

УДК 621.382.002

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОГО ТРАВЛЕНИЯ ПОЛИИМИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д. В. Вертянов¹, к. т. н. А. А. Голишников², Д. А. Костюков², д. т. н. М. Г. Путря¹,
д. т. н. С. П. Тимошенко¹

¹Национальный исследовательский университет МИЭТ,

²НПК «Технологический центр»,

Россия, г. Москва

A.Golishnikov@tcen.ru

Исследованы процессы плазменного травления полиимидных пленок в кислородсодержащей, во фтор-кислородной и кислород-аргоновой плазме низкого давления. Разработан и оптимизирован процесс глубокого анизотропного плазменного травления полиимида со скоростью травления 0,8 мкм/мин, равномерностью травления не менее 92% и анизотропией не хуже 0,95. Результаты работы использованы при формировании глубоких структур в полиимидных пленках.

Ключевые слова: плазменное травление, реактивное ионное травление, полиимидная пленка, сквозное отверстие, технология сборки.

В последние годы для создания функционально сложных электронных изделий с высокими требованиями к радиационной стойкости, термостойкости, быстродействию и долговременной надежности, например по технологии «кристалл на гибкой плате», широкое применение нашли фольгированные полиимиды (ПИ) благодаря стабильности их электрических и температурных характеристик. Кроме того, возможность формирования сквозных отверстий в слоях ПИ позволяет отказаться от применения алюминиевой проволоки для соединения контактных площадок микросхем и сенсоров с выводами коммутирующих медь-полиимидных плат и кабелей и осуществлять присоединение выводов непосредственно к контактным площадкам микросхем и сенсоров с помощью ультразвуковой сварки через «окна» в ПИ. Эта технология позволяет уменьшить количество сварных соединений в детекторных модулях практически в два раза и значительно упростить сам процесс сборки [1]. Кроме того, в процессе сборки полностью исключается возможность коротких замыканий в областях сварки контактных площадок сенсоров и микросхем с проводниками гибких кабелей и плат.

Одной из важнейших технологических операций вышеуказанной технологии сборки является процесс плазменного травления (ПТ), используемый для создания сквозных отверстий в ПИ. Однако в литературных источниках недостаточно информации об условиях проведения ПТ, обеспечивающих заданную скорость формирования выступов, углублений и сквозных отверстий.

Таким образом, сочетание широких возможностей практического применения регулярных поверхностных и сквозных микроструктур в ПИ, необходимости разработки оптимальных режимов их формирования обуславливает актуальность тематики данной работы.

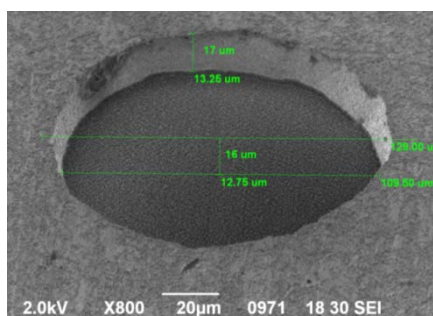
В ходе работы решались задачи по исследованию влияния операционных параметров на скорость, анизотропию и равномерность плазменного травления ПИ; по оптимизации процесса анизотропного плазменного травления с целью получения максимальных технологических характеристик.

Для ПТ полиимида использовалась установка МВУ ТМ РИТ 100, в которой реализован механизм реактивного ионного травления (РИТ). Образцами служили полиимидные пленки ПМ ТУ 6-19-121-85 и DuPont, RyaluxAP8535 со сформированной медной маской, представляющей собой регулярные структуры с линейными размерами от 40 до 150 мкм. Операционные параметры при проведении процесса РИТ полиимида изменялись в таком диапазоне: расход кислорода $Q_{O_2}=0-1,8$ л/ч, процентное содержание элегаза в рабочей смеси O_2+SF_6 от 0 до 100%, процентное содержание аргона в рабочей смеси O_2+Ar от 20 до 70%, ВЧ-мощность, подводимая к столику-подложкодержателю — $W_{тр}=100-300$ Вт, рабочее давление $P=5-12$ Па. Профили и геометрические параметры, формируе-

мых в ПИ-пленках структур до и после РИТ исследовались с помощью растрового электронного микроскопа.

Проведенные исследования выявили, что при небольшой концентрации атомов кислорода невозможно обеспечить высокую скорость травления полиимида, а наблюдаемое увеличение скорости травления ПИ при низком содержании O_2 в плазме связано с тем, что в реакции РИТ кроме молекул кислорода принимают участие и продукты травления, а именно радикалы OH .

Поскольку кислородная плазма способствует изотропному травлению ПИ [2], то для увеличения плотности ионного потока и уменьшения содержания атомов O_2 в плазме в нее добавляли инертный газ — аргон. Показано, что при травлении ПИ высокоанизотропное ($A = 0,95$) травление достигалось в смеси O_2+Ar , содержащей более 60% аргона. Кроме того, для получения анизотропного профиля травления процесс проводили при низкой температуре подложкодержателя и обеспечивали хороший тепловой контакт с образцом. Полученный профиль отверстия после плазменного травления ПИ представлен на рисунке.



Вид структуры травления полиимидной пленки в плазме $O_2/75\% Ar$ при $W=300$ Вт

Выявлено, что при изменении ВЧ-мощности от 100 до 300 Вт скорость травления полиимида в смеси O_2+Ar линейно возрастает примерно до 0,35 мкм/мин, что связано, во-первых, с ростом энергии ионов, бомбардирующих поверхность, и, во-вторых, с увеличением травящих частиц.

Для повышения скорости травления ПИ используют смеси кислорода с фторсодержащими газами [1]. Установлено, что при низких значениях процентного содержания SF_6 в рабочей смеси скорость травления ПИ небольшая и составляет от 0,1 до 0,15 мкм/мин. При увеличении концентрации SF_6 в смеси O_2+SF_6 до 20%, скорость РИТ ПИ линейно возрастает от 0,6 до 0,8 мкм/мин в зависимости от рабочего давления, расхода рабочей смеси и ВЧ-мощности. Однако дальнейшее увеличение процентного содержания SF_6 в смеси до 40% приводит к снижению скорости травления ПИ, что связано с уменьшением концентрации основных травящих частиц — молекул кислорода — в смеси O_2+SF_6 .

Достигнутые в ходе исследований технологические параметры процесса плазменного травления ПИ — скорость травления 0,8 мкм/мин, равномерность травления не менее 92% и анизотропия не хуже 0,95 — использованы при формировании глубоких отверстий в полиимидных пленках для последующего их заполнения металлом.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Mimoun B. et al. Residue-free plasma etching of polyimide coatings for small pitch vias with improved step coverage // J. Vac. Sci. Technol. В 31(2).— Mar/Apr 2013.— P. 2166.
2. Амиров И. И., Изюмов М. О. Ионно-иницированное травление полимерных пленок в кислородсодержащей плазме высоко-частотного индукционного разряда. // Химия высоких энергий.— 1999.— Т. 33, № 2.— С.147—151.

D. V. Vertyanov, A. A. Golishnikov, D. A. Kostyukov, M. G. Putrya, S. P. Timoshenkov
Research of the process for plasma etching of polyimide materials.

The authors research the process for etching of polyimide thin films using oxygen, fluoride-oxygen and argon-oxygen low pressure plasma. The process for deep anisotropic plasma etching of polyimide thin films was developed with etch rate of 0.8 mkm/min, uniformity more than 92% and anisotropy not less than 0.95. The research results are used to form deep structures in polyimide films.

Keywords: *plasma etch, reactive ion etch, polyimide film, via, assembling technology.*