Верзоданов С. П., Герасименко Н. Н., Мясников А. М.* // Поверхность. Физика, химия, механика. 1988. № 5. С. 69—73.
- [5] *Фаттахов Я. В., Хайбуллин И. Б., Баязитов Р. М., Мисурев Е. М.* // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. Вып. 17. С. 1474—1478.
- [6] *Рэйзи К.* Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. М.: Мир, 1984. 475 с.
- [7] *Пилипенко В. А., Попов Ю. П.* // Электрон. пром-сть. 1988. № 5. С. 3—9.
- [8] Таблицы физических величин / Под ред. И. К. Кыкоина. М.: Атомиздат, 1976. 1006 с.

†\* Воронежский  
политехнический институт

Поступило в Редакцию  
31 декабря 1988 г.

06

Журнал технической физики, т. 59, в. 11, 1989

## ПОЛЕВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВЫСОТЫ БАРЬЕРА ШОТТКИ В КРИСТАЛЛАХ СИЛЛЕНИТОВ

А. И. Грачев

Появление ряда теоретических и экспериментальных работ позволило понять в общих чертах физические процессы, происходящие в кристаллах класса силленитов  $\text{Bi}_{12}\text{RO}_{20}$  ( $R=\text{Si}, \text{Ge}, \text{Ti}$ ), при их использовании в пространственно-временных модуляторах света (ПВМС) типа ПРИЗ. Однако детализация этих процессов еще далеко не закончена, что целиком относится к явлению роста тока через запорный контакт, происходящему в режиме записи на ПРИЗ. Поскольку рост тока носит обратимый характер, то его, очевидно, следует связать с зависимостью высоты барьера контакта от электрического поля. Известно [1], что появление указанной зависимости может быть обусловлено следующими причинами: влиянием сил изображения, влиянием промежуточного слоя, полевой или термополевой эмиссией, причем каждый из механизмов характеризуется своей зависимостью тока контакта  $J_{\text{к}}$  от напряжений обратного смещения  $V_{\text{к}}$ . На контакте кристаллов силленитов реализуется барьер типа Шоттки [2, 3], для которого  $J_{\text{к}} \sim \exp \beta V_{\text{к}}^n$ , где  $n=1/4, 1/2$  или 1 соответственно для перечисленных выше механизмов. Таким образом, причину роста  $J_{\text{к}}$  можно было бы выяснить, измерив вольт-амперную характеристику (ВАХ) контакта. К сожалению, для кристаллов силленитов ее прямое измерение практически трудноосуществимо, так как последовательно с нелинейным сопротивлением контакта  $R_{\text{к}}$  включено объемное сопротивление образца  $R_{06}$ , обычно достаточно высокоомное для того, чтобы определять величину тока, протекающего через образец, в широком интервале приложенных напряжений.

Тем не менее в настоящей работе в ряде случаев удалось однозначно ответить на вопрос о виде зависимости  $J_{\text{к}}(V_{\text{к}})$  путем обработки данных измерения стационарных ВАХ освещенных образцов.

Исследовались образцы монокристаллов  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  и  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ , выращенных методом Чохральского. Часть образцов дополнительно отжигалась в вакууме, что, как известно [4], приводит к росту темновой и фотопроводимости силленитов на 2-3 порядка.

Стационарные ВАХ измерялись в интервале приложенных напряжений  $V=2-600$  В при освещении образцов светом галогенной лампы через интерференционный светофильтр ( $\lambda=490$  нм). В ряде образцов ВАХ снимались при различных освещенностях, менявшихся в пределах  $10^{-4}-10^{-2}$  Вт/см<sup>2</sup>.

Наиболее сложным моментом при снятии ВАХ в данных кристаллах является вопрос об их стационарности, поскольку процесс установления стационарного тока в них носит долговременный характер, достигая в условиях малой освещенности несколько часов. В [2] было показано, что на конечном этапе установления тока в силленитах наблюдается экспоненциальная зависимость с постоянной времени  $\tau_0$ , зависящей от интенсивности падающего света.

Учитывая этот факт, за стационарное значение принималась величина, которой ток достигает за время  $\approx 3\tau_0$ . Повторные измерения ВАХ при использовании более длительного времени наблюдения подтвердили правильность выбранного критерия.

Характерный вид полученных ВАХ показан на рис. 1. Видно, что влияние нелинейного сопротивления контакта наиболее сильно выражено на начальном участке ВАХ. При увеличении  $V$  ток во все большей степени определяется  $R_{00}$ , что проявляется в асимптотическом стремлении ВАХ к прямой, соответствующей зависимости  $\lg J_{00} = \lg(V/R_{00})$ . Ясно, что при прочих равных условиях область ВАХ с преобладающим влиянием  $R_k$  будет тем шире, чем ниже значение  $R_{00}$ . Экспериментальным подтверждением этого является возросшая нелинейность ВАХ в отожженных образцах (рис. 1).

Факт асимптотического поведения ВАХ с ростом  $V$  был положен в основу обработки экспериментальных данных. Для этого в качестве первого приближения к истинной прямой

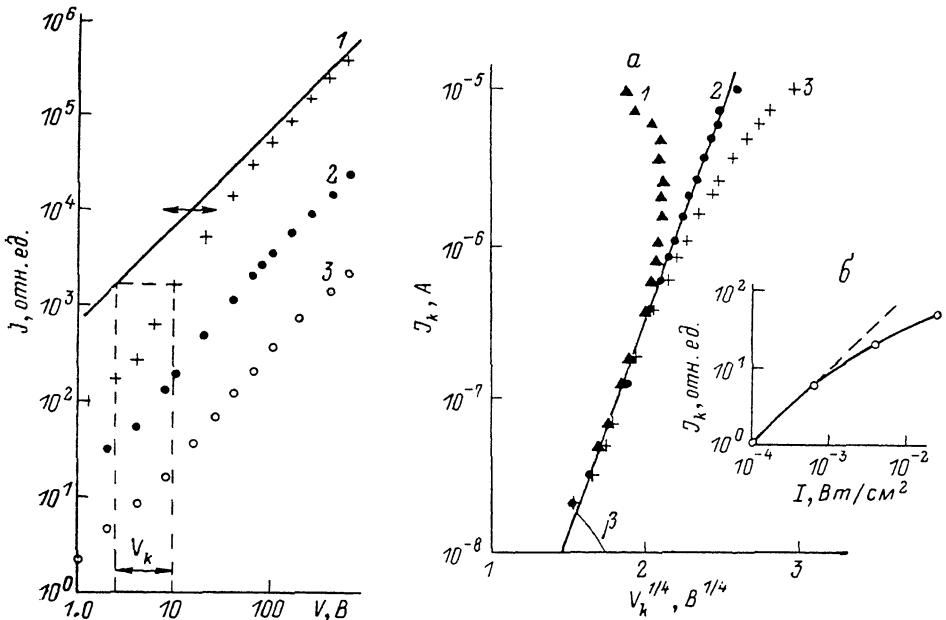


Рис. 1. ВАХ образцов  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ .

1, 2 — отожженный в вакууме и исходный образцы толщиной 0.3 мм; 3 — образец толщиной 2 мм без отжига.

Рис. 2. ВАХ контакта образца 1 на рис. 1 (а) и зависимость  $J_k$  образца 1 от интенсивности падающего света (б).

$\lg(V/R_{00})$  выбиралась прямая, проходящая через точку, соответствующую току при  $V=600$  В, под углом  $45^\circ$  к осям координат. На ее основе строилась зависимость  $\lg J_k(V_k^{1/4})$  (рис. 2, 1). Уже на этом этапе обработки выяснилось, что в образцах с хорошо выраженной нелинейностью ВАХ наблюдается достаточно протяженный участок линейной зависимости  $\lg J_k \sim V_k^{1/4}$  (обычно в области  $V \sim 10-100$  В) (рис. 2, 1). Дальнейшая обработка ВАХ путем сдвига начальной прямой в сторону оси ординат сначала увеличивает протяженность линейного участка (рис. 2, 2), а затем ведет к появлению все возрастающего сублинейного участка (рис. 2, 3), не отвечающего, по-видимому, физически реальной ситуации. Результаты, аналогичные показанным, были получены для всех исследовавшихся отожженных образцов, что позволяет считать установленным для них факт понижения высоты барьера контакта за счет сил зеркального изображения.

Что касается образцов кристаллов силленитов, не подвергавшихся дополнительному отжигу, то их ВАХ далеко не всегда позволяют с достаточной степенью достоверности определить точный вид зависимости  $J_k(V_k)$  ввиду значительного разброса получаемых описанным методом точек зависимости.

Полученные результаты позволяют экспериментально определить значение коэффициента  $\beta$ , величина которого может быть оценена на основе известного выражения [1] для снижения высоты барьера под действием сил изображения

$$\beta = \frac{q^2}{k_B T} \left[ \frac{N_T}{8\pi^2 (\epsilon'_k)^2 \epsilon_k q} \right]^{1/4}.$$

Здесь  $q$  — заряд электрона;  $k_B$  — постоянная Больцмана;  $T$  — температура;  $\epsilon_k$  и  $\epsilon'_k$  — статическая и высокочастотная диэлектрическая проницаемости кристалла;  $N_T$  — концентрация глубоких центров, определяющих пространственный заряд обедненной области. Экспериментальные значения  $\beta$  лежат в интервале от 4.8 до 6.4 В<sup>-1/4</sup>, что достаточно хорошо согласуется с оценкой для кристаллов  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$   $\beta=5$  В<sup>-1/4</sup>, полученной при следующих значениях параметров:  $N_T=7.5 \cdot 10^{24}$  м<sup>-3</sup> [2],  $\epsilon'_k=6\epsilon_0$  [5],  $\epsilon_k=56\epsilon_0$  ( $\epsilon_0$  — диэлектрическая проницаемость вакуума).

Интересный результат дала обработка ВАХ, снятых при различных освещенностях образцов. Оказалось, что  $J_{\Sigma}$  растет с увеличением интенсивности падающего света. При этом наблюдается близкая к линейной зависимость  $J_{\Sigma}$  от интенсивности при малых освещенностях ( $\ll 10^{-3}$  Вт/см<sup>2</sup>), переходящая в сублинейную по мере роста интенсивности света (рис. 2, 6). Причину данного эффекта следует, по-видимому, искать в зависимости высоты барьера контакта от освещения, возникающей вследствие перезарядки поверхностных состояний, определяющих величину поверхностного изгиба зон в кристаллах силленитов [6]. Отметим здесь, что с точки зрения работы ПВМС ПРИЗ важным является вопрос о скорости перезарядки поверхностных состояний, который пока остается открытым.

В заключение отметим важность полученных результатов для дальнейшей оптимизации параметров ПВМС ПРИЗ, конечно, при учете возможных поправок на существенную нестационарность процессов переноса заряда в модуляторе в обычном рабочем режиме.

### Список литературы

- [1] Родерик Э. Х. Контакты металл—полупроводник. М.: Радио и связь, 1982.
- [2] Грачев А. И. // ФТТ. 1984. Т. 26. Вып. 1. С. 227—232.
- [3] Ильинский А. В., Астратов В. Н. // ФТТ. 1982. Т. 24. Вып. 1. С. 108—115.
- [4] Гудаев О. А., Гусев В. А., Детинченко В. А. и др. // Автометрия. 1981. № 5. С. 38—47.
- [5] Реза А. А., Сенулене Д. Б., Беляев В. А., Леонов Е. И. // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. Вып. 6. С. 465—468.
- [6] Грачев А. И., Красинькова М. В. // ЖТФ. 1983. Т. 53. Вып. 11. С. 2293—2295.

Физико-технический институт  
им. А. Ф. Иоффе АН СССР  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
15 июля 1987 г.  
В окончательной редакции  
10 июня 1988 г.

## О РЕГИСТРАЦИИ РАССЕЯННЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ИОНОВ

В. Н. Кирикашвили, О. Б. Фирсов

Насколько нам известно, в [1] впервые наблюдались молекулярные ионы  $\text{H}_2^+$  в рассеянном пучке  $\text{H}_2^+$  от поверхности на угол  $\pi/2$  при энергии 30 кэВ. Относительное количество их было, конечно, много меньше 1 % (по отношению к  $\text{H}^+$ ). В дальнейшем более подробное исследование проводилось в [2] по рассеянию, в котором исследовалась зависимость относительного количества неразвалившихся молекулярных ионов при рассеянии от поверхности кристалла, при скользящих углах падения и различных ориентациях кристалла. Теоретический расчет этого эффекта был проведен в [3] и более детально в [4].

В этих работах рассматривалось рассеяние молекулярных ионов типа  $A_2^+$  на атомах при киловольтных энергиях, считая, что атомы, на которых происходит рассеяние, закреплены (бесконечная масса), а для диссоциации молекулярного иона выполняется условие

$$E_{\text{от}} \geq E_{\text{дис}} \quad (1)$$

Будет показано, что на самом деле условие (1) недостаточно для регистрации всех диссоциированных молекулярных ионов, поскольку нужно учесть, что молекулярный ион при-