

УДК 621.534.85

К.В.Рейх (5 курс, каф. ФТТ), Е.Д.Эйдельман, д.м.н., проф.

О ВЫБОРЕ МОДЕЛИ ПОЛЕВОЙ ЭМИССИИ ИЗ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПЛЕНОК

Поля, при которых наблюдается полевая эмиссия для алмазоподобных пленок, намного меньше, чем соответствующие поля для металлов. Это явление остается не объясненным. До сих пор не понято, какими свойствами должен обладать участок алмазоподобной пленки, чтобы из него наблюдалась полевая эмиссия.

Обсудим сначала самую распространенную модель – модель с β -фактором. Хорошо известно, что алмазоподобные пленки содержат не только основной алмазный компонент, но и графитизированные области. В модели с β -фактором предполагается наличие графитового проводящего канала сквозь толщу алмазной пленки, выходящего в виде эмиссионного центра на поверхность пленки. При такой геометрии системы усиление электрического поля вблизи эмиссионного центра (ЭЦ) можно оценить, и оно составит $\beta = Ah/r$, где h – длина проводящего канала (соизмеримая с толщиной пленки), r – характерный размер эмиссионного центра. Коэффициент $A > 1$ – величина, зависящая от формы ЭЦ. В формуле Фаулера-Нордгейма приложенное поле E заменяется величиной βE . Если работа выхода графита ϕ составляет приблизительно 4эВ , то работа выхода алмазоподобных пленок, измеренная по экспериментальным данным, т.е. отношение $\phi/\beta^{2/3}$ составляет в среднем 0.05эВ [1]. Поэтому увеличение электрического поля вблизи эмиссионного центра должно быть примерно $\beta \approx 1000$. Средние толщины пленок в экспериментах по полевой эмиссии составляют 1 мкм , отсюда следует, что длина проводящего канала $h \approx 1\text{ мкм}$. В предположении, что ЭЦ на поверхности пленки имеет размер порядка 1 нм , получим β , приближающееся к нужным значениям. Для более тонких пленок эта модель нуждается в дополнительных предположениях.

При размерах порядка 1 нм , становятся существенными эффекты размерного квантования. В некоторых моделях [2] предполагается, что электроны эмитируют с поверхностных уровней, расположенных вблизи дна зоны проводимости алмазоподобного материала. Даже если бы такие уровни существовали, вызывает большие сомнения возможность их заселения ввиду малого числа свободных носителей в алмазоподобных структурах.

Существенным недостатком обеих этих моделей является несоответствие их другому классу экспериментальных данных. Кроме зависимостей тока от напряжения, по которым и определяют эффективную работу выхода, измеряют еще распределение эмитированных электронов по энергии (РЭЭЭ). По этим данным можно понять, с какого энергетического уровня идет эмиссия. Так, для металлов на РЭЭЭ спектре будет один пик при энергии Ферми металла. По форме пика можно судить о температуре эмитирующей поверхности T и о работе выхода. Формулу, описывающую РЭЭЭ спектр можно записать в виде:

$$P(\varepsilon) \sim \exp\left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\delta}\right) / \left(1 + \exp\left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{kT}\right)\right), \quad (1)$$

где ε_0 – энергия уровня, с которого идет основная доля эмиссии при температуре поверхности T ; δ – величина, зависящая от работы выхода и приложенного поля, $\delta \sim E/\phi^{1/2}$.

В эксперименте для очень тонкой пленки наблюдаются два пика [3]. Первый пик отвечает электронам, эмитирующимся из металла подложки. Если его аппроксимировать формулой (1), то получим $T = 400\text{К}$, $\phi \approx 4\text{эВ}$. Второму пику на спектрах, имеющему небольшой разброс положения максимума, можно сопоставить электроны, летящие из эмиссионного

центра. Если и его аппроксимировать зависимостью (1), то найдем $T \approx 1500K$, $\varphi \approx 6эВ$ (при $\beta=1$).

Эти данные хорошо согласуются с предложенной недавно [4] моделью эмиссии, обусловленной сильным внутренним термоэлектрическим полем в ЭЦ. Это поле считается возникающим из-за увлечения электронов в ЭЦ потоком баллистических фононов. Если модели с β -фактором и модель поверхностных состояний применимы к любым диэлектрикам, то модель с термоэлектрическим полем отражает специфику именно углеродных структур. Недостатком этой модели является то, что сдвиг основного пика, градиенты температур порядка $10K/нм$ и неправдоподобно большие работы выхода для ЭЦ, которые следуют из анализа РЭЭЭ, требуют для своего объяснения особых предположений.

Предложен возможный выход из этой ситуации. Действительно, если предположить, что проводящий канал в пленке тянется от подложки, но не доходит до поверхности пленки, то эмиссия должна идти не непосредственно в вакуум, а через слой алмазоподобной пленки. Сдвиг пика на РЭЭЭ спектре и его форма теперь легко объяснима. У каждого электрона в пленке есть вероятность потерять энергию. Моделирование такого процесса, когда электроны с заданными энергиями влетают в пленку с однородным электрическим полем, приводит к распределению электронов на выходе, очень похожему на распределения, наблюдаемые в эксперименте.

В работе показано, что в настоящее время нет модели объясняющей как низкие работы выхода, так и экспериментальные данные по распределению эмитированных электронов по энергии для всех разновидностей алмазоподобных пленок. Предложен выход из этой ситуации.

Работа выполнена в Лаборатории физики кластерных структур ФТИ им.А.Ф.Иоффе РАН. Авторы благодарны заведующему лабораторией, проф. А.Я.Вулю и сотруднику этой же лаборатории А.Т.Дидейкину за то, что они обратили наше внимание на эту проблему и за повседневное плодотворное ее обсуждение.

ЛИТЕРАТУРА:

1. J.Robertson, W.Milne, Journal of Non-Crystalline Solids, 227–230,558 (1998).
2. A.V.Karabutov, V.G.Ralchenko, I.I. Vlasov at all, J.Vac.Sci.Technol.B., 21, 597 (2003).
3. S.A.Pshenichnyuk, Yu.M.Yumaguzin, Diamond and Related Materials, 13, 125 (2004).
4. A.T.Dideikin, E.D.Eidelman, A.Ya.Vul, Solid State Communication 126,495 (2003).