

Министерство промышленности и торговли РФ
Государственная корпорация «Ростех»
АФК «Система»
Фонд «Сколково»
АО «НИИМЭ»
АО «НИИМА «Прогресс»
НИУ «МИЭТ»

Генеральный информационный партнер –
АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА»

Международный форум «Микроэлектроника-2019»
5-я Международная научная конференция
«Электронная компонентная база и микроэлектронные модули».
Сборник тезисов

Республика Крым,
г. Алушта, 30 сентября – 05 октября 2019 г.

ТЕХНОСФЕРА
Москва
2019

УДК 621.3.01/.09

ББК 38.843

М43

Международный форум «Микроэлектроника-2019»

5-я Международная научная конференция

«Электронная компонентная база и микроэлектронные модули».

Сборник тезисов

Республика Крым, г. Алушта, 30 сентября – 05 октября 2019 г.

Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2019. – 592 с.

В выпуск включены тезисы докладов конференции, освещающие актуальные вопросы разработки, производства и применения электронной компонентной базы и электронных модулей.

Из года в год «Микроэлектроника» привлекает все большее число участников, их география расширяется новыми российскими регионами и зарубежными странами. За пять лет работы форума в нем приняло участие 2044 делегата. С момента создания мероприятия прозвучало 963 доклада, участниками события стали 859 компаний.

Оргкомитет форума выражает благодарность Николаю Сергеевичу Савищеву и Дарье Александровне Шевелевой за большую помощь в подготовке к изданию сборника тезисов.

© 2019, Компания «ПрофКонференции»

© 2019, АО «НИИМА «Прогресс»

© 2019, Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

© 2019, АО «НИИМЭ»

© 2019, АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление

Рисунки воспроизводятся в том виде, в котором предоставлены авторами.



Представлены результаты исследований адгезионных свойств различных растворов ПАК. Установлена экспериментальная зависимость силы адгезии кремниевых кристаллов от времени жизни четырех ПАК. Результаты получены для кремниевых кристаллов с планарными размерами 5×5 мм и толщиной 0,46 мм при исходном давлении на установке монтажа в 100 г.

Выявлено, что в процессе имидизации некоторых растворов полиамидокислот под кристаллами образуются дефекты. Предположено, что дефекты образуются после второй стадии имидизации (удаления растворителя и летучих продуктов реакции) и зависят от совокупности факторов — типа растворителя в ПАК, режимов имидизации и способов подготовки поверхности кристаллов.

Литература

1. Chen A. Why signal always be loss in a high speed high frequency transmission line / Albert Chen // IPC APEX EXPO conference and Exhibition 2013. — San Diego, USA, 2013. — P. 934–961.
2. Advanced Packaging for Implantable Devices [Электронный ресурс] / Microsemi corporation 2015. — Электронная презентация. — Режим доступа: <https://semiengineering.com/embedded-die-packaging-emerges>, свободный, дата обращения (04.08.19).
3. Назаров Е. С., Вертянов Д. В. Преимущества технологии внутреннего монтажа при производстве СБИС СнК и GPS/ГЛОНАСС-приемников // Сборник докладов Международной конференции «Микроэлектроника-2015». Интегральные схемы и микроэлектронные модули — проектирование, производство и применение. — М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. — С. 89–95.
4. Tyler P. Temporary bonding and the challenge of cleaning post-debond. Phillip Tyler, Kenji Nulman, Michelle Fowler, Seth Molenhour // Chip Scale Review. 2019. № 1. P. 26–30.

УДК 53.043

Исследование механической прочности мембранной структуры $\text{Al}/\text{SiO}_2/\text{Al}$

Дюжев Н. А.¹, Гусев Е. Э.^{*1}, Дедкова А. А.¹, Товарнов Д. А.¹, Белова С. Д.²

¹Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, 1

²ООО «Микрофотоника»

* bubbledouble@mail.ru

Ключевые слова: механическая прочность, мембраны, тонкие пленки, алюминий, оксид кремния.

Введение

В настоящее время активно развивается область изделий электроники, включающая в себя мембранные элементы. Например, мембрана является частью анода в рентгеновских источниках прострельного типа. Размер фокусного пятна и интенсивность рентгеновского излучения увеличиваются с ростом площади мембраны. С другой стороны, механическая прочность структуры снижается. Следовательно,

уменьшается величина избыточного давления, которое может выдержать структура без разрушения. Кроме того, повышается вероятность разрушения мембраны в процессе экспонирования электронами. Поэтому необходимо измерять механическую прочность мембран.

Механические свойства объемных и пленочных материалов различаются [1]. Один из путей повышения механической прочности заключается в переходе от прямоугольной к круглой форме мембраны [2]. Это связано с тем, что разрушение мембраны в большинстве случаев происходит по границе мембрана-подложка. Форма круга обеспечивает значительно меньшие значения упругих деформаций по сравнению с прямоугольной формой мембраны. Значения деформаций равномерно распределены по контуру мембраны и в материале мембраны [2]. К другим факторам повышения механической прочности относят: уменьшение поверхностных дефектов [3], изменение размера зерен структуры [4], легирование материала пленки атомами меди, цинка, магния, марганца, кремния [1].

Изготовление структуры

Использовали пластину из монокристаллического кремния КДБ12 диаметром 150 мм с кристаллографической ориентацией (100) и толщиной 670 мкм. Была сформирована круглая мембрана на Si-кристалле квадратной формы со стороной 6 мм. Исследуемая мембранная структура состоит из верхнего слоя Al толщиной 0,8 мкм, диэлектрического слоя SiO_2 толщиной 0,6 мкм и нижнего слоя Al толщиной 1,1 мкм (рис. 1). Пленка алюминия формировалась магнетронным методом из Al-Si-мишени. Слой SiO_2 был получен методом PECVD. Топология набора мембран представляет собой круг диаметром 1,0 мм и 1,4 мм, расположенный по центру кристалла. В мембране отсутствуют концентраторы механических напряжений за счет использования шаблона травления круглой формы.



Рис. 1. Исследуемая структура

Аналитический расчет механической прочности структуры

В процессе анализа литературы были найдены следующие значения механической прочности тонких алюминиевых композитных и монослоев: от 0,04 до 0,08 ГПа в зависимости от размера зерна [4]; 0,2 ГПа при толщине слоя алюминия 373 нм и 0,55 ГПа при толщине 205 нм [5]; 0,6 ГПа при толщине 150 нм [6]; 9,0 ГПа для композитной пленки Al-12,6%Si [3]. В следующих статьях указан диапазон значений механической прочности пленки оксида кремния: $0,364 \pm 0,57$ ГПа PECVD SiO_2 толщиной 1,0 мкм [8]; $0,89 \pm 0,07$ ГПа термического SiO_2 [9]; от 1,2 до 1,9 ГПа PECVD оксида кремния [7]; 8,4 ГПа для нитевидных структур из SiO_2 [10]. Для дальнейших



расчетов было использовано значение механической прочности алюминия 9,0 ГПа и оксида кремния 8,4 ГПа.

Теоретическое значение механической прочности мембраны σ вычисляется по формуле (1)

$$\sigma = \frac{\sigma_{Al} \cdot h_{Al1} + \sigma_{SiO_2} \cdot h_{SiO_2} + \sigma_{Al} \cdot h_{Al2}}{h_{Al1} + h_{SiO_2} + h_{Al2}}, \quad (1)$$

где h_{Al1} — толщина нижнего слоя алюминия, h_{SiO_2} — толщина оксида кремния, h_{Al2} — толщина верхнего слоя алюминия.

Рассчитанное значение σ составляет 8,85 ГПа. Прогнозируемое значение критического избыточного давления P_{np} рассчитывают по формуле (2) [1]

$$P_{np} = \frac{\sigma \cdot h^2}{a^2 \cdot B(\mu)}, \quad (2)$$

где a — радиус мембраны, h — толщина мембраны, $B(\mu)$ — коэффициент.

Коэффициент $B(\mu)$ рассчитывается как $\frac{3}{4} \sqrt{1 + \mu^2}$. Значение коэффициента

Пуассона мембраны μ рассчитывается аналогично подходу в формуле (1). Т.к. μ_{Al} составляет 0,34, μ_{SiO_2} составляет 0,2, то коэффициент Пуассона мембраны μ будет равным 0,3. Следовательно, значение коэффициента $B(\mu)$ составляет 0,78. Таким образом, согласно расчетам по формуле (2), для мембраны радиусом 0,5 мм прогнозируемое значение критического избыточного давления P_{np} составляет 2,82 атм, для радиуса 0,7 мм — 1,44 атм.

Экспериментальное измерение механической прочности

Для определения механических свойств мембранных элементов был модернизирован ранее разработанный стенд [1]. Избыточное давление подается с магистрали (вместо компрессора). Таким образом, расширен верхний диапазон величины давления до 6,5 атм, увеличена стабильность значения давления в системе.

Были экспериментально определены значения критического избыточного давления на модернизированном стенде. При диаметре 1,0 мм механическая прочность мембраны Al/SiO₂/Al составляет 5,8±0,4 атм для диаметра 1,0 мм (15 образцов) и 3,8±0,5 атм для диаметра 1,4 мм (18 образцов). Заметно, что полученные результаты обладают высокой воспроизводимостью. Экспериментальное значение механической прочности трехслойной мембраны составляет 18,2 ГПа.

Выводы

Критическое избыточное давление мембранных структур из Al/SiO₂/Al на кремниевой подложке составляет 5,8±0,4 атм для радиуса 0,5 мм и 3,8±0,5 атм для радиуса 0,7 мм. Полученный результат позволяет использовать данные мембраны в качестве анодов рентгеновских источников прострельного типа с запасом механической прочности в несколько раз. Погрешность между данными аналитического расчета и экспериментальными результатами объясняется эффектом использования набора чередующихся слоев вместо монослоя мембраны, эффектом повышения механической прочности пленок за счет модернизации технологии осаждения, эффектом повышения адгезии между кремниевой подложкой и атомами кремния, присутствующих в нижнем слое алюминия, полученным из Al-Si-мишени магнетронным способом.

Работы выполнены на оборудовании центра коллективного пользования «Микросистемная техника и электронная компонентная база» НИУ МИЭТ при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственный контракт № 14.578.21.0250, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57817X0250), с привлечением центра НТИ МИЭТ «Сенсорика»

Литература

1. Gusev E.E., Borisova A.V., Dedkova A.A., Salnikov A.A., Kireev V.Y. The Effect of Ion Beam Etching on Mechanical Strength Multilayer Aluminum Membranes // 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), DOI:10.1109/eiconrus.2019.8657243.
2. Vlasov A., Civinskaya T. and Shahnov A. Analysis of the influence of the shape of the membrane on the mechanical strength and stability of the parameters of MEMS pressure sensors // MES-2016.
3. Mueller M.G., Fornabaio M., Zagar G., Mortensen A. Microscopis strength of silicon particles in an aluminium-silicon alloy // Acta Materialia, volume 105, 15 February 2016, Pages 165–175, DOI: 10.1016/j.actamat.2015.12.006.
4. Venkatraman Ramnath and Bravman John C. Separation of film thickness and grain boundary strengthening effects in Al thin films on Si // J. Mater. Res., vol. 7, № 8, p. 2040–2048, Aug 1992, DOI: <https://doi.org/10.1557/JMR.1992.2040>.
5. Boe A. et al. MEMS-based microstructures for nanomechanical characterization of thin films // Smart Materials and Structures, 18 (2009) 115018 (8pp), DOI: 10.1088/0964-1726/18/11/115018.
6. Microfabrication-based nanomechanical laboratory for testing the ductility of sub-micron aluminium films // Microelectronic Engineering, vol. 84, issue 11, November 2007, p. 2714–2718, DOI: 10.1016/j.mee.2007.05.039.
7. Toshiyuki Tsuchiya, Atsuko Inoue, Jiro Sakata, Tensile testing of insulating thin films; humidity effect on tensile strength of SiO₂ films // Sensors and Actuators, 2000, vol. 82, p. 286–290.
8. Sharpe W.N. et al. Strain Measurements of Silicon Dioxide Microspecimens by Digital Imaging Processing // Experimental Mechanics, 2007, DOI 10.1007/s11340-006-9010-z.
9. Jinling Yang, Fracture Properties of LPCVD Silicon Nitride and Thermally Grown Silicon Oxide Thin Films From the Load-Deflection of Long Si₃N₄ and SiO₂/Si₃N₄ Diaphragms // Journal of Microelectromechanical Systems. Vol. 17, № 5, october 2008.
10. Petersen K. Silicon as Mechanical Materials // Proceedings of the IEEE, 1982, vol. 70, issue 5, pp. 420–457.

УДК 544.6.076

Планарный электрохимический магнитогидродинамический акселерометр

Дудкин П. В.^{1,2}, Жевненко Д. А.^{1,2,3}, Горнев Е. С.³, Криштон Т. В.²,
Криштон В. Г.^{2,4}

¹ Московский физико-технический институт

(национальный исследовательский университет)

141701, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9