

УДК 621.315.592

## МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ, РАБОТОСПОСОБНЫЕ ПРИ КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Д. т. н. А. А. Дружинин, д. т. н. И. П. Островский, к. т. н. Ю. М. Ховерко, Р. М. Корецкий

Национальный университет «Львовская политехника»  
Украина, г. Львов  
druzh@polynet.lviv.ua

*Представлены результаты исследования электрофизических свойств поликристаллических пленок кремния в структурах кремний-на-изоляторе и нитевидных кристаллов Si в температурном диапазоне 4,2—70 К, полученные с помощью измерений методом импедансной спектроскопии в частотном диапазоне от 10 Гц до 250 кГц.*

*Ключевые слова: полукремний, нитевидный кристалл, КНИ-структура, диаграмма Найквиста.*

В современной технике, в частности в аэрокосмической, криоэлектронике, широко применяются высокочувствительные, быстродействующие устройства и компоненты интегральных схем, работоспособные в сложных условиях эксплуатации (резонаторы, фильтры, линии задержки и др.) [1, 2]. Однако необходимость работы в условиях глубокого охлаждения и связанные с этим технологические трудности резко ограничивают использование таких схем. Перспективной элементной базой для таких приборов является, в первую очередь, структуры кремний-на-изоляторе (КНИ), использование которых может обеспечить серийноспособную технологию изготовления микроэлектронных схем различного назначения [3]. С другой стороны, известно, что использование полупроводниковых нитевидных кристаллов (НК) позволяет разработать ряд устройств, область которых охватывает применение в криоэлектронике [4].

Таким образом, проблему создания компонентов электронных схем можно решить только путем проведения физических исследований и применением высокого уровня технологий создания их элементной базы. Целью настоящей работы является создание микроэлектронных компонентов интегральных схем при использовании КНИ-структур и кремниевых нитевидных кристаллов, которые работоспособны при криогенных температурах.

Чтобы оценить возможность использования образцов на основе КНИ-структур в качестве индуктивных или емкостных элементов как компонентов интегральных схем, был проведен комплекс исследований слоев поли-Si с разной концентрацией носителей заряда при криогенных температурах методом импедансной спектроскопии. Для исследований использовались тестовые элементы  $p$ -типа проводимости, легированные бором с концентрацией носителей заряда  $2,4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  и микрокристаллы кремния с удельным сопротивлением  $\rho_{300\text{K}} = 0,02 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ .

Известно [5], что в микроэлектронике широко используются слои поликристаллического кремния на поверхности окисленной кремниевой пластины. Такие слои формируются, как правило, химическим осаждением из газовой фазы. Поликристаллический материал состоит из отдельных монокристаллов или зерен, соединенных между собой так называемыми границами зерен, которые представляют собой разупорядоченные области толщиной порядка нескольких атомных слоев. Наличие границ зерен приводит к качественной разнице между электрическими свойствами поли- и монокристаллического материалов, которой нельзя пренебрегать. Отличие поликристаллического кремния от монокристаллического заключается в малых подвижностях электронов и дырок, а также времени жизни носителей заряда, что обусловлено наличием большого количества дефектов структуры, локализо-

ванных на межзеренных границах, которые являются центрами рассеяния и рекомбинации. Использование метода импедансной спектроскопии в ряде случаев позволяет разделить и определить вклады различных элементов микроструктуры в полную проводимость образца. Использование данного метода дает возможность получить дополнительную информацию об электрофизических свойствах поликристалла, качественно и количественно описать вклады в его проводимость размеров зерна, его поверхности и межзеренных границ. На рис. 1, в частности, представлены диаграмма Найквиста для образцов с концентрацией носителей заряда  $2,4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ .

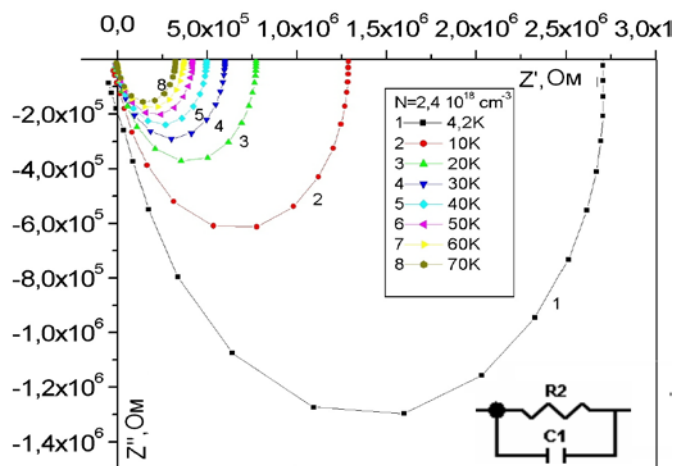


Рис. 1. Диаграмма Найквиста для нерекристаллизованных образцов поликремния в КНИ-структурах с концентрацией носителей  $2,4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$

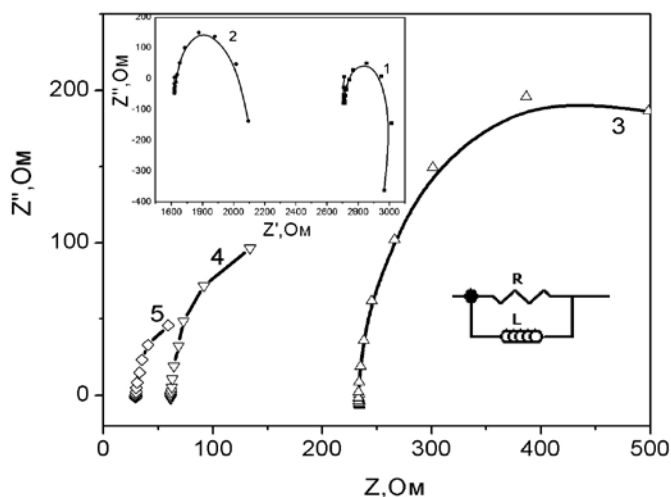


Рис. 2. Диаграмма Найквиста для НК Si ( $d = 30 \text{ мкм}$ ,  $\rho_{300\text{K}} = 0,02 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ) при различной температуре: 4,2 К (1), 10 К (2), 20 К (3), 30 К (4) и 40 К (5)

Анализ импедансных исследований поликристаллических образцов в КНИ-структурах указывает на наличие емкостного характера сопротивления на диаграммах Найквиста для нерекристаллизованных образцов с концентрацией  $2,4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . В этом случае эквивалентная схема проводимости состоит из параллельно соединенных конденсатора и резистора, в которой емкость замещает межзе-

ренных границы, а сопротивление — объем зерна [6]. Создание же полупроводниковых индуктивных элементов на основе нитевидных кристаллов Si *p*-типа проводимости может быть использовано в планарной технологии изготовления полупроводниковых аналогов катушек индуктивности, как элементов микросхем, которые изготавливаются в одном технологическом процессе. На рис. 2 приведены результаты исследования. Обнаруженный индуктивный характер диаграммы Найквиста в НК Si, вероятно, объясняется проявлением поверхностной проводимости при прохождении переменного тока через нитевидный кристалл, в результате чего происходит отставание тока относительно напряжения [7]. Используемые же приемы и методы микроэлектронной технологии создания интегральных схем позволят создать ряд элементов как дискретных, например емкость или индуктивность, так и комбинированных, в частности колебательные контуры, которые могут работать в условиях криогенных температур.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. C. Claeys, E. Simon. Perspectives of silicon-on-insulator technologies for cryogenic electronics // In: Perspectives, Science and Technologies for Novel Silicon on Insulator Devices / Ed. by P.L.F. Hemment et al. (eds.) — Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000.— P. 233—247.
2. T. Kamins. Polycrystalline Silicon for Integrated Circuits and Displays.— Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1998.
3. A. Druzhinin, I. Maryamova, I. Kogut, Yu. Pankov, Yu. Khoverko, T. Palewski. Polysilicon-on-insulator layers at cryogenic temperatures and high magnetic fields // Science and Technology of Semiconductor-On-Insulator Structures and Devices Operating in a Harsh Environment NATO Science Series II: Mathematics, Physics and Chemistry.— Vol. 185.— 2005.— P. 297–302. DOI 10.1007/1-4020-3013-4\_34
4. A.A. Druzhinin, I.P. Ostrovskii, Yu.M. Khoverko, N.S. Liakh-Kaguj, Iu.R. Kogut. Strain effect on magnetoresistance of SiGe solid solution whiskers at low temperatures // Materials Science in Semiconductor Processing.— 2011.— Vol. 14, N 1. — P. 18–22.
5. A. Druzhinin, Yu. Khoverko, I. Kogut, R. Koretskii Properties of low-dimensional polysilicon in SOI structures for low temperature sensors // Advanced Materials Research.— 2014.— Vol. 854.— P. 49–55.
6. Druzhinin, I. Ostrovskii, Yu. Khoverko, S. Nichkalo, Iu. Kogut. Impedance spectroscopy of polysilicon in SOI structures // Physica Status Solidi C11.— 2014.— N 1.— P.154—159.
7. A.Druzhinin, I. Ostrovskii, Yu. Khoverko, S. Nichkalo, R. Koretskyy, Iu. Kogut Variable-range hopping conductance in Si whiskers // Physica Status Solidi A, 1–5.— 2014. DOI 10.1002/ pssa.201300162.

---

A. A. Druzhinin, I. P. Ostrovskii, Yu. N. Khoverko, R.M. Koretskyy

#### **Microelectronic components of integrated circuit operable at cryogenic temperatures.**

The paper presents the research results on electrical properties of polycrystalline silicon films in silicon-on-insulator and Si whiskers in the temperature range of 4,2—70 K, obtained by measurements using impedance spectroscopy in the frequency range from 10 Hz to 250 kHz.

**Keywords:** *polysilicon, whisker, SOI-structure, Nyquist diagram.*

---