

Гистерезис вольтамперных характеристик пленочных структур $g-C_3N_4$

В.Т. Фам, С.Е. Максимов

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Нами сформированы пленочные структуры на основе графитоподобного нитрида углерода ($g-C_3N_4$), на которых измеренные вольтамперные характеристики демонстрируют гистерезис, типичный для мемристорного эффекта. Они состоят из трех частей – рис. 1: кремниевая подложка (Si), активный слой $g-C_3N_4$ и верхний индиевый (In) электрод – In/ $g-C_3N_4$ /Si. В качестве подложек использованы пластины монокристаллического (111) кремния n -тапа проводимости с удельным сопротивлением 0,01 Ом.см (легированного сурьмой). Пленку $g-C_3N_4$ формировали на кремниевой подложке методом скоростного химического осаждения [1] при температуре 575 °С в течение 5 мин. Толщина пленки составляла порядка 700 нм. Индиевые контакты наносили на пленку и на подложку и вжигали на воздухе при 150 °С. Контакты имели круглую форму диаметром 1–2 мм, высотой 170–200 мкм. Расстояние между ними составляет 15–20 мм.



Рис. 1. Схема исследования ВАХ структуры In/ $g-C_3N_4$ /Si

На экспериментальных структурах In/ $g-C_3N_4$ /Si измеряли вольтамперные характеристики (ВАХ) при комнатной температуре и при 80 °С в диапазоне напряжений от –10 до +10 В, используя SMU Keithley 2450. При этом для контроля качества контактов регистрировали ВАХ между двумя In-контактами на Si (рис.1а), а для оценки свойств самой пленки ВАХ регистрировали между In-контактом на $g-C_3N_4$ и In-контактом на Si (рис.1б).

На рис. 2 приведены контрольная ВАХ, снятая при пропускании тока через Si подложку с In-контактами, и ВАХ структуры In/ $g-C_3N_4$ /Si. Стрелка на рис. 2б обозначают направление изменения приложенного напряжения в процессе измерений.

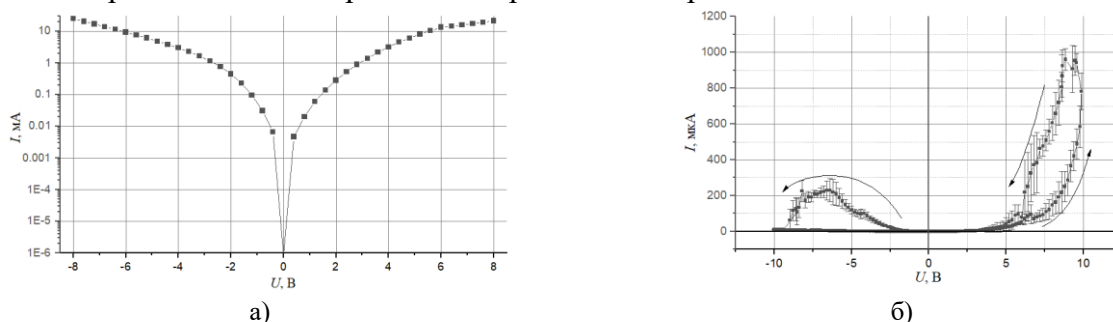


Рис. 2. ВАХ In-контактов к n -Si (а) и пленочной структуры In/ $g-C_3N_4$ /Si (б), $T = 18$ °С

Сравнение ВАХ контактов и экспериментальной структуры обнаруживает два существенных отличия. Во-первых, контакты имеют симметричную ВАХ, а для экспериментальной структуры ВАХ и асимметричны. Во-вторых, величины токов, протекающих только через контакты и подложку примерно на порядок больше токов через структуру In/ $g-C_3N_4$ /Si при одинаковых приложенных напряжениях. В-третьих, ВАХ структуры In/ $g-C_3N_4$ /Si имеет гистерезис, типично наблюдаемый в мемристорных структурах

[2–4]. Симметричная контрольная ВАХ указывает на аналогичность контактов и одинаковую концентрацию каналов проводимости от каждого контакта к подложке. Асимметричная ВАХ экспериментальной структуры и разница между величиной тока при одинаковых приложенных напряжениях указывает на то, что структура In/g-C₃N₄/Si имеет более высокое сопротивление и различные электрические свойства. Это может быть обусловлено низкой проводимостью g-C₃N₄, что приводит к пропусканию большей части тока через подложку.

На рис. 3 приведены ВАХ структуры, измененные при комнатной температуре и при повышении температуры до 80 °С. Обращает внимание разница в максимальных величинах тока на ВАХ на рис. 2б и 3. Она связана с разницей в площадях контактов, использованных для этих измерений.

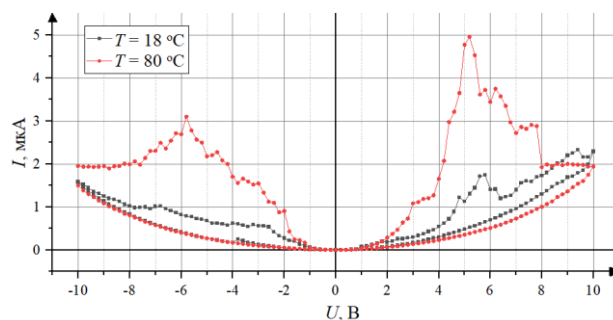


Рис.3. ВАХ пленочной структуры In/g-C₃N₄/Si, снятые при комнатной температуре и 80 °С при изменении приложенного напряжения от –10 В до +10 В

При повышенной температуре гистерезис ВАХ становится более выраженным. Влияние температуры на ВАХ структуры незначительно, если в процессе измерений приложенное напряжение изменять от 0 до +10 В или от 0 до –10 В. Однако при изменении приложенного напряжения от –10 В до +10 В возникает гистерезис, наиболее выраженный при повышенной температуре измерений, при котором величина протекающего через структуру тока возрастает в 1,3–3 раза.

Мемристорные свойства материала g-C₃N₄ обнаружены только при измерении ВАХ, начинающейся с достаточного значительного напряжения из-за определенного порога напряжения, при котором происходит его активация. Это говорит в пользу нитевого (filament) механизма его происхождения [2–4]. Дальнейшие исследования могут позволить уточнить эту гипотезу и разработать более эффективные способы управления мемристорным эффектом в g-C₃N₄, например, путем оптимизации параметров структуры этого и/или применением других материалов для создания контактов к нему.

В заключении важно отметить, что обнаруженный нами мемристорный эффект в пленочных структурах In/g-C₃N₄/Si, представляет интерес как с точки зрения последующего выяснения деталей механизма его возникновения и проявления, так и для практического использования в интегральных запоминающих устройствах.

Список источников

- [1] **Chubenko, E. B.** Rapid chemical vapor deposition of graphitic carbon nitride films / E. B. Chubenko, S. E. Maximov, C. D. Bui, V. T. Pham, V. E. Borisenko // *Materialia*. — 2023. — 28. — P. 101724.
- [2] **Pershin, Y. V.** Memory effects in complex materials and nanoscale systems / Y. V. Pershin, M. Di Ventra // *Advances in Physics*. — 2011. — Vol. 60. — No.2. — P. 145–227.
- [3] **Wang, X.** Influence of the voltage window on resistive switching memory characteristics based on g-C₃N₄ device / X. Wang et al. // *Ceramics International*. — 2018. — Vol. 44. — No 15. — P. 18108.
- [4] **Lim, E.W.** Conduction Mechanism of Valence Change Resistive Switching Memory: A Survey / E.W. Lim, R. Ismail // *Electronics*. — 2015. — Vol. 4. — P. 586–613.