МЕТОДЫ ПЛАЗМЕННОЙ АКТИВАЦИИ АЗОТА ДЛЯ РОСТА НИТРИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Синцов С.В., Водопьянов А.В., Мансфельд Д.А., Сидоров А.В., Викторов М.Е.

Институт прикладной физики, г. Нижний Новгород, Россия, [sintcovs@mail.ru](mailto:sintcovs@mail.ru)

Благодаря своим уникальным свойствам соединения нитридов металлов третьей группы за последние годы стали одними из наиболее перспективных материалов современной оптоэлектроники. Эти полупроводниковые соединения являются идеально подходящими для создания высокоэффективных солнечных батарей, светодиодов инфракрасного и оптического диапазонов, а также электронных устройств СВЧ диапазона [1]. Однако, ключевой проблемой получения таких нитридов является технологическая сложность получения активного азота. Учитывая сравнительно низкие температуры разложения многих соединений группы A3N, подходящим методом является плазменная активация азота. Под активным азотом здесь понимается либо диссоциированный атом, принимающий участие в реакции соединения, либо колебательно-возбужденная молекула с энергией, достаточной для протекания реакции обмена. В реализованных источниках активного азота температура электронов не превышает 5 эВ, что говорит о доминировании механизма ступенчатой диссоциации молекулы азота через колебательно-возбужденные уровни над диссоциацией прямым электронным ударом. Также скорость диссоциации молекулы азота экспоненциально возрастает с увеличением номера кванта колебательного возбуждения. Таким образом, оба вышеописанных ростовых канала однозначно зависят от колебательной температуры, характеризующей среднюю энергию распределения молекул азота по колебательным степеням свободы, и о параметрах исследуемых источников активного азота можно судить именно по ней.

Были исследованы параметры плазмы двух источников активного азота на основе высокочастотного (ВЧ) индукционного разряда с частотой 13,56 МГц и электронного циклотронного резонансного (ЭЦР) разряда, создаваемого с помощью технологического гиротрона с частотой излучения 24 ГГц [2]. Объем, занимаемый плазмой, на обеих установках примерно одинаковый и составляет порядка 50 см3. Измеряемыми характеристиками являлись концентрация электронов, температура электронов и колебательная температура молекул азота. Оказалось, что при одинаковых давлениях в газоразрядных камерах и значениях мощностей нагрева до 400 Вт, все измеряемые параметры на обеих установках совпадают в пределах погрешностей. Равенство колебательных температур (характерное значение порядка 1 эВ) говорит о том, что в диапазоне мощностей нагрева плазмы от 200 до 400 Вт, ВЧ разряд способен обеспечить поток активного азота не ниже, чем ЭЦР разряд. По измеренным параметрам плазмы и известным сечениям ступенчатой и прямой диссоциации азота, был оценен поток активного азота, пригодного для участия в реакции образования InN по обоим описанным ростовым каналам. Он составил 2 × 1019 шт/c при давлении 0,14 Торр и мощности нагрева 400 Вт. Энергетический порог колебательного возбуждения, преодоление которого необходимо для протекания реакции обмена составил для нитрида индия 3,4 эВ. Поток возбужденных молекул, с энергией, запасенной в колебаниях, большей вычисленного порога, составил 1,5 × 1019 шт/c.

Литература

1. M. Sato, “Epitaxial Growth of InN by Plasma-Assisted Metalorganic Chemical Vapor Deposition,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 36, no. Part 2, No. 5B, pp. L595–L597, May 1997.
2. A. Vodopyanov and D. Mansfeld, “Reactive nitrogen source based on ECR discharge sustained by 24 GHz radiation,” Jpn. J. Appl. Phys., vol. 54, no. 4, p. 040302, 2015.