DOI: 10.17117/na.2016.12.02.200

<http://ucom.ru/doc/na.2016.12.02.200.pdf>

Поступила (Received): 19.12.2016

Шолина И.С., Герасимов Д.А. Полимеризация органических пленок рентгеновским излучением

Sholina I.S., Gerasimov D.A.
Polymerization of organic films by X- ray radiation

Рассмотрена роль рентгеновского излучения в процессах полимеризации и деструкции органических тонких пленок, нанесенных на подложку. Отмечается роль фото и оже электронов, генерируемых рентгеновским излучением

Ключевые слова: тонкие пленки, рентгеновская литография, полимеризация

Examined the role of X-ray radiation polymerization processes and degradation of organic thin films deposited on a substrate. It is noted the role of photo and Auger electrons generated by X-rays

Key words: thin films, X-ray radiation, polymerization

Шолина Ирина Серафимовна

Ассистент

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ"
г. Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5

Sholina Irina Serafimovna

Assistant

Saint Petersburg electrotechnical university "LETI"
Saint Petersburg, Prof. Popova st., 5

Герасимов Дмитрий Алексеевич

Студент

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ"
г. Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5

Gerasimov Dmitri Alekseevich

Student

Saint Petersburg electrotechnical university "LETI"
Saint Petersburg, Prof. Popova st., 5

Единственным реальным инструментом в пошаговом экспонировании в процессах прецизионной литографии является остросфокусированный наноразмерный пучок электронов [1-3], но такая технология относится к индивидуальным методам обработки. Для выпуска массовой продукции необходимы групповые методы обработки, наиболее перспективным среди которых является рентгеновская литография, которая и будет определять максимально достижимое разрешение [4-6]. Вклад затрат на литографические процессы при разрешении менее одного микрона составляет примерно половину всей стоимости микросхемы, а выход в наноразмерную область в разы увеличивает стоимость литографических процессов. Выход годных на операции репродуцирования изображения при минимальном размере 0,1 мкм колеблется от 0,1 до 2-3%.

Процесс рентгеновского экспонирования можно моделировать с помощью двух алгоритмов. Первый рассматривает непосредственное взаимодействие кванта рентгеновского излучения с атомом или молекулой резиста, тот или

иной механизм передачи энергии (здесь есть несколько подходов) и разрыв химической связи (позитивный резист) или ее образование (негативный резист).

Более сложный подход развивает вторая модель, которая рассматривает процесс экспонирования как двухстадийный. На первой стадии рентгеновский квант в подложке генерирует фото и оже электроны, которые уже на второй стадии полимеризуют или деструктурируют резист. Плотность энергии, рассеиваемой фото и оже электронами, вылетевшими из подложки, по глубине резиста является функцией интенсивности рентгеновского излучения и линейного коэффициента ослабления излучения материалом подложки J_0 . Длина пробега электронов с соответствующей начальной кинетической энергией обратно пропорциональна плотности вещества подложки и заряду атома вещества подложки и прямо пропорциональна начальной энергии электрона и эффективному атомному весу соответственно. При этом реальный интерес представляют только те электроны, которые обладают энергией достаточной для ионизации атомов резиста, т.е. превышающей средний потенциал ионизации. Таким образом, из подложки в резист могут вылететь только те фото и оже электроны, которые образовались в тонком приповерхностном слое подложки. При этом должно выполняться условие, что произведение толщины этого приповерхностного слоя на величину линейного коэффициента ослабления излучения материалом подложки L_{Σ} для рассматриваемых материалов подложки и длин волн рентгеновского излучения должно быть много меньше единицы.

Распределение вылетевших электронов по направлениям вылета можно описать, пользуясь выражением

$$J \approx 1 + \frac{\beta}{2} \left(\frac{3}{2} \sin^2 \theta - 1 \right) = q + \rho \sin^2 \theta$$

где θ – угол между направлениями падающего фотона и вылетевшего вторичного электрона. Для простоты рассмотрим сначала только член пропорциональный $\sin^2 \theta$ и будем считать, что из тонкого слоя на границе раздела резист-подложка вылетело n_0 электронов с энергией E и угловым распределением $J \approx \sin^2 \theta$. Тогда число электронов, поглотившихся на глубине x в резисте будет равно:

$$\frac{dn}{dx} = \frac{3}{2} \frac{n_0}{L_{\Sigma\Pi}} \left(1 - \frac{x^2}{L_{\Sigma\Pi}^2} \right)$$

Для определения энергетических потерь этих электронов целесообразно воспользоваться законом энергетических потерь Бете-Блоха. Определив энергию, рассеиваемую электронами, генерируемыми подложкой, в слое резиста толщиной dx на глубине x_0 и выражая энергию $E(x, x_0)$, которой обладают эти электроны на глубине x_0 через путь, проходимый ими в резисте $L_{\Sigma\Pi}$ и глубину x , на которой они рассеиваются и производя различные манипуляции можно определить плотность потока энергии, переносимой фото и оже электронами подложки через единицу площади на глубине x в резисте:

$$Q(x_0) = \frac{3}{4} \frac{J_0}{kE_{KB}} \sum_{i=n_1}^{n_2} \frac{q_i \mu_i}{L_{\Sigma\Pi i}} \int_{x_0}^{L_{\Sigma\Pi i}} \int_{\eta}^{L_{\Sigma\Pi i}} \int_{\xi}^{L_{\Sigma\Pi i}} \left(\frac{L_{\Sigma\Pi i}}{x} - \frac{x}{L_{\Sigma\Pi i}} \right) \frac{E(x, \xi, L_{\Sigma\Pi i})}{dx} dx d\xi d\eta$$

$$+ \frac{3}{8} \frac{J_0}{kE_{KB}} \sum_{i=n_1}^{n_2} \frac{\rho_i \mu_i}{L_{\Sigma\Pi i}} \int_{x_0}^{L_{\Sigma\Pi i}} \int_{\eta}^{L_{\Sigma\Pi i}} \int_{\xi}^{L_{\Sigma\Pi i}} \left(\frac{L_{\Sigma\Pi i}}{x} + \frac{x}{L_{\Sigma\Pi i}} \right) \frac{dE}{dx} dx d\xi d\eta$$

Получается универсальная формула зависимости энергии, рассеиваемой в резисте фото и оже электронами, вылетевшими из подложки, от материала подложки и длины волны падающего рентгеновского излучения. Подставляя в неё конкретные параметры резиста и подложки можно оценить то влияние, которое оказывает подложка на процесс экспонирования, как для негативных, так и для позитивных резистов для каждого реального случая.

Известны попытки использования процессов самоорганизации и самосборки для синтеза наноразмерных частиц и формирования на подложке сложно организованных структур [7-12], но они пока не выходят за рамки пионерских исследовательских работ и, следовательно, пока не имеют промышленной перспективы.

Список используемых источников:

1. Кузнецов Н.Т., Новоторцев В.М., Жабров В.А., Марголин В.И. Основы Нанотехнологии. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. 397 с.
2. М.В. Бестаев, В.А. Жабров, В.И. Марголин, А.А. Арутюнянц Физико-химические и химико-технологические основы субмикронной технологии. Владикавказ: Изд-во СОГУ, 2009. 172 с. гриф УМО
3. В.И. Марголин, В.А. Жабров, В.А. Тупик Физические основы микроэлектроники. М.: Академия, 2008. 400 с.
4. Жабров В.А., Лукьянов Г.Н., Марголин В.И., Рыбалко В.В., Тупик В.А. Введение в нанотехнологию. Учебное пособие – Московский государственный институт электроники и математики (технический университет), М., 2007. 293 с.
5. М.В. Бестаев, В.А. Жабров, В.И. Марголин, А.А. Арутюнянц Физико-химические и химико-технологические основы субмикронной технологии. Владикавказ: Изд-во СОГУ, 2009. 172 с.
6. Способ электронной литографии. Марголин В.И., Мамыкин А.И., Потехин М.С., Тупик В.А., Шелудько В.Н. Патент РФ на изобретение № 2462784, приоритет от 31 марта 2011 года, зарегистр. в Гос. реестре 27 сент. 2012 г.
7. Zhabrev V.A., Margolin V.I. Some Questions in Fractal Nanotechnology // Inorganic Materials, 2008, Vol. 44, No 13, pp 65-82. Pleiades Publishing, Ltd, 2008.
8. Жабров В.А., Чуппина С.В., Марголин В.И. Самоорганизация как осознанный выбор направления химического процесса // Физика и химия стекла. 2008. Т.34. № 6. С. 841-865.
9. V.A. Zhabrev, V.I. Margolin, V.A. Tupik, Chu Trong Su Modeling Processes of Nanoparticle Synthesis and Analyzing the Results via SEM, Bulletin of the Russian Academy of Sciences, Physics, Vol. 79, No. 11, Pp. 1498-1500, 2015.
10. Жабров В.А., Марголин В.И., Тупик В.А. О самоорганизации наноразмерных частиц в процессах их агрегации // Нанотехника. 2013. № 1 (33). С. 25-31.
11. В.А. Жабров, В.И. Марголин, В.А. Тупик, Л.Ю. Аммон, В.С. Фантиков Самоорганизация наноразмерных частиц в процессах их агрегации // Известия академии Инженерных Наук им. А.М. Прохорова. 2013. № 3. С.3-18.
12. В.А. Жабров, В.И. Марголин, В.А. Тупик, Л.Ю. Аммон Моделирование самоорганизации наночастиц в химии наноразмерного состояния // Наука и технологии в промышленности. 2012. № 4. С. 126-132.