

УДК 62-942

ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ МАГНЕТРОНА НА СКОРОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ НИОБИЯ

Зими́на Полина Сергеевна

Студентка 3 курса,

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: К.М. Моисеев,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Тонкие пленки широко используются в микроэлектронике, оптике, медицине и других областях. [1] Пленки из ниобия нашли свое применение в электронике. Так на их основе создаются однофотонные детекторы (SNSPD, superconducting nanowire single-photon detector). Для этого важно формировать пленку заданной толщины, так как от толщины пленки зависят важные характеристики, такие, как критическая температура (температура, при которой пленка становится сверхпроводящей). [2]. Толщина пленки в свою очередь определяется временем скоростью осаждения. Поэтому необходимо знать скорость осаждения пленки при различных режимах ее формирования.

Для напыления пленки из ниобия выбран метод магнетронного напыления. Он универсален (можно напылять металлы, сплавы, диэлектрики, магнитные композиции), позволяет при относительно простой конструкции наносить покрытие равномерно и регулировать скорость осаждения. [1] При магнетронном напылении ключевым фактором, определяющим скорость осаждения, является мощность магнетрона. Целью работы является выявление зависимости скорости осаждения от мощности магнетрона.

Толщину пленки можно оценить с помощью кварцевого резонатора. Масса нанесенного на резонатор покрытия прямо пропорциональна уменьшению собственной частоты колебаний кварцевого резонатора [3], поэтому, измерив частоту кварцевого резонатора до и после нанесения пленки и зная ее плотность, можно определить толщину нанесенной пленки и скорость осаждения. [4]

В лаборатории «Наноинженерия тонких пленок» кафедры МТ-11 пленки Nb формируются на установке ВУП-11М методом магнетронного распыления. Для исследования скорости осаждения проводится эксперимент по нанесению Nb на кварцевый резонатор при различных значениях мощности магнетрона. Остаточное давление в камере составляет $2 \cdot 10^{-2}$ Па. Подача рабочего газа (аргона) 2,6 л/час. Мощность магнетрона варьируется от 100 до 140 Вт с шагом 10 Вт. Нанесение Nb производится из DC блока.

Кварцевый резонатор закрепляется на подложкодержателе. К контактам припаяны провода, ведущие к токовводу установки. Снаружи токоввод соединен с частотомером. Измерения проводятся в одном вакуумном цикле. Собственная частота резонатора измеряется перед нанесением первого слоя. Каждый слой покрытия наносится на кварцевый резонатор в течение 5 минут, после чего измеряется его собственная частота. Режим работы обусловлен предположением, что за такое время на подложку осядет достаточный для измерения слой ниобия. Для того чтобы снизить вероятность возникновения ошибки, для каждой экспериментальной точки проводятся три параллельных наблюдения. Собственная частота резонатора так же была измерена до нанесения первого слоя.

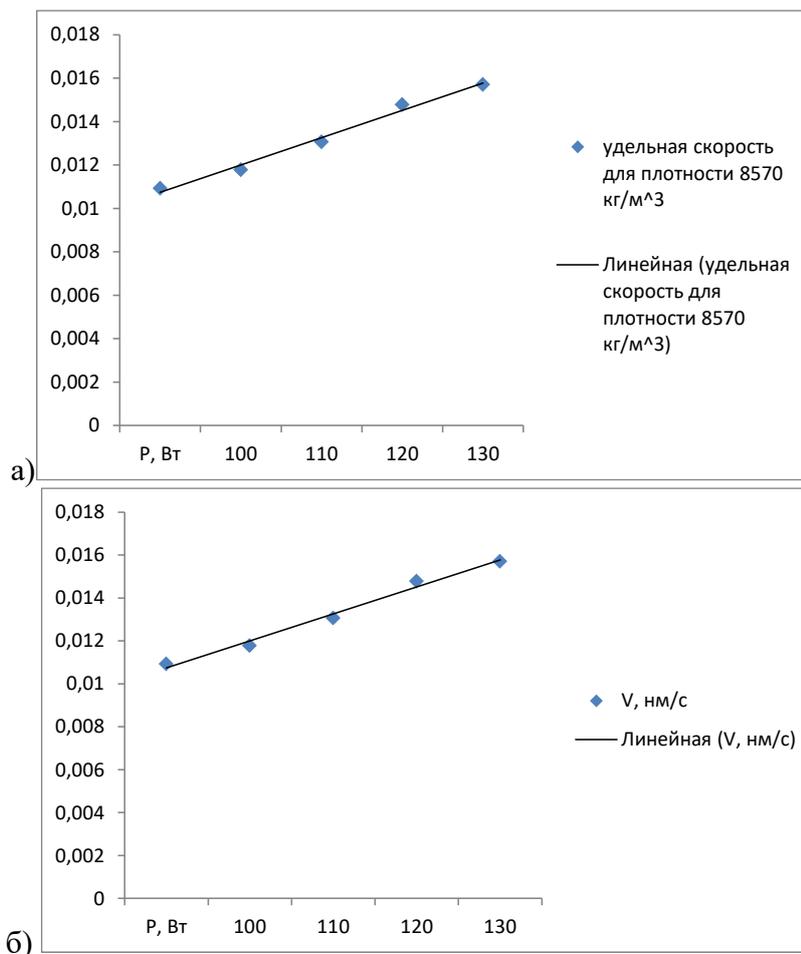


Рис. 1. График зависимости скорости осаждения ниобия от мощности магнетрона

По результатам экспериментальных данных построен график зависимости удельной массовой скорости осаждения ниобия от мощности магнетрона (рис.1,а). Предполагаем, что плотность пленки 8570 кг/м^3 [7], исходя из чего пересчитываем удельную массовую скорость осаждения в нм/с (рис.1,б). Полученная математическая модель описывается уравнением $y=ax+b$.

В результате проведенного эксперимента с помощью кварцевого микровзвешивания измерена удельная массовая скорость осаждения пленки Nb на кварцевый резонатор при мощности магнетрона от 100 до 140 Вт. Для пленки Nb плотностью 8570 кг/м^3 получена математическая модель зависимости скорости осаждения (нм/с) от мощности магнетрона: $V=aP+b$, где V и P – скорость осаждения (нм/с) и мощность магнетрона (Вт) соответственно, коэффициенты a и b равны $0,0013$ и $0,095$. Модель адекватна, так как значение коэффициента достоверности при аппроксимации $R^2=0,988$ близко к 1. Поэтому в дальнейшем описанную модель можно использовать для формирования пленок Nb требуемой толщины.

Литература

1. Формирование функциональных слоев: учебное пособие / Ю.В. Панфилов. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 122 с.:ил.;
2. Pinto, N., Rezvani, S.J., Perali, A. et al. Dimensional crossover and incipient quantum size effects in superconducting niobium nanofilms. *Sci Rep* 8, 4710 (2018). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22983-6> (дата обращения: 14.03.2023).

3. *Д.Д. Васильев, Е.И. Малеванная, К.М. Моисеев.* Исследование скорости осаждения ультратонких сверхпроводящих пленок WSi при варьировании энергии частиц осаждаемого материала: сб.ст. 25 XXV научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов «Вакуумная наука и техника». – Судак, 2018. – с.221-227.;
4. Хыдырова С. ., Васильев Д. Д. Измерение толщин тонких пленок методом пьезоэлектрического микровзвешивания. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 3 – 6 апреля, 2018, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2018.– № гос. регистрации 0321800963.– URL: studvesna.ru?go=articles&id=2386 (дата обращения: 14.03.2023);
5. Кварцевые резонаторы и генераторы: учебное пособие / И.В. Хоменко, А.В. Косых; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. – 160 с.:ил.;
6. Технология тонких пленок: справочник. В 2 т. Т. 1. / ред. Л.Майссел, Р.Глэнг. – Нью-Йорк, 1970. Пер. с англ. Под ред. М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко. М. «Советское радио», 1977. 664 с.;
7. Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bigenc.ru/c/niobii-2ffcbc> (дата обращения: 14.03.2023).