

ИНФРАНИЗКОЧАСТОТНЫЕ АВТОКОЛЕБАНИЯ ТОКА В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КРЕМНИИ

Доросинец В. А., Поклонский Н. А., Самуйлов В. А.,
Стельмах В. Ф.

В последнее время в полупроводниках широко исследуются неустойчивости, приводящие к возникновению периодических ^[1-3] и стохастических с малым числом степеней свободы ^[2-4] автоколебаний электрического тока. В настоящем сообщении приведены результаты экспериментального наблюдения таких процессов, впервые зарегистрированных в пленках поликристаллического кремния в сильных электрических полях.

Пленки поликристаллического кремния толщиной 0.4 мкм наращивались пиролитическим разложением моносилана при пониженном давлении на окисленных монокремниевых подложках. Легирование пленок проводилось имплантацией бора с энергией 30 кэВ флюенсами $1.3 \cdot 10^{12} \div 1.9 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. После отжига при температуре 1000 °С в течение 30 мин с целью равномерного перераспределения примеси по толщине пленки с помощью фотолитографии создавались планарные резистивные структуры с алюминиевыми контактами, нанесенными на подлегированные контактные p^+ -области. Средний размер зерен, по данным электронно-микроскопических исследований реплик, составил $\sim 110 \text{ нм}$.

Вольтамперные характеристики (ВАХ) пленок поликремния были линейны при напряженностях электрических полей $E < 10^3 \text{ В/см}$, а при $E \geq 10^3 \text{ В/см}$ наблюдался экспоненциальный рост тока при увеличении напряжения. В пленках с концентрацией атомов бора $N \leq 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ при записи ВАХ в статическом режиме в сильных электрических полях ($E \geq 10^4 \text{ В/см}$) при $T=300 \text{ К}$ обнаружены незатухающие колебания электрического тока с частотой от $5 \cdot 10^{-3}$ до $2 \cdot 10^{-1} \text{ Гц}$. Амплитуда колебаний достигала нескольких десятков процентов от стационарного значения. Из временной зависимости тока $I(t)$ посредством быстрого преобразования Фурье определялся спектр мощности сигнала $P(f)$ (рис. 1). Наблюдались как периодические колебания тока (рис. 1, а), так и квазипериодические (рис. 1, б). Для периодических колебаний спектр мощности тока состоит из основной частоты и кратных ей гармоник. Одновременно с регистрацией $I(t)$ на X- и Y-входы потенциометра через электрометрические усилители подавались сигналы с разнесенных вдоль образца боковых потенциальных контактов. Получавшаяся при этом фигура оказалась замкнутой и имела форму, близкую к эллиптической, что является прямым доказательством движения неоднородностей заряда ^[5] в пленке во внешнем электрическом поле. Увеличение напряженности электрического поля приводит к квазистохастичности, проявляющейся в искажении временной развертки тока, а также в возрастании основной частоты, появлении дополнительной и их линейных комбинаций (рис. 1, б).

Подобная генерация низкочастотных колебаний тока наблюдалась ранее экспериментально в компенсированных монокристаллах Ge и интерпретировалась в рамках модели волн пространственной перезарядки ловушек ^[5, 6]. Однако дополнительные эксперименты по исследованию зависимости частоты колебаний и электропроводности σ от напряжения, приложенного к образцу поликристаллического кремния (рис. 2), подсветки, а также анализ формы ВАХ не позволяют интерпретировать наблюдавшиеся нами процессы волнового движения заряда в рамках этой модели. Так, частота колебаний тока в исследованных нами образцах растет при увеличении приложенного напряжения и падает с повышением интенсивности подсветки. Для волн пространственной перезарядки ловушек в компенсированных полупроводниках характерны обратные зависимости.

Механизм возникновения колебаний электрического тока в пленках поликристаллического кремния можно понять из следующих соображений. Известно, что основными параметрами, характеризующими совокупность электро-

физических свойств пленок поликристаллического кремния, являются средний размер зерен L , плотность ловушечных состояний на границе зерен Q_i и концентрация легирующей примеси N . В промежуточной области легирования ($N \approx Q_i/L$) при увеличении N в пределах 1 порядка уменьшение удельного сопротивления ρ составляет 5—6 порядков, а холловская подвижность μ_H пред-

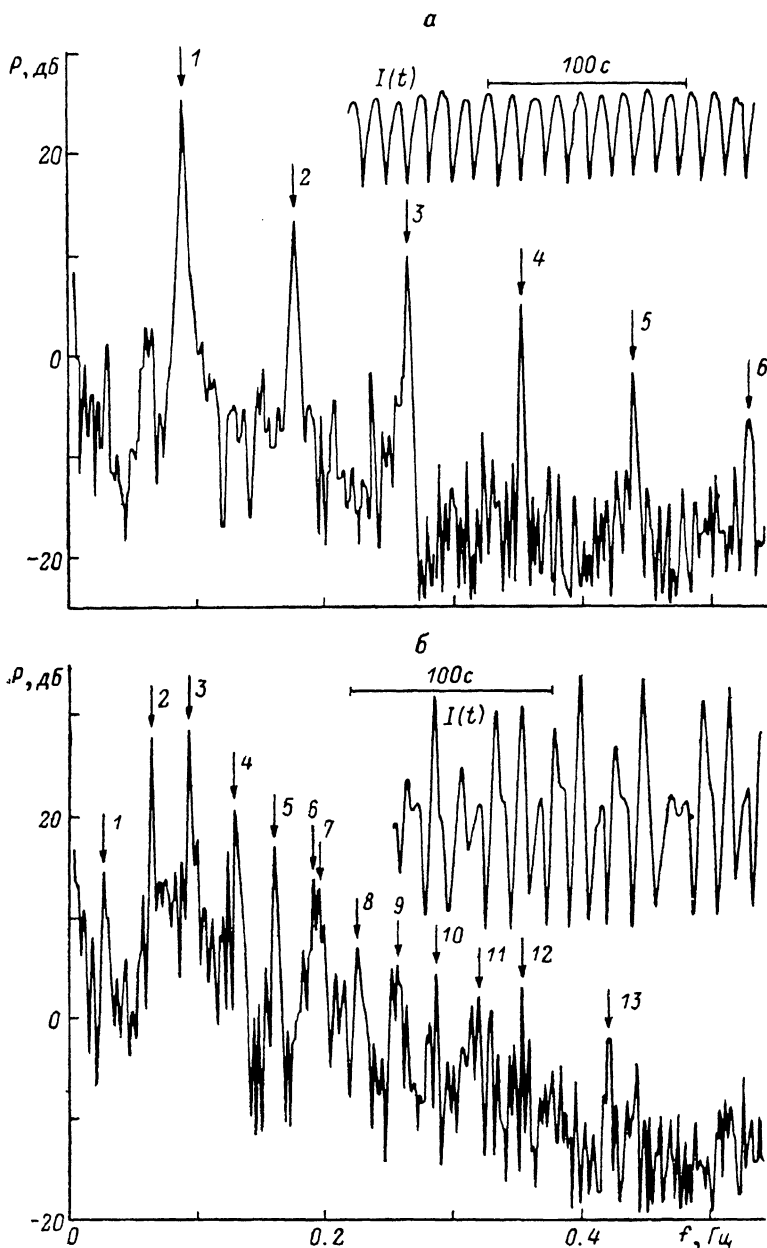


Рис. 1. Спектры мощности сигнала $P(f)$ и временные зависимости тока $I(t)$ при двух фиксированных значениях напряженности электрического поля.

$a - E_1, b - E_2; E_2 > E_1$. а) 1 - $f_1, 2 - 2f_1, 3 - 3f_1, 4 - 4f_1, 5 - 5f_1, 6 - 6f_1$; б) 1 - $f_1 - f_2, 2 - f_2, 3 - f_1, 4 - 2f_2, 5 - f_1 + f_2, 6 - 2f_1, 7 - 3f_2, 8 - 2f_2 + f_1, 9 - 2f_1 + f_2, 10 - 3f_1, 11 - 2f_1 + 2f_2, 12 - 3f_1 + f_2, 13 - 3f_1 + 2f_2$.

ставляет собой немонотонную функцию концентрации легирующей примеси [7]. Такая зависимость ρ и μ_H от N связывается с ростом высоты электрических потенциальных барьеров на границах зерен при $N < Q_i/L$ и их падением при $N > Q_i/L$. С другой стороны, высотой электрических потенциальных барьеров в поликремнии можно управлять с помощью не только степени легирования,

но и процессов генерации носителей заряда в объеме и на границах зерен, например светом или инжекцией из контактов [8], что может проявиться в существенном изменении электропроводности образца. Так, в пленках поликристаллического кремния экспериментально наблюдались эффекты переключения из высокоомного состояния в низкоомное [9, 10], объясняемые понижением высоты электрических потенциальных барьеров для основных носителей заряда на всем протяжении образца при пробое барьеров [9] либо в результате инжекции носителей заряда из контактов [10]. Если же глубина инжекции меньше

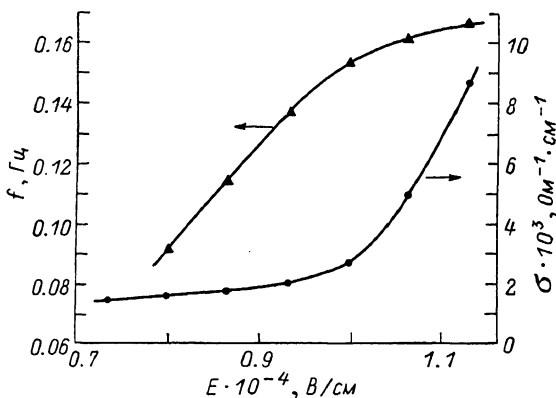


Рис. 2. Зависимость частоты колебаний тока f и дифференциальной удельной электропроводности σ от напряженности электрического поля E .

длины образца, при определенном соотношении параметров (напряжения, температуры, концентрации легирующей примеси, размеров зерен) возможно, как и в случае монокристаллических образцов, появление неустойчивостей [11]. В нашем случае наблюдается медленная неоднородная по длине образца перезарядка ловушек. Однако, в силу того что ловушки в поликристаллическом кремнии сконцентрированы на границах зерен, закон дисперсии для наблюдавшихся нами волн пространственной перезарядки барьеров отличается от закона дисперсии для волн пространственной перезарядки ловушек в монокристаллических компенсированных полупроводниках.

Л и т е р а т у р а

- [1] Голик Л. Л., Паксеев В. Е., Балкарей Ю. И., Елинсон М. И., Ржанов Ю. А., Якушин В. К. — ФТП, 1984, т. 18, в. 3, с. 502—507.
- [2] Голик Л. Л., Паксеев В. Е., Елинсон М. И., Якушин В. К. — ФТП, 1986, т. 20, в. 11, с. 2084—2091.
- [3] Бумялене С. Б., Пирагас К. А., Пожела Ю. К., Тамашявичюс А. В. — ФТП, 1986, т. 20, в. 7, с. 1190—1194.
- [4] Пирагас К., Пожела Ю., Тамашявичюс А., Ульбикас Ю. — ФТП, 1987, т. 21, в. 3, с. 545—548.
- [5] Жданова Н. Г., Каган М. С. — ФТП, 1981, т. 15, в. 1, с. 168—170.
- [6] Жданова Н. Г., Каган М. С., Калашников С. Г. — ФТП, 1983, т. 17, в. 10, с. 1852—1854.
- [7] Seto J. Y. W. — J. Appl. Phys., 1975, v. 46, N 12, p. 5247—5254.
- [8] Landsberg P. T., Abrahams M. S. — J. Appl. Phys., 1984, v. 55, N 12, p. 4284—4293.
- [9] Гезалов Б. А., Касимов Ф. Д., Ветхов В. А., Мимиконова В. М. — Письма ЖТФ, 1983, т. 9, в. 24, с. 1523—1526.
- [10] Lu C.-Y., Lu N. C.-C., Shin C.-C. — J. Electrochem. Soc., 1985, v. 132, N 5, p. 1193—1196.
- [11] Пожела Ю. К. Плазма и токовые неустойчивости в полупроводниках. М., 1977. 368 с.

Белорусский государственный
университет им. В. И. Ленина
Минск

Получено 17.08.1987
Принято к печати 5.11.1987