

ОМИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ К SiC-6H *n*-ТИПА ПРОВОДИМОСТИ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК КАРБИДА КРЕМНИЯ, ОСАЖДЕННЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

*А.Н.Андреев, А.И.Бабанин,
А.Н.Кузнецов, М.Г.Растегаева,
Е.И.Теруков, В.Е.Челноков, М.П.Шеглов*

1. Введение

Важным этапом в процессе создания приборов на основе Si-6H является формирование омических контактов с достаточно малым контактным сопротивлением. С точки зрения минимального контактного сопротивления лучшие результаты дает использование приконтактных областей с высокой концентрацией нескомпенсированной примеси, получаемых при изготовлении приборов, например, методом ионной имплантации. Другим методом получения омических контактов является напыление одно- и многокомпонентных металлических пленок с их последующим высокотемпературным вжиганием. Омический контакт в этом случае образуется за счет формирования в процессе отжига переходной области между металлической пленкой и полупроводником. Состав и свойства переходной области зависят от выбранных металлов и режимов отжига. По такой технологии на подложках *n*-SiC-6H с $N_d - N_a = (3 - 5) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, выращенных методом Лэли, минимальные значения удельного контактного сопротивления $2 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ получены в [1,2]. Отметим, что вжигание металлической пленки при высоких температурах иногда достаточно сложно совместить с общей технологической схемой формирования приборов (удаление вожденного металла, защита фаски и т.п.). Кроме того, технология приготовления контактов и величина контактного сопротивления зависят от типа проводимости, ориентации кристалла и т.п.

В работе [3] реализована идея использования промежуточного слоя β -SiC между металлом и SiC-6H для изготовления омических контактов. После вжигания напыленной металлической пленки в случае *n*-SiC-6H величина контактного сопротивления составила $1.7 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$.

В данной работе авторы сообщают о создании омических контактов с удельным контактным сопротивлением $(1-4) \cdot 10^{-4}$ Ом·см² к подложкам с $N_d - N_a = (3-5) \cdot 10^{18}$ см⁻³ на основе тонких слоев карбида кремния, осажденных методом магнетронного распыления. Формирование омического контакта по этой технологии требует лишь отжига самого слоя без последующего вжигания напыленной металлической пленки. Контактное сопротивление и технология изготовления контактов были одинаковы для ориентаций (0001)Si и (0001)C.

2. Технология формирования контакта.

Контакты формировались на подложках SiC-6H, выращенных методом Лэли, с концентрацией нескомпенсированной донорной примеси $N_d - N_a \sim (3-5) \cdot 10^{18}$ см⁻³ с ориентацией (0001)Si и (0001)C. Для осаждения тонких пленок SiC использовались планарные магнетроны, особенностью которых являлась возможность осуществления реактивных процессов при малых распыляющих мощностях [4,5]. Магнетрон размещался в камере стандартной вакуумной установки, откачиваемой ротационным и диффузионным насосами. Начальный вакуум составлял 10^{-4} Па. Установка включала систему смешения и напуска газов, которая позволяла поддерживать давление газовой смеси в магнетронном реакторе от 10^{-1} до 10 Па. Характерная для процесса величина давления газовой смеси составляла 1 Па. Подложки размещались на держателе, который был снабжен нагревателем, позволявшим поддерживать их температуру в процессе осаждения слоя от 300 до 1300 К. Мишень, собранная из монокристаллов карбида кремния диаметром 5-7 мм, с концентрацией нескомпенсированной донорной примеси $\sim 5 \cdot 10^{18}$ см⁻³ распылялась в атмосфере аргона. Процесс давал возможность получать пленки карбида кремния с составом, близким к стехиометрическому. Для изготовления омических контактов использовались пленки толщиной 0.2 мкм. Для отжига полученных пленок карбида кремния применялась система электронно-лучевого нагрева в вакууме. Типичное время отжига составляло 300 с. На отожженные пленки методом электронно-лучевого испарения в вакууме наносился молибден. Напыленный металл не вжигался. Методом фотолитографии выделялись контактные площадки. Слой между контактными площадками удалялся методом плазмо-химического травления в SF₆ [6]. Маской при травлении служил алюминий, предварительно напыленный на молибден. Структурная схема контакта приведена на рис. 1.

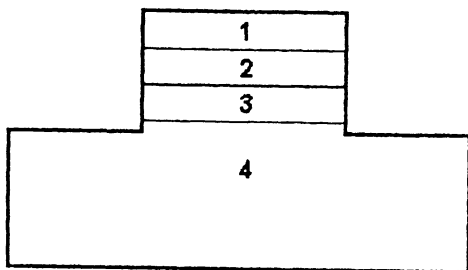


Рис. 1. Структурная схема омического контакта:

1 — алюминий; 2 — молибден; 3 — слой SiC, осажденный методом магнетронного распыления; 4 — подложка.

3. Исследования характеристик контактов.

После напыления металла на осажденную пленку SiC (без ее предварительного отжига) вольтамперная характеристика структуры, изображенной на рис. 1, имела барьерный, выпрямляющий характер. Отжиг осажденного слоя при температурах ниже 1600°C также не приводил к образованию омического контакта. После отжига слоев при температурах $1600\text{--}2200^{\circ}\text{C}$ на полученных структурах наблюдалась невыпрямляющая характеристика. Удельное контактное сопротивление определялось методом TLM (transmission lines model) на кольцевых контактах [7] и составило $(1 - 4) \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$. Удельное контактное сопротивление не зависело от ориентации подложки.

Осажденные пленки SiC исследовались с помощью трехкристального рентгеновского дифрактометра. Измерения проводились в двухкристальном бездисперсионном режиме съемки (отражение (0006), Cu $K\alpha_1$). Образцы, выбранные для измерений, исследовались как до, так и после отжига. Анализ полученных кривых свидетельствует о наличии упругих напряжений в неотожженной пленке, которые практически исчезают после отжига (после отжига при $T = 1800^{\circ}\text{C}$ происходит уменьшение полуширины кривой отражения в 1.5 раза).

Для изучения структуры приконтактной области использовалась методика послойного анализа. Послойный анализ выполнялся с использованием электронной Оже-спектроскопии в сочетании с травлением ионами Ag^+ [8]. Регистрация спектров осуществлялась Оже-спектрометром 09 ИОС-3 с анализатором типа "цилиндрическое зеркало". Энергия электронов первичного пучка $E_p = 3 \text{ кэВ}$, амплитуда модуляции $U_m = 5 \text{ В}$. Исследуемый образец размещался в вакуумной камере УСУ-4. В процессе ионного травления

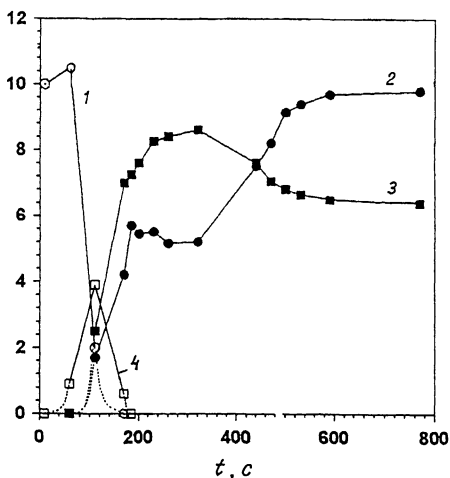


Рис. 2. Оже-профили элементов, полученные при послойном анализе приконтактной области.

1 — Al(LMM); 2 — Si(LMM); 3 — C(KLL); 4 — Mo(MNN); t — время распыления. Оже-спектр — в произвольных единицах.

вакуум поддерживался на уровне 10^{-6} Тор, размер области сканирования ионного пучка составлял 500×500 мкм при плотности тока ионов 0.2 A/cm^2 и энергии ионного пучка 10 кэВ .

В процессе измерений в дифференциальных Оже-спектрах регистрировалась реак-to-реак интенсивность линий алюминия (LMM), молибдена (MNN), кремния (LMM) и углерода (KLL). Полученные профили для структуры, содержащей поликристаллический слой после отжига при $T = 1800^\circ\text{C}$, приведены на рис. 2. Из рис. 2 видно, что состав осажденной пленки SiC после отжига смещен в углеродную сторону от стехиометрического, причем это отклонение максимально вблизи границы этого слоя с металлизацией. Отклонение постепенно уменьшается практически до нуля при приближении к подложке. Наличие области, обогащенной углеродом, вблизи поверхности, вероятно, способствует образованию омического контакта.

4. Заключение.

Разработан метод создания омических контактов к n -SiC-6H с использованием промежуточных поликристаллических слоев карбида кремния. Без вжигания напыленной металлической пленки по этой технологии получен омический контакт с удельным контактным сопротивлением $\sim 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$. Технология приготовления контактов и кон-

тактическое сопротивление одинаковы для ориентаций (0001)Si и (0001)C.

Работа выполнена при частичной поддержке министерства обороны США.

Список литературы

- [1] *Anikin M.M., Rastegaeva M.G., Syrkin A.L., I.V. Chuiko.* Proceeding in Physics, ed by G.L.Harris, M.G.Spencer, C.Y.Yang. Springer, Berlin, 1992.
- [2] *Anikin M.M., Rastegaeva M.G., Syrkin A.L.* Intern. Conf. on SiC and related materials, Washington, USA, 1993.
- [3] *Dmitriev V.A., Irvine K., Spencer M., Kelner G.* // Appl. Phys. Lett. 1994. V. 64. N 3. P. 318-320.
- [4] *Rogachev N.A., Ishkalov J., Kuznetsov A.N., Terukov E.I., Trapeznikova I., Chelnokov V.E.* Intern. Conf. on SiC and related materials, Washington, USA, 1993.
- [5] *Rogachev N.A., Kuznetsov A.N., Terukov E.I., Chelnokov V.E.* Intern. Conf. on SiC and related materials, Washington, USA, 1993.
- [6] *Попов И.В., Сыркин А.Л., Челноков В.Е.* // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 12. N 4. С. 240-243.
- [7] *Reeves G.K.* // Solid-St. Electronics. 1980. V. 23. N 5. P. 487-489.
- [8] *Babanin A.I., Laurent'ev A.A.* NATO Advanced Workshop on Wide Bandgap Electronic Material, Minsk, 1994, WP-2.

Поступило в Редакцию
7 июля 1994 г.