

Установка для CVD синтеза алмаза на основе 28 ГГц/20 кВт гиротрона

Горбачев А.М.¹, Богданов С.А.¹, Вихарев А.Л.¹, Каменский М.В.¹, Морозкин М.В.¹, Орловский А.А.¹, Проявин М.Д.¹, Соболев Д.И.¹

gorb@ipfran.ru

¹ Институт прикладной физики РАН

За последние десятилетия плазменные CVD реакторы для синтеза алмаза, по-видимому, достигли пределов своего развития. Такие реакторы позволяют выращивать разнообразные материалы – поликристаллические пленки и пластины, эпитаксиальные монокристаллические слои, нанокристаллические пленки. Основным недостатком таких реакторов, который определяет все еще высокую цену CVD алмаза и сдерживает его применение в науке и технике, является относительно низкая скорость роста. Для поликристаллических алмазных пластин большого диаметра (несколько сантиметров) она, как правило, составляет 1-3 мкм/час. Для создания плазмы обычно используется излучение на частотах 2.45 ГГц или, реже, 915 МГц. В ИПФ РАН был предложен новый тип плазменного CVD реактора, в котором для поддержания плазмы используется излучение технологического гиротрона на частоте 28 ГГц [1]. Применение высокочастотного излучения из-за увеличения величины критической концентрации электронов позволяет получать плазму с большей концентрацией электронов, чем на частоте 2.45 ГГц и, следовательно, достигать больших значений СВЧ мощности, поглощаемой в единице объема плазмы. Последнее приводит к интенсификации физико-химических процессов и увеличению скорости роста алмаза. Однако, проведенные исследования показали, что при имевшейся мощности гиротрона около 10 кВт для поддержания плазменного слоя над подложкой большого диаметра 75 мм к смеси газов водород-метан необходимо добавлять аргон в больших количествах (десятки процентов). В этих условиях была достигнута высокая скорость роста поликристаллического алмаза порядка 7 мкм/час, но добавка аргона приводит к ухудшению его качества [1].

Недавно в ИПФ РАН был предложен новый тип технологического гиротрона, в котором осуществлен переход на генерацию на первой вместо второй гармонике циклотронной частоты. При этом практически в два раза возрос КПД гиротрона и, следовательно, его выходная мощность. Необходимое увеличение величины магнитного поля было достигнуто за счет применения новой магнитно-экранированной конструкции основного соленоида гиротрона. В существующую установку для исследования синтеза алмаза был установлен новый гиротрон с магнитно-экранированной системой, который обеспечивает мощность 20 кВт на частоте 28 ГГц [2]. Первые проведенные эксперименты показали, что при такой мощности возможно создавать плазму над подложкой диаметром 75 мм в газовой смеси с малым содержанием аргона, при котором он не оказывает существенного влияния на рост алмаза. В докладе будут представлены подробное описание установки на основе гиротрона и последние результаты проводимых на ней исследований.

Исследование выполнено в рамках проекта ИПФ РАН «Создание мощных источников электромагнитного излучения ЭЦР диапазона» FFUF-2022-0007.

Ссылки

1. A.L. Vikharev, A.M. Gorbachev and D.B. Radishev, J. Phys. D: Appl. Phys. (2019) 52, 014001.
2. С.А. Богданов, А.Л. Вихарев, М.Ю. Глявин, А.М. Горбачев, М.В. Каменский, М.В. Морозкин, А.А. Орловский, М.Д. Проявин, Д.И. Соболев, Е.А. Солуянова, Е.М. Тай, В.В. Холопцев, XIV Всероссийская научно-техническая конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ». Сборник докладов. Санкт-Петербург. 2 - 6 июня 2025 г. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 425.