

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 536.46: 535.3

ИЗЛУЧАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ МЕМБРАННЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ

© 2007 г. В. А. Карачинов, доктор техн. наук; В. И. Челпанов; Д. В. Карачинов, канд. техн. наук
НИИ промышленного телевидения “Растр”, г. Великий Новгород
E-mail: svyaz@novgorod.net

Экспериментальными методами исследована излучательная способность мембранных структур на основе карбида кремния политипа 6H при высоких температурах. Получена зависимость монохроматического коэффициента излучения SiC-мембран от их толщины.

Коды OCIS: 120.6820.

Поступила в редакцию 26.12.2006.

Профилированные полупроводниковые кристаллы в виде тонких пластинок представляют традиционный интерес для решения ряда задач в оптике и микросистемной технике [1, 2]. Так, различного рода мембранные гетероструктуры на основе широкозонных полупроводников, представителем которых является карбид кремния, успешно используются при создании высокотемпературных датчиков давления, температуры, быстродействующих тепловых микроизлучателей и др. [3]. С ростом температуры усиливается зависимость многих характеристик подобных структур, включая надежность, от условий теплообмена, в том числе от его лучистой составляющей, которая в значительной степени определяется излучательной способностью поверхности, а также пропусканием промежуточной среды [4]. Излучательная способность кристаллов и тонких слоев (в составе структур) карбида кремния исследовалась в ряде работ [3, 5, 6]. Было установлено, что в видимой и близкой ИК областях спектра относительно чистые кристаллы SiC (по свойствам близкие к диэлектрикам), как правило, характеризуются низкой излучательной способностью [5]. В то же время легирование SiC различными примесями и формирование дефектной структуры при различных технологических операциях способствуют тому, что коэффициент излучения может превышать 0,8 [3, 6].

Целью данной работы являлись изучение и количественная оценка монохроматического коэффициента излучения мембранных структур на основе карбида кремния при высоких температурах.

Тонкие самоподдерживающиеся SiC-мембраны диаметром $d = 1$ мм (рис. 1а) были изготовлены методами электроэрозионной технологии (по принци-

пу прошивания с объемным копированием формы электрода) и последующего химического травления в расплаве КОН [7]. В тестовых структурах реализовывалось одностороннее расположение полостей, поэтому внешняя поверхность мембран совпадала с противоположной базовой гранью кристалла. В качестве исходного материала использовались пластинчатые монокристаллы карбида кремния (базовые грани (0001)) толщиной $h = 450$ мкм, политипа 6H, легированные азотом с концентрацией некомпенсированных доноров $N_d - N_a = (1-3) \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, без видимых макродефектов.

Для количественной оценки коэффициента излучения на длине волны $\lambda = 0,65$ мкм использовалась известная методика, реализующая принцип непосредственного сопоставления яркостей SiC-мембран и излучателя сравнения, значение коэффициента излучения которого известно (метод пятна) [8, 9]. В экспериментах использовался платиновый излучатель сравнения, изготовленный термовакуумным напылением слоя платины толщиной примерно 0,2 мкм на гладкую протравленную грань (0001)C пластинчатого монокристалла 6H-SiC.

Экспериментальная установка содержала муфельную печь, монохроматический телевизионный пирометр яркостного типа (система “Пиротел-К”, $\lambda_3 = 0,6-0,72$ мкм [2]), персональную ЭВМ с программным обеспечением “Парус” [2], эталонный термодатчик (термопара ТХА с предельно допустимой температурой 1300 °С). При проведении экспериментов исследуемые кристаллы SiC с мембранными структурами и платиновый излучатель помещались в муфельную печь. Поскольку исследуемые образцы имели небольшие размеры, в условиях свободной конвекции в объеме

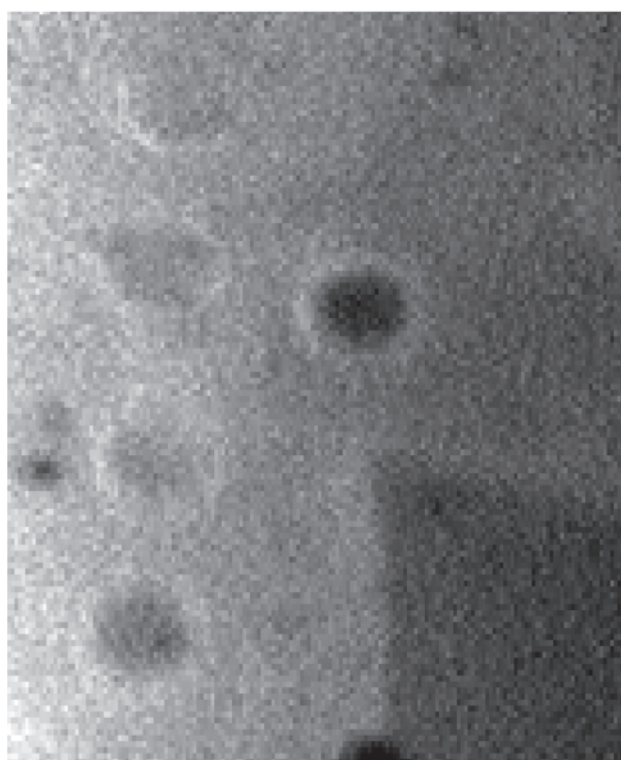
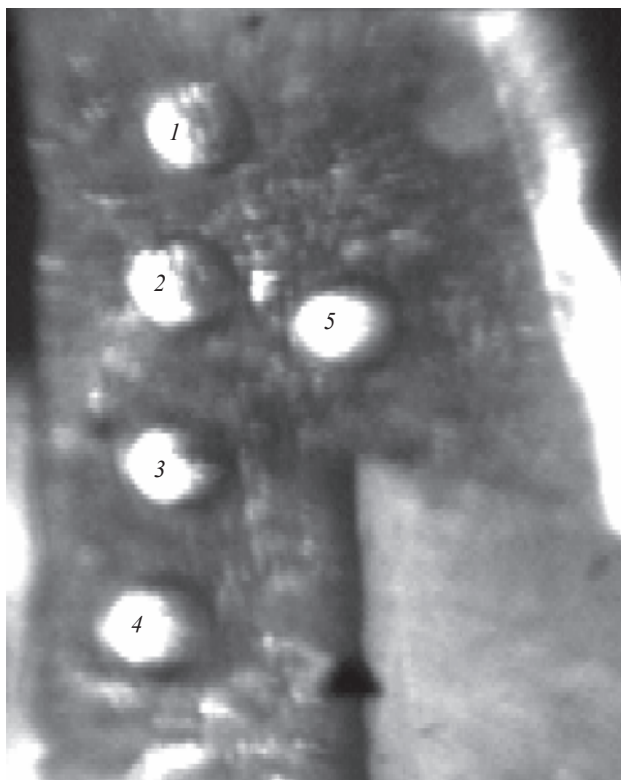


Рис. 1. Фотографии пластинчатого монокристалла 6H-SiC с мембранными структурами ($d = 1$ мм). а – изображение без нагрева, б – изображение при нагреве до $T = 1573$ К. Толщина мембран: 1 – 400, 2 – 300, 3 – 250, 4 – 200, 5 – 50 мкм.

печи их температурное поле можно было считать равномерным [4].

Экспериментальные исследования показали, что кристаллы SiC с мембранными структурами обла-

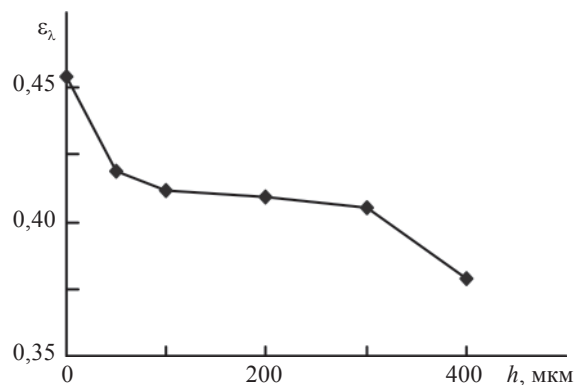


Рис. 2. Экспериментальная зависимость коэффициента излучения поверхности кристалла 6H-SiC от толщины мембраны при температуре 1523 К.

дают неравномерной яркостью свечения. При этом были выявлены две закономерности, которые достаточно хорошо видны на рис. 1б:

1) яркость поверхности SiC-мембран как на дне полости, так и с обратной стороны кристалла значительно меньше яркости периферийных областей;

2) яркость мембран зависит от их толщины. Такая тенденция сохранялась в температурном диапазоне исследований $T = 1000$ – 1300 °С.

При температуре $T = 1300$ °С значение коэффициента излучения в периферийной области составило примерно 0,450. На рис. 2 приведена экспериментальная зависимость монохроматического коэффициента излучения SiC-мембран от их толщины. Такой характер изменения ϵ_λ может быть объяснен исходя из нарушения закона Кирхгофа вследствие частичной прозрачности тонких слоев карбида кремния при высоких температурах [9]. Необходимо подчеркнуть, что в пределах ошибки измерения наблюдалась очень слабая зависимость ϵ_λ от температуры и, как показал анализ, отмеченная тенденция не только не противоречит справочным данным, но и не выходит за рамки общих представлений о температурной зависимости спектрального коэффициента излучения различных веществ, в том числе полупроводниковых кристаллов и диэлектриков [7, 9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Маслов В.Н. Выращивание профильных полупроводниковых монокристаллов. М.: Металлургия, 1977. 328 с.
2. Карачинов В.А., Ильин С.В., Карачинов Д.В. Пирометрические зонды на основе карбида кремния // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. В. 11. С. 1–4.

3. *Корляков А.В., Костромин С.В., Косырева М.М., Лучинин В.В., Мезенов А.В., Никитин И.В., Сазанов А.П., Сак А.В.* Инфракрасный микроизлучатель на основе пленочных структур “SiC на диэлектрике” // *Оптический журнал*. 2001. Т. 68. № 12. С. 109–114.
4. *Лыков А.В.* Теплообмен. М.: Энергия, 1978. 480 с.
5. Излучательные свойства твердых материалов. Справочник / Под ред. *А.И. Шейндлина*. М.: Энергия, 1974. 671 с.
6. *Таиров Ю.М., Цветков В.Ф.* Полупроводниковые соединения $A^{IV}B^{IV}$. Справочник по электротехническим материалам / Под ред. *Корицкого Ю.В., Пасынкова В.В., Тареева Б.М.* Л.: Энергоатомиздат, 1988. С. 446–472.
7. *Карачинов В.А.* Способ эрозионного копирования карбидокремниевых структур // Патент России. № 2189664. 2002.
8. *Карачинов В.А., Кузнецов А.В.* Учет излучательной способности нагретых тел в телевизионной пирометрии // Проектирование и технология электронных средств. 2006. В. 1. С. 23–27.
9. *Свет Д.Я.* Оптические методы измерения истинных температур. М.: Наука, 1982. 296 с.