СЕПАРАЦИЯ ЧАСТИЦ ЛАЗЕРНОГО ЭРОЗИОННОГО ФАКЕЛА В ПРОЦЕССЕ НАПЫЛЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК Si.

Е.В. Хайдуков, А.А. Лотин, Д.Н. Мельников, О.А. Новодворский, В.Я. Панченко

Учреждение Российской академии наук Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН, г. Шатура, Россия E-mail: <u>khaydukov@mail.ru</u>

The velocity distribution of the different size particles of the erosive laser plume at the Si target ablation have been measured experimentally. The influence of the mechanical separation method on the Si films surface quality and their inhomogeneity have been investigated. The Si thin films have been received by the pulse laser deposition (PLD) method. It was established that the mechanical separation method allows to exclude the hit of Si drops on the film in the deposition process.

Современные тенденции В микроэлектронике ведут созданию К нанометровых Постоянно качественных пленок толщин. повышаются требования к однородности и гладкости поверхности получаемых структур. Для создания пленок нужного качества очень перспективен метод лазерноплазменного напыления, т.к. В процессе роста участвуют высокоэнергетические частицы плазмы, что позволяет получать сплошные пленки с высокой адгезией и кристаллическим совершенством. Важным достоинством метода является точный контроль скорости осаждения частиц, шероховатости, однородности [1].

Однако у этого метода имеется и недостаток: при абляции наряду с ионизованной и атомарной частью факела образуется большое количество капель, что может ухудшать морфологию получаемых пленок [2]. Для предотвращения попадания на поверхность подложки микрочастиц факела применяют различные методы: метод скрещенных пучков [3], неосевое осаждение [4], скоростная механическая сепарация [5].

Лазерно-плазменное напыление позволяет контролируемо получать аморфные, поликристаллические и монокристаллические пленки [6]. Применение этого метода напыления позволит внедрить в существующие "кремниевые" технологии процесс создания вертикальных, многослойных структур на базе кремния, например VICSEL. При осаждении пленок Si методом лазерно-плазменного напыления мы применили метод механической сепарации частиц.

Скоростная фильтрация использует различие в скоростях разлета заряженных частиц, атомарной компоненты и капель в факеле. Для этого на пути разлета плазмы устанавливается быстро вращающийся диск с отверстием. Вращение диска синхронизировано с работой лазера, который осуществляет абляцию, т.е. импульс излучения попадает на мишень в момент, когда отверстие располагается напротив подложки. После пролета ионов и атомов через отверстие диск перекрывает оставшуюся часть факела, препятствуя попаданию капель на пленку. В настоящей работе было исследовано влияние механической сепарации на качество поверхности пленок, их однородность, а также экспериментально измерено распределение частиц разных размеров в плазменном факеле по скоростям.

Для установления требуемой скорости вращения диска нами был проведен эксперимент по определению размера и скоростей частиц, присутствующих в плазменном факеле. Схема эксперимента представлена на рис.1. Излучение ИК АИГ:Nd³⁺ - лазера при частоте следования импульсов ~ 10 Гц фокусировалось линзой с f = 60 см на мишень Si помещенную в вакуумную камеру с остаточным давлением 10^{-6} Topp. На пути разлета плазмы устанавливалась диафрагма и подвижный алюминиевый диск, вращение которого синхронизовано с моментом абляции кремниевой мишени (в момент абляции мишени диск находится в одном положении). По краю диска приклеивалась полированная кремниевая пластина (вейфер). Расстояние между мишенью и диском 6,5 см, диафрагмой и диском 1 см, ширина щели 0,1 см, расстояние от центра диска до оси факела, показанной на рис. 1 пунктиром, составляло 4,5 см.



Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1 – вращающаяся мишень Si, 2 – луч лазера, 3 – плазма, 4 – диафрагма, 5 – вращающийся диск.

После напыления диск исследовался под оптическим микроскопом. Фотографировались участки поверхности кремниевого диска площадью $69*10^{-3}$ мм². Подсчитывалось количество капель, их размер, и определялось их местоположение на диске для различных времен задержки относительно точки пересечения оси факела с диском. При скорости вращения диска n = 2178 об/с (1 градус за 0,076 мс), после напыления в течение 80 минут при энергии излучения в импульсе E = 370 мДж, длительность 10 нс, было получено распределение, представленное на рис.2.



Рис. 2. Экспериментальная зависимость числа капель в различные моменты времени от начала абляции Si мишени.

Как видно из полученного распределения, скорости капель с размером менее 1 мкм в факеле Si при условиях приведенных выше имеет значение $\upsilon \le 0,35$ км/с.

Кроме того, были построены распределения по времени прилета для различных капель. Для этого размеров на каждом участке диска, соответствующем определенному **УГЛОВОМУ** смещению, отдельно подсчитывали количество капель по нескольким группам: размером до 1 мкм включительно; от 1,5 до 3 мкм включительно; от 3 до 5 мкм включительно и капель размером свыше 5 мкм. Результаты представлены на рис.3.



Рис. 3. Экспериментально полученное распределение капель разных размеров в различные моменты времени от начала абляции Si мишени.

Было установлено, что скорость атомарной составляющей плазменного факела $\upsilon \ge 1$ км/с. Для этого, при тех же условиях эксперимента, диск вращался со скоростью 7100 об/мин, при размере щели 2 мм. После напыления на диске наблюдалось ровное, не «смазанное» в сторону вращения пятно. Отсюда следует, что линейная скорость вращения диска V= меньше скорости атомарной составляющей факела для мишени Si, т. е. скорости атомов превышают $\upsilon \ge 1$ км/с.

В подтверждение экспериментально измеренным данным были получены Si пленки на подложках Al₂O₃ (0001) при комнатной температуре с использованием скоростной фильтрации.

Расстояние от подложки до мишени 7,5 см, диск находился на расстоянии от мишени 6,5 см, частота следования лазерных импульсов 10 Гц, энергия импульса 370 мДж, длительность 10 нс, время осаждения 40 мин, средняя скорость осаждения 0,025 А/имп.

Поверхность пленки рис.4(б) изучалась с помощью атомно силового микроскопа, шероховатость пленки составила значение ~ 1 нм.



Рис. 4. Фотографии пленок Si без сепаратора (а) и с использованием скоростной фильтрации (б).

Таким образом, в настоящей работе с помощью скоростной фильтрации продуктов испарения, образующихся в результате воздействия ИК – лазера, были получены гладкие, однородные эпитаксиальные пленки с шероховатостью ~ 1 нм. Определены скорости капельной $\upsilon \leq 0,35$ км/с и атомарной составляющей факела $\upsilon \geq 1$ км/с, построены соответствующие распределения частиц.

- 1. В.Я.Панченко, О.А.Новодворский, В.С.Голубев, Наука и технологии, 39, 4 (2006).
- 2. А.В.Варлашкин, С.И.Красносвободцев, М.Л.Чухаркин, и д.р., Журнал Технической Физики, №77, 127, (2007).
- 3. A.Gorbunov, A.Tselev, W.Pompe, Cross-beam laser deposition of ultrathin multilayer metal films, in 6th International Conference on Industrial Lasers and Laser Applicatins'98, V.Ya.Panchenko, V.S.Golubev, Editors, Proceedings of SPIE Vol. 3688, p. 351-358 (1999).
- G.Calestani, A.Migliori, U.Spreitzer, S.Hauser, M.Fuchs, H.Barowski, T.Schauer, W.Assmann, K.-J.Range, A.Varlashkin, O.Waldmann, P.Müller, and K.F.Renk. Ba-Ca-Cu oxycarbonate thin films, prepared by pulsed laser deposition: structure, growth mechanism and superconducting properties. <u>Physica C, v.</u>312(3-4), p. 225-232 (1999).
- 5. А.Н.Жерихин, А.И.Худобенко, Р.Т.Вилльямс, Дж.Вилкинсон, К.Б.Усер, Г.Хиониг, В.В.Воронов, Квантовая электроника, 33, 11 (2003).
- 6. О.А.Новодворский, Е.О.Филиппова, О.Д Храмова. и д.р. Квантовая Электроника. 2001. Т.31. №2. С, 159-163.