**Фемто- и наносекундное лазерное воздействие для получения проводящих дорожек**

***Ултургашева Е.В., Настулявичус А.А.***

*Аспирант, 1 год обучения*

*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия*

*E-mail: e.ulturgasheva@lebedev.ru*

Современные подходы печати проводящих элементов развиваются с учетом требований малых размеров элементов, гибкости, низкой стоимости и высокой производительности, что особенно важно для многих отраслей, например, в микроэлектронике. Одним из таких подходов является лазерно-индуцированный прямой перенос (ЛИПП). Все металлы, полупроводники и диэлектрические материалы подходят для данного метода. Главным преимуществом этого способа паттернирования является возможность быстрого и точного размещения материалов на любой подложке благодаря бесконтактному переносу и тщательному контролю лазерного сканирования.

В данной работе рассматривается разработка универсальной нелитографической технологии высокопроизводительной бесконтактной аддитивной лазерной печати проводящих элементов. Для более качественного анализа технологии ЛИПП анализируется влияние фемто- и наносекундного воздействия на тонкие пленки металлов (серебро, алюминий, медь).

При использовании наносекундного лазера печать осуществлялась в один этап со скоростью до 10 см²/с, без дополнительной постобработки, т.к. режим печати подбирался таким образом, чтобы он включал лазерный отжиг (спекание). Такой подход обеспечивает высокую скорость, контроль, пространственное разрешение (на уровне 50 мкм) и гибкость нанесения схем (топографий) соединений. Эти параметры контролируются лазерными настройками и зернистостью переносимых наночастиц, что позволяет варьировать толщину проводящего покрытия от 60 до 250 нм, потенциально снижая этот параметр до 10 нм. В наших прошлых работах максимальная проводимость серебряной дорожки составила 83 кСм/см [1].

Один из наиболее используемых материалов для изготовления электрических контактов – алюминий, поэтому мы исследовали перенос алюминиевой фольги различной толщины на кремниевые подложки. Было показано, что можно впечатать фольгу, без повреждения акцепторной подложки и получить электросопротивление проводящего элемента на уровне 1-5 Ом.

При исследовании фемтосекундных импульсов мы получили более контролируемый перенос металла. В этом исследовании мы использовали тонкие пленки серебра, которые были успешно легированы в поверхность кремния. Эта технология позволяет достигать высокой точности, минимизировать термические повреждения и работать с легированием на наноуровне, что открывает широкие возможности для разработки новых продуктов в области микроэлектроники, нанотехнологий, медицины и других высокотехнологичных областей.

Проведенное исследование показало, что использование фемтосекундных импульсов открывает путь к получению новых материалов за счет легирования металла в поверхность акцепторной подложки; в случае наносекундных импульсов – переносится большее количество материала, что, в свою очередь, повышает проводимость элементов и является лучшим решением для изготовления высокопроводящих элементов.

*Благодарность: Работа выполнена при поддержке министерства науки и высшего образования Российской федерации (соглашение № 075-15-2023-603)*

**Литература**

1. Nastulyavichus A., Kudryashov S., Shelygina S., Smirnov N., Pakholchuk P., Saraeva I., Zayarny D., Ulturgasheva E., Khmelenin D., Emelyanova O., Pryakhina V., Pokryshkin N., Kuzmin E., Gorevoy A., Minh P.H., Van Duong P. One-Step Non-Contact Additive LIFT Printing of Silver Interconnectors for Flexible Printed Circuits // Photonics. 2024. Vol. 11. P. 119.