

## ИЗМЕНЕНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ НАНОНИТЕЙ Bi С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ В СИЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Леонид Конопко<sup>1,2</sup>, Албина Николаева<sup>1,2</sup>, Анна Цуркан<sup>1</sup>, Леонид Бурчаков<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Институт электронной инженерии и нанотехнологий им. Д. Гицу АН Молдовы  
<sup>2</sup>Международная Лаборатория сильных магнитных полей и низких температур,  
Вроцлав, Польша  
[l.konopko@nano.asm.md](mailto:l.konopko@nano.asm.md)

**Abstract.** *Work deals with the important and actual scientific problem of making of trigonal nanowires of Bi. We have developed the new technology for recrystallization of Bi nanowires in strong magnetic fields.*

**Ключевые слова:** *Bi, монокристаллические нанонити, перекристаллизация в магнитном поле*

### I. Введение

Обычно нанонити висмута при использовании различных технологических процессов получения вырастают с преимущественной ориентацией [1011] и [0112] вдоль оси нанонитей, что не очень выгодно для термоэлектрических применений. При ориентации нанонитей Bi вдоль оси  $C_3$  значительно возрастает термоэдс при  $T=300$  К [1] и значительно увеличивается термоэлектрическая эффективность в нанонитях Bi с диаметром  $d \leq 10$  нм [2]; изменяются условия размерного квантования [2,3], при которых увеличивается до 55 нм критический диаметр перехода полуметалл-полупроводник в нанонитях висмута; увеличивается глубина проникновения поверхностных состояний [4], приводящая к трехмерности приповерхностной области нанонити [5].

В работе [6] представлены результаты исследования роста монокристаллических нанонитей висмута ( $d= 40-200$  нм) из раствора sodium bismuthate ( $NaBiO_3 \cdot 2H_2O$ ) в этиленгликоле при температуре 210 °С в присутствии сильного магнитного поля,  $B_{max}=8$  Т. Рост нанонитей продолжался в течение 24 часов. Как оказалось, форма полученных наночастиц сильно зависела от величины магнитного поля. В магнитных полях в пределах 1 Т получались микросферы различного диаметра, в поле 4 Т уже начали появляться нанопроволоки, и, наконец, при росте в магнитном поле 8 Т 90% выхода составляли нанонити диаметром  $d= 40-200$  нм и длиной десятки  $\mu m$ . Согласно XRD ось  $C_3$  оказалась направленной вдоль оси нанонитей. Полученный в работе результат имеет очень большое значение, так как найден довольно простой способ получения нанонитей висмута с нужной для практического применения кристаллографической ориентацией.

### II. Методика эксперимента и обсуждение результатов

В Международной Лаборатории сильных магнитных полей и низких температур (Вроцлав, Польша) нами была предпринята попытка перекристаллизации нанонитей висмута в сильном продольном и поперечном магнитном поле до 14 Т. По техническим условиям работы оборудования (Bitter type magnet) время выдержки максимального магнитного поля при  $B=14$  Т было ограничено 5 мин, а магнитного поля  $B=10$  Т – 20 мин. В соответствии с

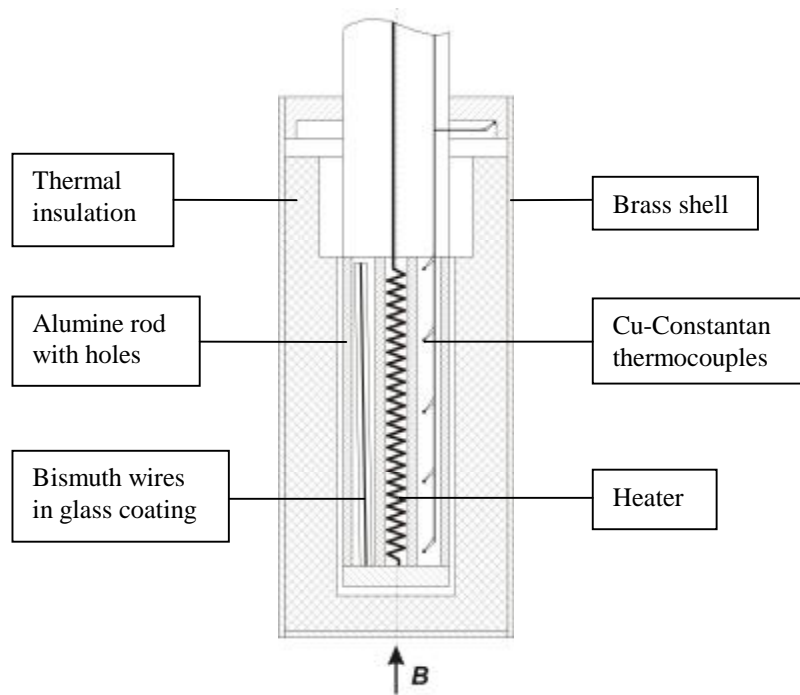


Рис. 1. Схематический чертеж нижней части вставки для перекристаллизации нанонитей Bi в сильном магнитном поле.

работами [7-9], существует большой интервал температур порядка 200 К, в пределах которого нанонити Bi находятся в переохлажденном состоянии. Поэтому мы вначале нагревали нанонити до температуры  $T=310\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что выше температуры плавления массивного Bi ( $T_{\text{melt}}=271.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), быстро охлаждали до  $\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  и далее охлаждали со скоростью  $3.3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . В интервале температур  $163\text{ }^{\circ}\text{C} - 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  образцы нанонитей висмута находились в сильном магнитном поле  $B=10\text{ T}$ . Мы полагаем, что температура затвердевания наших образцов была в пределах этого интервала температур. По результатам эксперимента, хотя ориентация нанонитей и была изменена, желаемых тригональных нанонитей Bi мы получили очень мало. Одна из возможных причин – быстрая скорость охлаждения нанонитей.

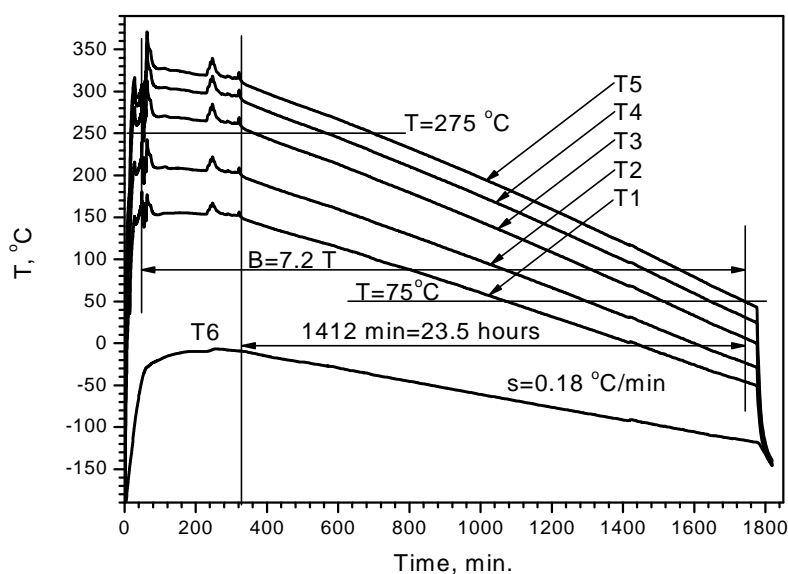


Рис. 2. Временная зависимость температур T1-T5 в различных точках образцов Bi нанонитей и температуры T6 корпуса вставки при перекристаллизации в магнитном

В Кишиневе, в ИЭИН АНМ нами была разработана и изготовлена специальная вставка для проведения рекристаллизации нанонитей висмута в сильном магнитном поле на установке “Model CF-500-8 Cryogen-Free High Field Superconducting Magnet System”, позволяющей получать магнитное поле до 8 Т и выдерживать его практически неограниченное время. При этом существовало жесткое ограничение на температуру внешнего корпуса вставки – она не должна была превышать 300 К. Разработанная вставка оснащена нагревателем, 6 термопарами Cu-Constantan и теплоизоляционным экраном. На рис. 1 схематично представлена нижняя часть вставки. Нагреватель, соединенный с устройством развертки тока, расплавляет нанонити Bi, а затем медленно понижает температуру образцов. 5 термопар Cu-Constantan, расположенных на разной высоте вблизи нанонитей, передают информацию о распределении температуры вдоль нанонитей. Шестая термопара Cu-Constantan контролирует температуру корпуса вставки, для понижения ее до приемлемых значений зона нагрева окружена слоем теплоизоляции. Для хорошего теплообмена между нагревателем и нанонитями процесс рекристаллизации проходил в атмосфере He при давлении 100 torr. Скорость охлаждения в магнитном поле была выбрана в пределах 0.2 – 0.5 °C/min. Весь технологический процесс контролировался компьютером по специально разработанной в среде Delphi программе с полной документацией всех параметров. На рис. 2 представлен график изменения во времени температуры в 5 точках вдоль образцов нанонитей. В результате проведенных экспериментов мы, к сожалению, не достигли намеченной цели: тригональных нанонитей Bi оказалось незначительное количество.

### III. Заключение

Разработана новая технология перекристаллизации нанонитей в стеклянной изоляции в сильном магнитном поле. В результате проведенных экспериментов не удалось получить большого количества тригональных нанонитей Bi. Вероятно, необходимо на порядок понизить скорость охлаждения нанонитей в магнитном поле и довести ее до значения в пределах 0.02 – 0.05 °C/min.

Работа выполнена при поддержке SCOPES гранта IZ73Z0\_127968 и гранта АНМ 11.836.05.05А.

### IV. Библиография

1. H. J. Goldsmid, in *Electronic Refrigeration* (Pion Limited, London, 1986).
2. Y. Lin, X. Sun, and M. Dresselhaus, *Phys. Rev. B* **62**, 4610 (2000).
3. Z. Zhang, X. Sun, M. Dresselhaus, J. Ying, and J. Heremans, *Phys. Rev. B* **61**, 4850 (2000).
4. P. Hofmann, *Prog. Surf. Sci.* **81**, 191 (2006).
5. T. Huber, A. Nikolaeva, L. Konopko, and M. Graf, *Phys. Rev. B* **79**, 201304(R) (2009).
6. Y. Xu, Z. Ren, W. Ren, G. Cao, K. Deng, and Y. Zhong, *Nanotechnology* **19**, 115602 (2008).
7. E. Haro-Poniatowski, R. Serna, A. Suarez-Garcia and C. Afonso *Nanotechnology* **16**, 3142 (2005).
8. E. Olson, M. Efremov, M. Zhang, Z. Zhang, and L. Allen, *J. Appl. Phys.* **97**, 034304 (2005).
9. E. Haro-Poniatowski, R. Serna, M. Jimenez de Castro, A. Suarez-Garcia, C. Afonso, and I. Vickridge, *Nanotechnology* **19**, 485708 (2008).