

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРАВЛЕНИЯ КАРБИДА КРЕМНИЯ В ИНДУКТИВНО СВЯЗАННОЙ SF₆/O₂/Ar ПЛАЗМЕ

Осипов К. Ю., Великовский Л. Э., Кагадей В. А.
ЗАО «НПФ» Микран»
г. Томск, 634045, Россия
тел.: 89131132456, e-mail: docar@micran.ru

Аннотация — Разработан процесс реактивно-ионного травления сквозных отверстий в подложках SiC. В ходе работы исследованы зависимости скорости травления SiC от основных параметров процесса, а именно: от давления и ВЧ мощности, прикладываемой к электроду подложкодержателя, а также от соотношения потоков рабочих газов. Разработанный процесс позволяет травить сквозные отверстия в подложках толщиной до 100 мкм со скоростью более 1000 нм/мин.

I. Введение

В настоящее время AlGaIn/GaN HEMT и монолитные интегральные схемы на их основе являются наиболее перспективным решением в области мощной СВЧ электроники [1]. Основными преимуществами GaN приборов перед аналогами являются возможности получения более высоких пробивных напряжений, хорошая температурная стабильность, высокая плотность двумерного электронного газа на AlGaIn/GaN гетеропереходе, и большая, чем у Si и GaAs скорость насыщения электронов в сильных электрических полях [2]. В итоге, приборы на основе GaN имеют плотность мощности в 10 раз превышающую таковую у AlGaAs/GaAs pHEMT. Для применения в качестве усилителей мощности гетероструктуру AlGaIn/GaN обычно выращивают на подложках из SiC. Основными преимуществами SiC перед другими подложками являются высокая теплопроводность SiC, а также маленькая величина рассогласования его постоянной решетки с постоянной решетки GaN. Благодаря улучшению теплоотвода от горячих областей транзистора технология формирования сквозных отверстий к секциям мощного транзистора позволяет наиболее полно реализовать потенциал гетероструктуры AlGaIn/GaN в СВЧ диапазоне. Однако процесс шлифовки подложки SiC, а также создания в ней сквозных отверстий затруднен, так как SiC плохо поддается шлифовке, полировке и травлению [3]. В связи с этим, исследования направленные на разработку процессов травления SiC являются актуальными. Настоящая работа посвящена исследованию зависимостей скорости травления SiC от основных параметров процесса реактивно-ионного травления (РИТ).

II. Техника и методика эксперимента

Подложки SiC толщиной 0,6мм приклеивались на сапфировый носитель и шлифовались до толщины 100 мкм, в качестве абразива для шлифовки использовался карбид бора. Шлифовка проводилась в два этапа, на первом этапе использовался абразив с величиной зерна 53 мкм, на втором этапе абразив 16 мкм. Затем на подложке делалась фотолитография и формировалась металлическая маска. Процесс травления проводился на установке Corial 200 IL в смеси SF₆/O₂/Ar, глубина травления измерялась с помощью профилометра.

III. Результаты экспериментов и их обсуждение

Целью первого этапа работы было установление зависимости скорости травления SiC от давления в рабочей камере и от ВЧ мощности, подаваемой на электрод подложкодержателя. Соотношение потоков газов соответствовало SF₆:Ar:O₂=5:1:5, вкладываемая в разряд ICP мощность поддерживалась постоянной.

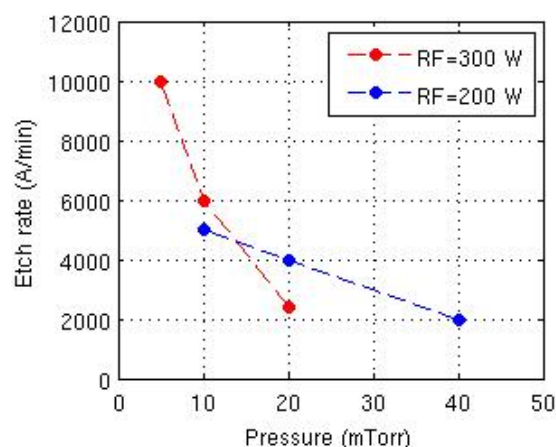


Рис. 1. Зависимость скорости травления от давления и RF мощности.

Fig. 1. Etch rate pressure and RF power dependence

На рисунке 1 изображены полученные в ходе эксперимента зависимости. При всех значениях ВЧ мощности с уменьшением давления скорость травления растет. Зависимость скорости травления от ВЧ мощности не такая однозначная, при низких давлениях с повышением мощности скорость растет, а при высоких, наоборот, падает. Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод о том, что процессами, лимитирующими скорость травления, могут быть ионно-стимулированная десорбция продуктов реакции, а также ионно-стимулированные реакции химического травления. Оба эти процесса начинают протекать более интенсивно, как при снижении давления, так и при повышении ВЧ мощности, подаваемой на подложкодержатель (росте напряжения смещения на подложке).

На втором этапе работы были проведены эксперименты по выбору оптимального значения потока Ar. Как было показано в [4], добавление в газовую смесь инертного газа, может существенно ускорить процесс травления за счёт усиления бомбардировки поверхности тяжелыми ионами Ar⁺, образующимися в ICP плазме. В ходе эксперимента соотношение потоков Ar/SF₆ изменялось от 0 до 2 при постоянном потоке O₂. Полученная зависимость скорости травления от соотношения потоков приведена на рисунке 2.

В предыдущем эксперименте было выявлено, что в определённых условиях процессы ионной бомбардировки играют доминирующую роль при травлении SiC. Данные второго эксперимента подтвердили это предположение. Как видно из графика, при добавлении Ar в смесь рабочих газов скорость травления увеличивается.

При достижении потоком Ar величины в два раза большей величины потока основного травящего газа (SF_6) скорость процесса травления существенно снижается. Данный факт можно объяснить тем, что изменяется процесс, лимитирующий скорость травления. Увеличение потока Ar приводит к уменьшению концентрации SF_6 в газовой смеси вследствие того, что давление газа в камере поддерживалось постоянным с помощью изменения скорости откачки. В результате этого скорость травления начинает лимитироваться концентрацией травящего реагента (SF_6).

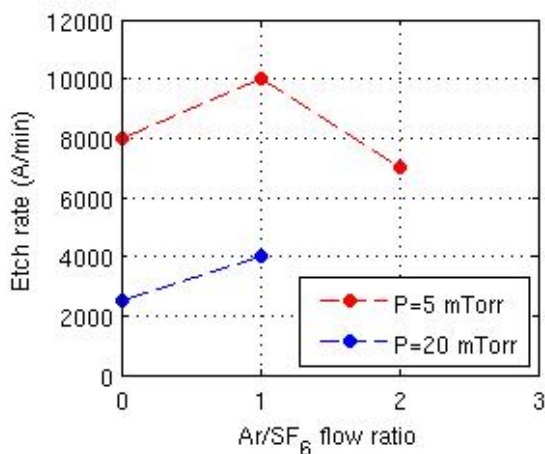


Рис. 2. Зависимость скорости травления от соотношения потоков Ar/SF₆.

Fig. 2. Etch rate Ar/SF₆ flow rate dependence

IV. Заключение

В работе исследованы основные зависимости скорости травления подложек SiC от давления смеси газов $SF_6/O_2/Ar$ в рабочей камере, ВЧ мощности подаваемой на электрод подложкодержателя, а также от соотношения потоков Ar и SF_6 . Установлено, что в определённых условиях процесс травления SiC ускоряется при уменьшении давления, повышении ВЧ мощности подаваемой на электрод подложкодержателя, а также при оптимизации потока Ar. При этом рост скорости травления обусловлен, по-видимому, ростом энергии и плотности потока ионов Ar^+ , падающих на поверхность полупроводника. Разработанный процесс позволяет травить сквозные отверстия в подложках SiC диаметром 76 мм и толщиной до 100 мкм со скоростью более 1000 нм/мин. Разработанный технологический процесс применим для производства GaN HEMT.

V. Благодарность

Авторы работы выражают благодарность коллективу НПК «Микроэлектроника» ЗАО «НПФ «Микран» за содействие в проведении экспериментов.

VI. Список литературы

- [1] Rosker M., Bozada C., Dietrich H.: The DARPA Wide Band Gap Semiconductors for RF Applications (WBGSRF) Program: Phase II Results // Proc. of Int. CS MANTECH Conference (Tampa, May 18-21, 2009)
- [2] Fan Ren, John C. Zolper WIDE ENERGY BANDGAP ELECTRONIC DEVICES. World Scientific, 2003. 514 p.
- [3] Martin, C.: Sub-Surface Damage Removal in Fabrication & Polishing of Silicon Carbide // Proc. of Int. CS MANTECH Conference (Miami, May, 2004)
- [4] Voss L. F.: SiC via fabrication for wide-band-gap high electron mobility transistor/ microwave monolithic integrated circuit devices // J. Vac. Sci. Technol. 2008. Vol. 26. No.2. P. 487-494

INVESTIGATION OF SiC ETCH PROCESS IN INDUCTIVELY COUPLED SF₆/O₂/Ar PLASMA

Osipov K. Y., Velikovskiy L. E., Kagadei V. A.
 Research and Production Company Micran
 Tomsk, 634045, Russia
 Ph.: 89131132456, e-mail: docar@mail.ru

Abstract — The plasma etching process of the SiC via hole fabrication is developed. In the course of the present work the correlation between etch rate and main process parameters, such as: pressure, RF power and gas flow was obtained. The final process shows the etching rate of more than 1000 nm/min during the etching process of the SiC substrate 100 μm thick.

I. Introduction

Today AlGaIn/GaN high electron mobility transistors (HEMT) and monolithic microwave integrated circuits (MMIC) is a promising solution for high frequency power microwave electronics. A common substrate for GaN epitaxial growth is SiC. Due to a small lattice mismatch between GaN and SiC and high thermal conductivity, silicon carbide has the advantages as compared to Si and sapphire substrates. Unfortunately, because of SiC having high mechanical hardness and chemical inertness, grinding, polishing and etching of SiC wafers is a challenging process. The aim of this work is to investigate the influence of main etching process parameters on the SiC etching rate.

II. Experiment

Prior to etching the SiC wafers were bonded on to a sapphire carrier and polished to 100 μm thickness with Logitech LP50 grinding and polishing machine. After thinning, fabrication of hard mask was performed. The etching process was carried out on a Corial 200IL etching tool, for the etch depth measurement the Ambios XP 200 mechanical profiler was used.

III. Results and Discussion

The first experiment was aimed at finding the dependences of etching rate from pressure and RF power. Experimental results are shown in Fig.1. It is evident that both increasing RF power and decreasing the process pressure lead to SiC etching rate improvement. Most likely the reasons for this improvement is ion enhanced surface desorption of reaction products and the increasing rate of chemical reaction by the energy of incident ions. During the second experiment an etching rate dependence of Ar flow was obtained. As seen in Fig. 2, increasing Ar flow from 0 to value equal to SF_6 flow leads to the growth of etching rate with both 5 mTorr and 20 mTorr process pressures. The subsequent flow increase causes a significant drop in the etching rate. Probably it occurs due to a decreasing SF_6 concentration in the gas flow and the subsequent slow-down of reaction rate.

IV. Conclusion

The main dependences of SiC etch rate from process pressure, RF power and Ar flow were presented. It is shown that increasing ion bombardment of the etched substrate significantly increases the SiC etch rate. The developed process was implemented in GaN HEMT fabrication flow.