

06;07;12

ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР С ШИРИНОЙ ПОЛОСЫ 0.1 МКМ КОНТАКТНОЙ ПЕЧАТЬЮ НА ТОНКИХ ПЛЕНКАХ СУЛЬФИДА МЫШЬЯКА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭКСИМЕРНОГО ЛАЗЕРА

© Л.Г.Гладышева, Н.А.Калитеевская,
Р.П.Сейсян, Д.В.Смирнов

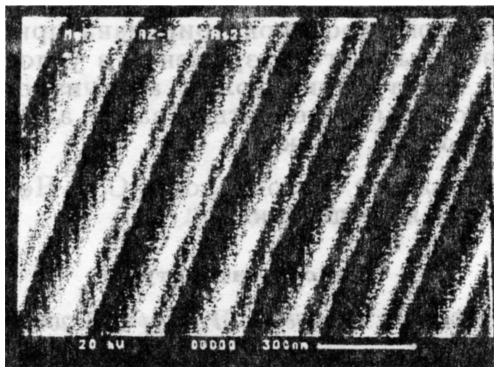
В связи с развитием субмикронной литографии, включая рентгеновскую проекционную технологию, вызывает интерес определение практического разрешения контактной литографии при использовании вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) излучения. Такая методика позволяет на традиционных установках совмещения и экспонирования использовать в качестве источника ВУФ излучения эксимерный лазер, обладающий рядом преимуществ: высокой плотностью мощности в импульсе и строгой монохроматичности излучения.

В настоящей работе изучалось взаимодействие излучения эксимерного лазера, работающего на длинах волн 308, 248, 193 нм с широким кругом неорганических материалов, наносимых на подложку в виде тонких пленок различными методами. Среди испытанных слоев Cr_2O_3 , Ge_3N_4 , As_2S_3 , AsSe , SmS , Fe_2O_3 , TiO_2 , SnO_2 , Al_2O_3 и ряд других [¹⁻³]. Практически во всех этих материалах в первую очередь наблюдались фотохромные превращения независимо от энергии в импульсе. Этот процесс, по-видимому, является беспороговым по дозе. В то же время явно существует "красная" граница по энергии кванта $h\nu$. При увеличении длины волны энергия, необходимая для визуального наблюдения фотохромных превращений, практически экспоненциально растет, демонстрируя нетепловую природу эффекта. Эти процессы эффективны, если $h\nu > E_g$, где E_g — ширина запрещенной зоны, соответствующая кристаллическому состоянию. При некотором увеличении дозы обнаруживается возможность селективного растворения экспонированных (неэкспонированных) участков — фотостимулированное травление. При дальнейшем увеличении энергии в импульсе, начиная с некоторого порога, начинается аблятивное удаление материала слоя: происходит фотоабляция, сменяющаяся термофотоабляцией, характеризующейся более высоким порогом. Особенностью всех этих наблюдаемых процессов

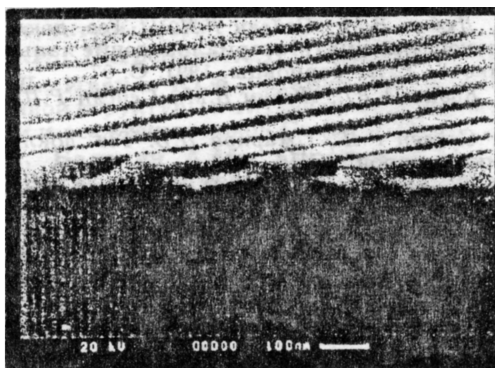
является нарушение закона взаимозаместимости: эффекты зависят не только от экспозиции H , но и от энергии в импульсе $[1-3]$. В некоторых случаях чувствительность к радиации столь велика, что достигает уровня наиболее чувствительных органических фоторезистов для видимой и ближней ультрафиолетовой области спектра. Одним из таких материалов оказывается AsSe, исследованный в $[4]$, где полное проявление слоя толщиной 0.2 мкм оказалось возможным при экспозиции одним импульсом длительностью 20 нс с энергией 8 мДж/см². Но особенно ценным для достижения высокой разрешающей способности может оказаться обнаруженный в $[4,5]$ эффект гигантского увеличения контраста передачи изображения. Целью настоящей работы была прямая проверка возможности получения сверхвысокого разрешения контактной печати на пленках As₂S₃ при использовании импульсного излучения эксимерного лазера.

Для измерений использовалась лабораторная установка, представлявшая собой эксимерный лазер ArF (193 нм) с длительностью импульсов 20 нс, с кварцевым конденсором, использующим растровую дифракционную линзу. При помощи поворотного зеркала создавалась относительно равномерная освещенность на площади $D = 50$ мм образца. Лазер оптически совмещался с механической частью стандартной установки совмещения и экспонирования. В процессе эксперимента мы не предпринимали никаких специальных мер, позволяющих уменьшить зазор между образцом и шаблоном δ , что дает основания считать его имеющим порядок 5-10 мкм. Для определения разрешающей способности использовались штриховые миры: с минимальным размером элементов $a_{\min} = 300$ нм, изготовленная электролитографическим способом на кварцевой пластине с хромовым покрытием, и с $a_{\min} = 100$ нм (шаг 200 нм), изготовленная интерференционным (голографическим) методом $[6]$ на пластинке из монокристаллического MgF₂ вакуумно-ультрафиолетового качества, выращенного в вакуумном реакторе, с золотым покрытием. Слои As₂S₃ толщиной в 800-1000 Å наносились испарением в вакууме на полированные полупроводниковые подложки из кремния и арсенида галлия. Применялась комбинированная техника сухого и жидкостного проявления.

Предварительные эксперименты были выполнены на кварцевых фотошаблонах с использованием KrF в качестве активной среды (249 нм). Был получен отпечаток затвора высокочастотного полевого транзистора шириной 0.3 мкм двумя импульсами 10 мДж/см² в слое As₂S₃ толщиной 0.2 мкм. При стандартном жидкостном проявлении хорошо воспроизводятся особенности шаблона, характеризу-



а



б

Фотография с электронного микроскопа отпечатка, полученного при помощи интерференционного фотошаблона на пленке As_2S_3 . Экспозиция AgF (193 нм) излучением 50 импульсов $E_{\text{и}} = 7 \text{ мДж/см}^2$. а — вид сверху б — скол.

ась довольно крутым краем (размытие $\delta = 70 \text{ нм}$). Наконец, на рисунке а и б мы воспроизводим основной результат выполненного эксперимента — соответственно вид сверху и скол отпечатка, полученного при использовании интерференционного фотошаблона ($a_{\text{min}} = 100 \text{ нм}$). Анализ электронно-микроскопических изображений показывает реализацию минимального размера, характеризуемого шириной штриха $a_{\text{min}} = 80 \text{ нм}$, что соответствует разрешающей способности (число штрихов на один миллиметр) $R = 6250$. Уменьшение ширины штриха по-видимому связано с интерференционной засветкой тени. Интересно, что край полосы As_2S_3 является весьма крутым и величина δ не превышает нескольких нанометров. Отметим также существенное “падение чувствительности”: экспозицию составили 50 импульсов $E_{\text{и}} = 7 \text{ мДж/см}^2$, тогда как для воспроизведения

затвора полевого транзистора было достаточно двух импульсов 10 мДж/см^2 .

Таким образом, продемонстрирована практическая возможность сверхвысокого разрешения в условиях контактной печати, когда длина волны актиничного излучения вдвое превосходит межэлементный зазор, а зазор между шаблоном и подложкой велик.

Авторы выражают благодарность С.И. Нестерову за изготовление и проявку пленок.

Список литературы

- [1] Бараш Е.Г., Кабин А.Ю., Сейсян Р.П. // Тез. 20 Всесоюзного конгресса. Киев, 1988.
- [2] Бараш Е.Г., Кабин А.Ю., Сейсян Р.П. Тез. IV Всесоюзн. конференции по физике диэлектриков. Томск, 1988.
- [3] Бараш Е.Г., Любин В.М., Сейсян Р.П. // Тез. докл. III Всесоюзн. научно-техн. конференции "Материаловедение халькогенидных полупроводников". Т. II. Черновцы. 1991. С. 97.
- [4] Бараш Е.Г., Кабин А.Ю., Любин В.М., Сейсян Р.П. // ЖТФ. 1992. Т. 3. С. 106.
- [5] Бараш Е.Г., Сейсян Р.П., Смирнов Д.В. Тез. докл. международн. конф. "Оптика лазеров". СПб, 1993.
- [6] Johnson L.F., Kammlottv, Ingersoll K.A. // Appl. Optics. 1978. V. 17. N 8. P. 1165-1181.

Физико-технический
институт
им. А.Ф. Иоффе РАН
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
11 июня 1996 г.