

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ BRIEF REPORTS

УДК 621.384.4

Влияние режимов фотолитографического цикла на величину отрицательного угла маски из позитивного фоторезиста

А.А. Жуков¹, Е.Ю. Ильин¹, Н.Н. Герасименко^{2,3}

¹НПК «Технологический центр» (г. Москва)

²Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

³Национальный исследовательский Томский государственный университет

Influence of Photolithographic Process Conditions on Obtaining a Negative Tilt of Thick Positive Photoresist Mask

A.A. Zhukov¹, E.Y. Ilyin¹, N.N. Gerasimenko^{2,3}

¹SMC «Technological Centre», Moscow

²National Research University of Electronic Technology, Moscow

³National Research Tomsk State University

Разработана и экспериментально исследована технология формирования отрицательного угла наклона толстой фоторезистивной маски для применения во «взрывной» литографии и для электрохимического осаждения металлов. Приведен возможный диапазон изменения профиля фоторезистивной маски и обоснованы механизмы управления углом наклона. Описаны ключевые параметры, влияющие на технологический процесс, и указаны допустимые отклонения данных параметров от номинала.

Ключевые слова: позитивный фоторезист; отрицательный угол; «взрывная» литография; электрохимическое осаждение.

The reproducible technologies for obtaining a negative tilt of the thick positive phototresist mask have been investigated for the lift off and electroplating applications. The possible variation range of the profile has been shown and the control mechanism of the mask tilt has been explained. The key parameters affecting the technological process have been investigated and the tolerances of these parameters from the nominal value have been specified.

Keywords: positive photoresist; negative mask tilt; lift-off lithography; electroplating.

Технология формирования микросистем на основе кремниевых пластин включает в себя операции «взрывной» литографии. Один из главных факторов успешного выполнения данного типа литографии – наличие отрицательного угла наклона маски фоторезиста, облегчающего процесс удаления «жертвенного» слоя.

Основными описанными в литературе методами получения отрицательного угла маски являются:

- выполнение стандартного фотолитографического цикла с использованием негативного фоторезиста [1];
- формирование фоторезистивной маски при помощи реверсивного фоторезиста (Image Reversal Resist) [2];
- использование LOR-резистов (Lift-off Resist) [3];
- методы, включающие в себя снижение растворимости верхней части фоторезиста перед проявлением [4].

Однако эти методы имеют недостатки, затрудняющие их широкое применение.

Авторами предложена новая методика формирования отрицательного угла наклона стенок у маски позитивного фоторезиста. В основе метода – двухстадийное (или многостадийное) нанесение фоторезиста с промежуточным экспонированием, цель которого – увеличение степени растворимости в проявителях нижнего слоя. За счет изменения времени промежуточного экспонирования достигается управляемость скоростью растворения нижнего слоя фоторезиста, что позволяет формировать отрицательный угол наклона стенок. Преимущество метода состоит в экономичности и большей универсальности по сравнению с описанными методами. Цель настоящей статьи – экспериментальное исследование влияния режимов фотолитографического процесса на величину отрицательного угла маски.

В основе идеи формирования фоторезистивной маски – стадийность нанесения слоев фоторезиста с возможностью изменения степени растворимости каждого из них. Последовательность выполнения фотолитографического цикла следующая: нанесение первого слоя фоторезиста; последующая экспозиция всей площади фоторезиста; нанесение второго слоя фоторезиста; экспонирование топологического рисунка при помощи фотошаблона; проявление изображения.

Во время проявления фоторезист верхнего слоя растворяется в пределах засвеченного элемента, в то время как нижний слой растворяется с большей скоростью, в том числе и за пределы элемента изображения. В результате формируется отрицательный угол наклона маски фоторезиста.

В блоке формирования маски по указанной технологии существует несколько значимых параметров, которые влияют на финальный профиль маски. Определяющим параметром является время экспонирования первого слоя. Набор вариаций времени экспонирования в данной операции: $t = 20$ с, $t = 30$ с, $t = 40$ с. Результаты представлены на рис.1.

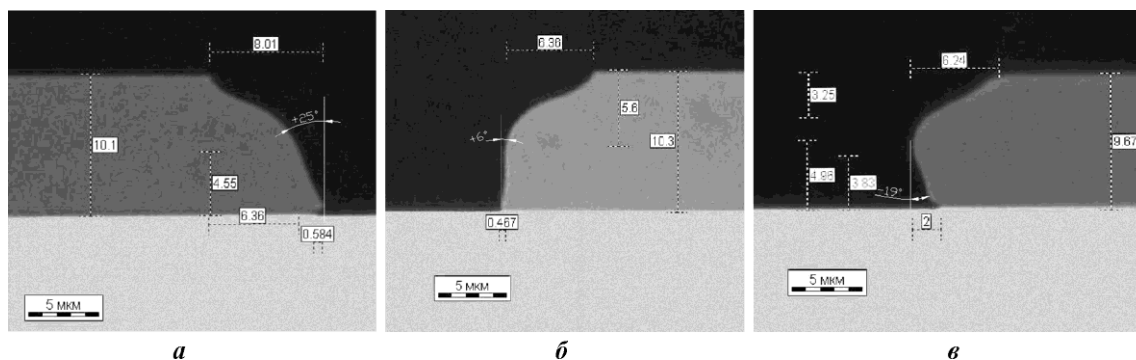


Рис.1. Скол фоторезистивного профиля при времени экспонирования первого слоя: а – 20 с; б – 30 с; в – 40 с (оптический микроскоп INM 200 UV, увеличение 1000х)

Как видно из рис.1, после времени экспонирования 40 с возникает отрицательный угол наклона маски.

Следует отметить, что время экспонирования первого слоя является не единственным параметром, позволяющим изменять величину отрицательного угла. Время проявления и длительность сушки – определяющие параметры в блоке формирования указанной маски фоторезиста.

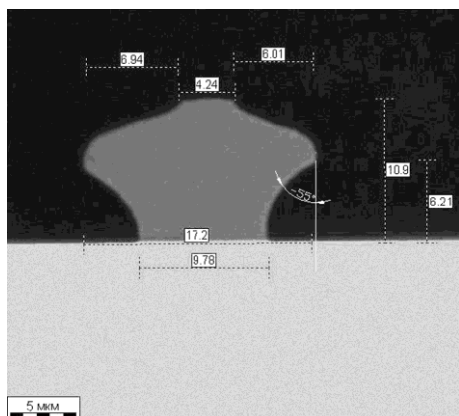


Рис.2. Скол фоторезистивного профиля при времени экспонирования первого слоя 40 с (удвоенное время проявления; оптический микроскоп INM 200 UV, увеличение 1000х)



Рис.3. Зависимость угла наклона маски фоторезиста к плоскости пластины от времени экспонирования первого слоя

На рис.2. показан профиль, который удалось создать при увеличении времени проявления в два раза при всех прочих идентичных условиях, время экспонирования первого слоя равно 40 с (см. рис.1,б)

Зависимость угла наклона маски фоторезиста от времени экспонирования первого слоя приведена на рис.3.

Таким образом, установлено, что на величину отрицательного угла маски из позитивного фоторезиста, сформированного по предложенному методу, влияет как время экспонирования нижнего слоя, так и время проявления. Определены оптимизированные значения этих параметров.

Разработанный процесс особенно эффективен при «взрывной» литографии золота и других инертных материалов с толщинами напыляемого материала менее 3 мкм. Изменения технологических параметров позволили получить углы наклона фоторезистивной маски от +30 до –55° по отношению к нормали (60 – 145° – к плоскости пластины).

Литература

1. Guo L., DeWeerth S.P. An effective lift-off method for patterning high-density gold interconnects on an elastomeric substrate // NIHPA Author Manuscripts PMC3272486. – URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3272486/pdf/nihms349289.pdf> (дата обращения: 20.02.2015).
2. The AZ 5214E resist in EBDW lithography and its use as a RIE etch mask in etching thin AG layers in N₂ plasma / R. Andok, A. Bencurova, P. Hrkut et al. // J. of Electrical Engineering. – 2013. – Vol. 64. – N. 6. – P. 371–375.
3. Attaran A., Chowdhury S. Fabrication of a 77 GHz Rotman lens on a high resistivity silicon wafer using lift-off process // International J. of Antennas and Propagation. – URL: <http://downloads.hindawi.com/journals/ijap/2014/471935.pdf> (дата обращения: 20.02.2015).
4. Моро У. Микролитография. – М.: Мир, 1990. – С. 754–783.

Поступило после доработки 24 февраля 2015 г.

Жуков Андрей Александрович – начальник участка литографии НПК «Технологический центр» (г. Москва). *Область научных интересов:* технологии фотолитографии, жидкостные химические процессы травления.

Ильин Евгений Юрьевич – технолог участка литографии НПК «Технологический центр» (г. Москва). *Область научных интересов:* технологии фотолитографии.

Герасименко Николай Николаевич – доктор физико-математических наук, профессор, начальник лаборатории радиационных методов технологии и анализа МИЭТ; профессор Национального исследовательского Томского государственного университета. *Область научных интересов:* ионная имплантация в полупроводники, процессы формирования структур (самоорганизация) в твердых телах при облучении. **E-mail:** rmta@miee.ru