

А. В. КОРОТКЕВИЧ, В. А. ПЛЕШКИН

Республика Беларусь, г. Минск, Белорусский гос. ун-т информатики и радиоэлектроники

Дата поступления в редакцию
28.08 1997г. – 30.11 1998 г.
Оппонент к. т. н. В. С. ЦЫМБАЛЮК

СУХОЙ ПЛЕНОЧНЫЙ ФОТОРЕЗИСТ КАК ИЗОЛЯЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОДЛОЖЕК

Применение сухого пленочного фоторезиста в качестве изоляции анодированных алюминиевых подложек ГИС обеспечивает ряд важных преимуществ.

The application of dry film photoresist as a insulation of GIC anodic coating aluminium bases provides number of important advantages.

Благодаря высокой теплопроводности, механической прочностью и низкой стоимости алюминиевые подложки широко используются в микроэлектронной аппаратуре [1–3].

Технологический процесс изготовления анодированных алюминиевых подложек, предназначенных для замены традиционных ситалловых или керамических подложек, как правило, включает следующие основные операции:

- прецизионную обработку поверхности алюминия;
- глубокое пористое анодирование;
- нанесение грунтового покрытия;
- полировку изоляционного покрытия.

Однако при изготовлении микросхем, имеющих нестандартные технические требования, возникает ряд проблем:

- *неравномерность нанесения фоторезиста на поверхность* – при использовании подложек сложной формы и наличии в подложке отверстий, пазов и выемок для посадки навесных элементов;
- *сложность получения рисунка в изоляционном покрытии* – при использовании основания подложки в качестве шины “земли”, формировании контактных переходов к подложке и знаков совмещения;
- *невозможность получения толстых* (свыше 100 мкм) *анодных оксидных пленок* – при использовании специальных сплавов алюминия (например, 1201 или В95), применяемых в военной и космической аппаратуре;
- *неудовлетворительные электроизоляционные свойства* (сопротивление изоляции до 10^{10} Ом и напряжение пробоя до 1 кВ) – при изготовлении высоковольтных источников питания, схем СВЧ и ряда других применений.

Для решения перечисленных проблем предлагается использовать в качестве диэлектрического покрытия алюминиевых анодированных подложек слой

сухого пленочного фоторезиста (СПФ) [4]. (В исследованиях использовали сухой пленочный фоторезист марки СПФ-ВЩ-50 [5]. Возможно использование и других марок – свойства получаемых покрытий будут аналогичными, незначительно различаться будут только режимы термообработки.)

Исследовались зависимость качества получаемого с использованием СПФ диэлектрического покрытия от режимов термообработки СПФ, а также от материала и шероховатости поверхности, на которую наносят СПФ; изоляционные свойства СПФ; адгезия тонкопленочных элементов к СПФ.

Для исследования зависимости качества диэлектрического покрытия от режимов термообработки использовали ситалловые подложки, имеющие шероховатость поверхности (R_a) менее 0,01 мкм. Время и температуру (t) термообработки варьировали. Измерение шероховатости осуществляли на профилетре модели 296.

Термообработку проводили ступенчато, с интервалом в 50°C, начиная со 100°C. Как видно из рис. 1, до температуры 200°C шероховатость поверхности не зависит от времени и температуры обработки.

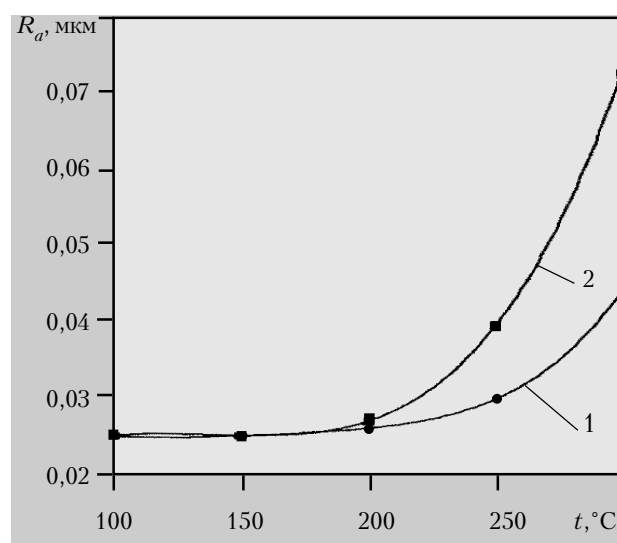


Рис. 1. Зависимость изменения шероховатости поверхности подложки от конечной температуры термообработки при времени обработки 30 мин (1) и 60 мин (2)

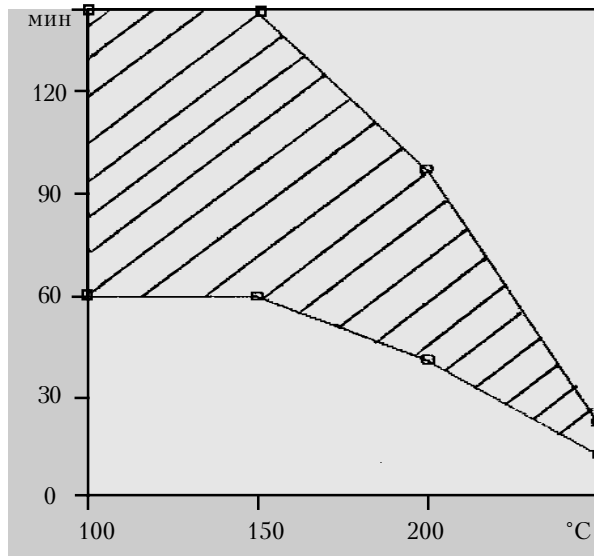


Рис. 2. Температурно-временной режим обработки СПФ

При дальнейшем увеличении температуры качество поверхности ухудшается. Это объясняется тем, что при температурах свыше 200°C начинается процесс перестройки молекулярной структуры фоторезиста, характеризующийся, с одной стороны, распадом высокомолекулярных соединений, а с другой — образованием новых межмолекулярных связей. Кратковременная (15–20 мин) выдержка подложек при температуре 250°C обеспечивает увеличение химической стойкости фоторезиста к растворам кислот, щелочей и органических растворителей, а также повышение термической устойчивости подложек. Выдержка подложек более 60 мин приводит к деструкции фоторезиста и, вследствие этого, к значительному ухудшению качества поверхности. При температурах свыше 300°C происходит выгорание и обугливание СПФ. Допустимый температурно-временной режим обработки СПФ представлен на рис. 2.

В результате для исследуемых подложек был установлен оптимальный режим термообработки (выдержка при 100°C — 1 ч, при 150°C — 1 ч, при 200°C — 1 ч, при 250°C — 20 мин).

Для исследования *сглаживающей способности* сухого пленочного фоторезиста использовали алюминиевые (анодированные и неанодированные) подложки, имеющие шероховатость от 0,05 до 0,5 мкм. Предварительная обработка алюминиевых подложек перед нанесением СПФ включала следующие технологические операции: химическое обезжиривание, терморихтовку, механическую полировку рабочей поверхности подложек с использованием алмазных паст и пористое анодирование на глубину 15–20 мкм в гальваностатическом режиме при плотности тока 15–20 мА/см² в электролите на основе щавелевой кислоты. Затем на подложки накатывали сухой пленочный фоторезист, проводили его термообработку, после чего измеряли шероховатость получаемого покрытия.

Результаты, представленные на рис. 3, свидетельствуют о том, что после нанесения СПФ и его термообработки происходит значительное сглаживание рельефа поверхности подложек. При этом лучше сглаживается рельеф поверхности анодированных подложек — по сравнению с неанодированными.

Кроме того, наличие анодного оксида улучшает адгезию СПФ к поверхности подложки. Это обусловлено тем, что анодный оксид имеет регулярную пористую структуру: при нанесении и последующей термообработке СПФ за счет большего удельного давления проникает в поры АОП, причем в местах выступов он проникает на большую глубину, чем в местах впадин. При этом увеличивается площадь сцепления подложки и СПФ, вследствие чего улучшается сглаживание рельефа поверхности и увеличивается адгезия СПФ к анодированной поверхности алюминия. При нанесении двойного слоя СПФ происходит дальнейшее улучшение качества поверхности (кривая 3 на рис. 3).

В работе были проведены сравнительные исследования *электроизоляционных свойств* диэлектрических покрытий на алюминиевых подложках, формируемых по традиционной технологии и с использованием СПФ. Контактные площадки к подложке создавались вакуумным напылением пленки алюминия с последующим травлением. Сопротивление изоляции измеряли тераомметром Е6-13А, а емкостные параметры ($C_{вд}$ и $tg\delta$) — измерителем L, C, R цифровым Е7-12. Результаты представлены в таблице, из которой видно, что подложки, изготовленные с использованием СПФ, по своим электроизоляционным свойствам значительно превосходят подложки, изготовленные по традиционной технологии: сопротивление изоляции у них выше на 1–2 порядка, а пробивное напряжение — в 3–5 раз.

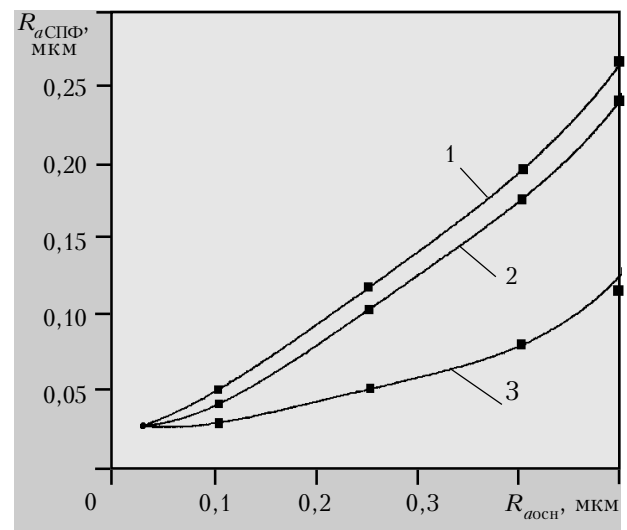


Рис. 3. Влияние шероховатости алюминиевых оснований на шероховатость подложки с СПФ: 1 — для неанодированных подложек; 2 — для анодированных подложек; 3 — для двойного слоя СПФ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Электроизоляционные свойства алюминиевых подложек с различными типами диэлектрического покрытия

Тип изоляционного покрытия	Напряжение пробоя	Сопротивление изоляции, Ом	Удельная емкость диэлектрического покрытия, пФ/мм ²	tgδ	Шероховатость поверхности (R_a), мкм
Анодный оксид (50 мкм)	200–300 В	10^7 – 10^8	1,22–1,27	0,02–0,10	0,15
Анодный оксид +полиимид +полировка	до 1 кВ	10^{10}	1,20–1,25	0,005–0,01	0,03
Анодный оксид +СПФ	3 кВ	$>10^{12}$	0,75–0,80	0,002–0,005	0,03
Анодный оксид+ 2 слоя СПФ	5 кВ	$>10^{12}$	0,35–0,40	0,002–0,005	0,03

Алюминиевые подложки с сухим пленочным фоторезистом в качестве изоляционного покрытия были использованы для изготовления резистивно-коммутационных плат. Шероховатость поверхности подложек составляла 0,025 мкм. Формирование элементов резистивно-коммутационной платы осуществляли вакуумным напылением, фотолитографией и травлением. Полученные резисторы ($\rho=500$ Ом/□) имели разброс значений удельного сопротивления по подложке в пределах 5%. Адгезия тонкопленочных элементов составляла 90 г при размерах контактной площадки 200×200 мкм.

Таким образом, разработан технологический процесс изготовления алюминиевых подложек, который в полной мере отвечает требованиям тонкопленочной технологии, характеризуется высокой технологичностью, надежностью и обеспечивает высокие электроизоляционные свойства диэлектрических покрытий.

Применение СПФ в качестве изоляционного покрытия алюминиевых подложек обеспечивает им ряд преимуществ перед традиционно изготавливаемыми:

- при проведении фотолитографии на подложках сложной формы СПФ закрывает все отверстия, пазы и другие неровности поверхности, тем самым обеспечивая равномерность нанесения фоторезиста на несплошную поверхность. После изготовления микросхемы СПФ, находящийся над отверстиями, пазами и другими пустотами, легко удаляется механическим путем;

- с помощью одной операции фотолитографии по слою СПФ обеспечивается формирование встроенных в изоляционное покрытие знаков совмещения и токопроводящих переходов к алюминиевой подложке. Тем самым устраняются проблемы сов-

мещения слоев при изготовлении многоуровневых систем межсоединений, а также, благодаря использованию подложки в качестве шины “земли”, упрощается топология и увеличивается помехозащищенность микросхем;

- одно- или двухслойное нанесение СПФ является высокотехнологичным способом получения толстых диэлектрических покрытий с высокими электроизоляционными свойствами. Наличие подслоя анодного оксида обеспечивает не только увеличение адгезии СПФ, но и возможность точного регулирования толщины покрытия для достижения требуемых частотных свойств подложек;

- возможно использование в качестве основания подложек не только алюминия, а и других металлов — в зависимости от предъявляемых требований к теплопроводности подложек, их массе, механической прочности, магнитным свойствам и т. п.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Baba N., Mizuki I. High thermal radiation hybrids substrates and printed-circuit boards using aluminium // Techno Japan. — 1985. — Vol. 18, N 10. — P. 9–19.

2. Кано Т., Хигути Т., Тасиро Х. Основания печатных плат на металлических пластинках // Дэнси дзайре. — 1984. — Т. 23, № 10. — С. 53–60.

3. Короткевич А. В., Коцаренко В. А., Плешкин В. А. Расширение функциональных возможностей подложек ГИС // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — № 4'92–1'93. — С. 3–7.

4. А. с. 1825285 СССР. Способ изготовления тонкопленочной микросхемы / А. В. Короткевич, С. А. Костюченко, В. А. Коцаренко и др. — Б. И. № 24, 1993.

5. ТУ 16-503.244–84. Фоторезист сухой пленочный СПФ-ВЩ-2.