

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

Шишонок Н.А., Ерош А.Ю., Леусенко А.А., Петруша И.А.*

ГНУ Институт физики твердого тела и полупроводников НАНБ
220007, Минск, П.Бровки,17

* – Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины
Украина, 04074, Киев, ул. Автозаводская, 2; e-mail: dialab@ism.kiev.ua

Введение. Современная тенденция к расширению областей применения приборов твердотельной электроники, стремление к эксплуатации электронной аппаратуры в более жестких условиях (повышение рабочих температур, химически агрессивные среды, радиация, повышенные требования к надежности и стабильности приборов) – все это ставит перед разработчиками задачи отыскания, исследования и управляемого создания новых полупроводниковых материалов, работоспособных в таких условиях. Кубический нитрид бора (сBN) является (наряду с алмазом) тем материалом, который в силу уникального набора физических свойств способен удовлетворить многим весьма жестким требованиям разработчиков. Однако, несмотря на высокую заинтересованность разработчиков, кубический нитрид бора до сих пор остается малоизученным материалом, что сдерживает его практическое использование.

Эксперимент. Среди методов, используемых для исследования состояния и поведения примесно-дефектной структуры в полупроводниковых материалах, важное место занимают емкостные методы исследования, позволяющие определить как природу энергетических уровней в запрещенной зоне полупроводника, так и их свойства. Изучение диэлектрических характеристик является как необходимым элементом его характеристики, очерчивающим области его эффективного использования, так и одним из эффективных методов исследования дефектной структуры материала.

В настоящей работе исследованы температурные зависимости диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь нелегированных поликристаллов кубического нитрида бора. Измерения выполнены без защитной атмосферы в области температур 300 – 900К. Оценены параметры центров релаксации, обсуждаются возможные механизмы диэлектрической релаксации в сBN.

Для настоящего исследования использовали нелегированные образцы, полученные методом прямого фазового превращения из пиролитического графитоподобного нитрида бора. Образцы синтезировали при давлении 7,5 ГПа и температурах 2000...2500°С. После синтеза образцам придавали форму диска диаметром 6 мм и толщиной порядка 1 мм, на плоские поверхности которых наносили серебряные электроды. Измерения проводили при помощи прибора Е8-4 на частоте 1000 Гц на линейных участках вольтамперных характеристик в режиме линейного нагрева образцов со скоростью 2 К/мин. Ряд измерений выполнен на частоте 50 кГц с использованием измерителя добротности ВМ-560.

Для исследования отбирали образцы, которые различались между собой величиной электропроводности (от 10^{-8} до 10^{-13} Ом⁻¹см⁻¹) и размером кристаллитов, образующих поликристалл (от 1 до ~ 80...100 мкм).

Результаты. Типичные температурные зависимости относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь образцов с различной величиной зерна приведены на рис.1. Видно, что в исследованной области температур диэлектрическая проницаемость возрастает с ростом температуры, что характерно для дипольно-релаксационного характера поляризации. Величина диэлектрических потерь также растет с

температурой, однако зависимости $\text{tg } \delta (T)$ носят немонотонный характер, на них наблюдаются максимумы при температурах ≈ 390 и 610K , при которых на кривых $\epsilon(T)$ наблюдались перегибы. Положение указанных максимумов смещалось при изменении частоты, что свидетельствует об их релаксационной природе. Поскольку исследованные образцы отличались высокой чистотой и не содержали легирующих примесных элементов, появление пиков может быть связано с наибольшей вероятностью с собственными структурными дефектами материала. Учитывая низкую частоту проявления процессов, можно с большой степенью вероятности предполагать, что в состав таких дефектов могут входить точечные дефекты и их комплексы. Таким образом, можно считать, что в исследованном температурно-частотном интервале определяющим является вклад двух релаксационных механизмов. По формуле Верта [1] проведена оценка энергий активации процессов, ответственных за появление пиков; рассчитанные величины представлены в таблице 1.

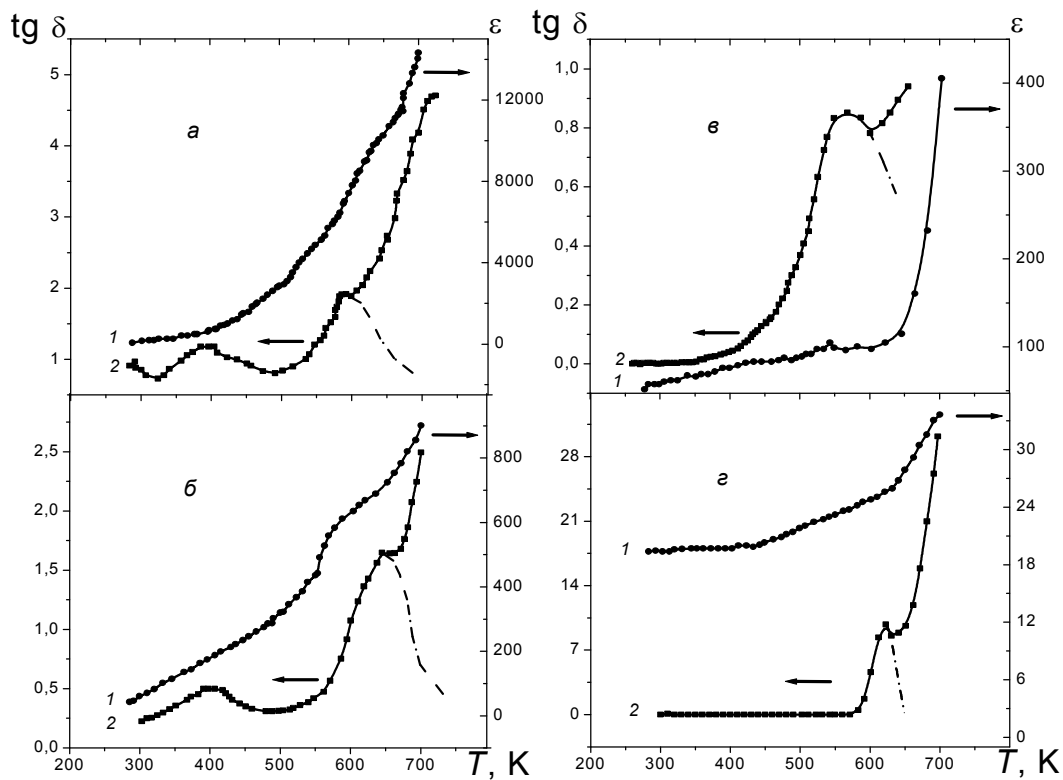


Рис.1. Температурные зависимости относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь поликристаллов sBN:
 а – образец №1, б – №2, в – №3, г – №4.

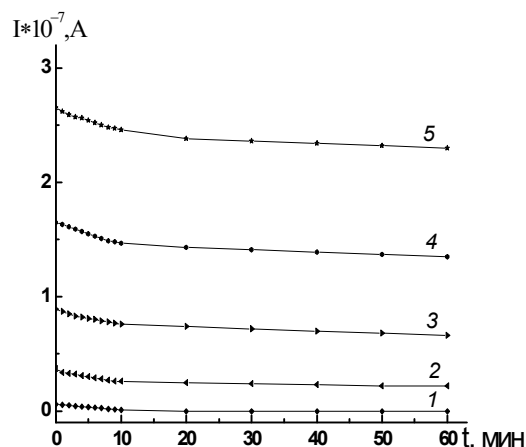


Рис. 2. Зависимости тока от времени в нелегированном образце cBN при различных величинах приложенного электрического поля: 1 – 285 В/см; 2 – 430 В/см; 3 – 570 В/см; 4 – 715 В/см; 5 – 850 В/см.

Для релаксационного механизма поляризации характерным признаком является непостоянство тока при фиксированном значении напряжения [2]. На рис.2 приведены зависимости тока через образец при различных напряженностях приложенного поля. Видно, что начальный ток постепенно спадает, достигая величины установившегося значения после 10...20 мин.

Таблица.1. Характеристики и релаксационные параметры образцов cBN.

№ образца	Размер зерна, мкм	σ , Ом ⁻¹ см ⁻¹	T ₁ , К	E ₁ , эВ	T ₂ , К	E ₂ , эВ
1	100	2·10 ⁻⁸	390	0,77	610±10	1,2±0,05
2	10	10 ⁻⁹	390	0,79	610±10	1,2±0,05
3	2 – 3	8·10 ⁻¹¹	-	-	610±10	1,2±0,05
4	~ 1	10 ⁻¹³	-	-	610±10	1,2±0,05

Обращает на себя внимание зависимость диэлектрических свойств кубического нитрида бора от размеров зерна исследуемых поликристаллических образцов. Мелкозернистые образцы с размером зерна до 1 мкм имеют наилучшие диэлектрические характеристики, а также являются наиболее высокоомными.

Работа выполнена в рамках совместного проекта БРФФИ – ГФФИ Министерства образования и науки Украины (Ф05К-073).

Литература

1. А.Новик, Б.Берри. Релаксационные явления в кристаллах. М.: Атомиздат, 1975. 472 с.
2. П.Т.Орешкин. Физика полупроводников и диэлектриков. М.: Высшая шк. 1977. 448 с.