

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНЫХ ВАРИКАПОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Сапогин В.Г.

В заметке обсуждается физический механизм формирования двойного электрического слоя в проводящей/полупроводящей плёнке с толщиной нанометры, на которую наложено внешнее статическое электрическое поле.

На сайте [1] была опубликована информация о том, что китайские технологи первыми в мире создали самую маленькую по размерам ёмкость с расстоянием между обкладками в 4 нм. Она обладала неожиданными свойствами: ёмкость возникала при небольшом напряжении, приложенному к металлическим обкладкам, увеличивалась скачком, а затем убывала обратно пропорционально внешнему напряжению.

Российские технологи из Южного федерального университета (ЮФУ) А.Разумная и Ю.Тихонов тоже создали похожую ёмкость с расстоянием между обкладками в 10 нм. Происхождение ёмкости они объяснили существованием в плёнке подвижной доменной стенки, дипольная структура которой была сориентирована так, что ёмкость, как утверждают авторы, стала отрицательной.

У плёнки было обнаружено такое же свойство, как и у китайских технологов: её ёмкость убывала обратно пропорционально внешнему напряжению. Это указывает на то, что физический механизм формирования двойного электрического слоя в плёнке с толщиной в наноразмеры, на которую наложено внешнее статическое электрическое поле, имеет одинаковую, но пока неизвестную технологам, природу.

Американские исследователи харвейстеров под руководством профессора П.М.Тибадо создали конденсатор, один электрод которого состоял из плёнки графена, а другой был острым. Ими было обнаружено два различных случая распределения дипольных моментов в графене.

Первый случай реализовался тогда, когда электрическая энергия, запасённая в элементарном слое плёнки, была порядка его тепловой энергии. Тепловая энергия заставляла электрический момент диполя плёнки хаотически изменяться во времени и пространстве. Это приводило к изменению величины деформации изгиба плёнки, попавшей во внешнее электрическое поле, и она колебалась случайным образом во времени и генерировала флуктуационно-индукционный ток.

Второй случай больших электрических полей запасал в плёнке электрическую энергию, которая была на порядки больше тепловой. При этом дипольные структуры ориентировались в основном в одну сторону и от времени практически не зависели. Процесс передачи им тепловой энергии не приводил к изменению в пространстве их дипольного момента. Генерация флуктуационно-индукционного тока отсутствовала.

Недавно мне пришла идея, которая, как мне кажется, может прояснить неизвестный ранее физический механизм образования такой ёмкости. Механизм позволяет понять, объяснить и рассчитать измеренную зависимость ёмкости от напряжения для различных плёночных структур, состоящих из проводников, либо полупроводников.

Идея оказалась тесно связанной с методами расчёта зарядовых кластеров, открытых экспериментально американским исследователем К.Шоулдерсом в конце прошлого века. По методам расчёта распределения вещества в пузырьках зарядов мною была подготовлена монография «Механизмы удержания вещества самосогласованным полем» и опубликовано около 20-и научных работ.

На мой взгляд, во время технологического процесса возникают два типа слоистых структур. Первый вариант структуры: металлическая обкладка – диэлектрик – металлическая плёнка – диэлектрик – металлическая обкладка. Второй вариант структуры: металлическая обкладка – диэлектрик – полупроводниковая плёнка – диэлектрик – металлическая обкладка.

Факт появления ёмкости в плёнке толщиной в нанометры можно объяснить тем, что в структуре возникает двойной электрический слой, определяющую роль в котором играют свободные электроны плазмы плёнки.

Если на тонкую плёнку наложить статическое электрическое поле, то при значениях напряжённости больше, чем внутрикристаллическая напряжённость поля, возникает электрическая неустойчивость плазмы твёрдого тела. Это новый физический эффект, который объясняет поляризационные свойства плазмы твёрдого тела.

Неустойчивость плазмы возникает потому, что при таких высоких напряжённостях давление внешнего поля оказывается больше, чем давление газа электронов твёрдого тела при данной температуре. Электризация плазмы твёрдого тела, возникающая под давлением, и приводит к макроскопическому разделению зарядов. Электроны отбрасываются полем и образуют дипольный электрический момент плёнки.

Оценки показывают, что плёнка толщиной 4 нм (температура комнатная, концентрация свободных электронов 10^{25} м^{-3}) образует двойной электрический слой при напряжении срыва 0,4 В. Плёнка толщиной 40 нанометров поляризуется уже при напряжении порядка 4 В. Рабочее напряжение конденсатора всегда больше, чем напряжение срыва неустойчивости плазмы. Ёмкость варикапа маленькая при напряжениях меньше, чем напряжение срыва. При напряжении срыва она самая большая, а затем убывает обратно пропорционально внешнему напряжению. Примерная вольт-фарадная характеристика представлена на рис. 1.

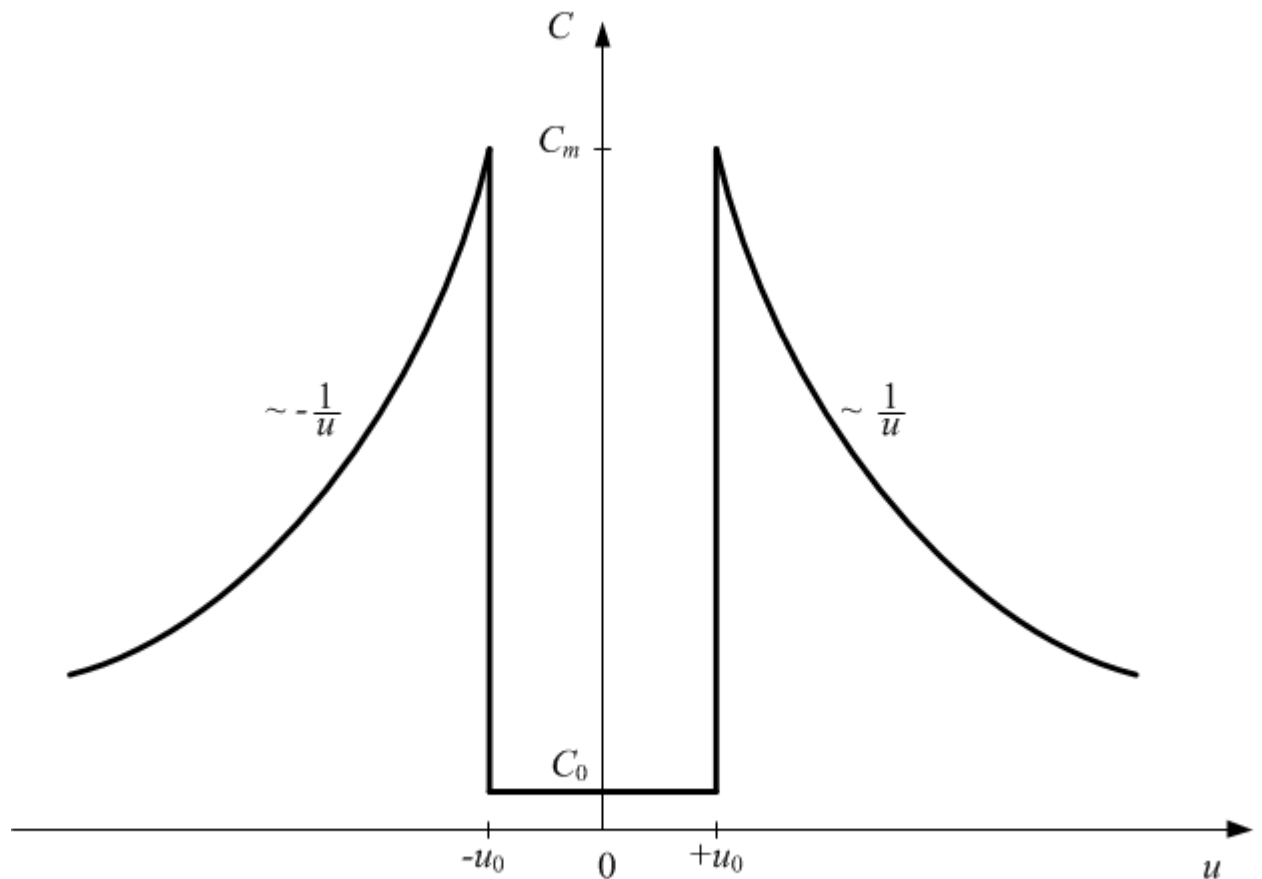


Рис. 1 Вольт-фарадная зависимость варикапа

На тот же физический эффект недавно натолкнулись американские исследователи харвейстеров. О его существовании они пока не догадываются. Группа профессора П.М.Тибадо создала конденсатор, один электрод которого состоял из плёнки графена, а другой был острым. Когда поперёк плёнки графена наложили однородное электрическое поле, то спровоцировали в плёнке плазменную неустойчивость, которая развивалась поперёк плёнки.

Она проявила себя в том, что в графене стали образовываться сильно неоднородные области зарядов. Они флуктуировали во времени, создавая во всей плёнке суммарный дипольный момент. Он изменял своё направление в пространстве и во времени. Результирующее хаотическое электрическое поле, генерируемое интегральным дипольным моментом, сильно зависело от затравочного значения внешней напряжённости постоянного электрического поля.

Было обнаружено два различных случая распределения дипольных моментов. Первый случай реализовался тогда, когда электрическая энергия, запасённая в элементарном плазменном слое, была порядка его тепловой энергии. Тепловая энергия заставляла электрический момент диполя хаотически изменяться во времени и пространстве. Это приводило к изменению величины деформации

изгиба плёнки, попавшей в поле, и она колыхалась случайным образом во времени и генерировала флуктуационно-индукционный ток.

Второй случай больших электрических полей запасал в плёнке электрическую энергию, которая была на порядки больше тепловой. При этом дипольные структуры ориентировались в основном в одну сторону и от времени практически не зависели. Процесс передачи им тепловой энергии не приводил к изменению в пространстве их дипольного момента. Генерация флуктуационно-индукционного тока отсутствовала.

Литература

1.Г.Детинич. Китайские учёные разработали 3-нм транзистор.
<https://3dnews.ru/988458> .

Сапогин Владимир Георгиевич
кандидат физико-математических наук,
профессор Российской Академии Естествознания,
Россия, г.Таганрог, Ростовская обл.
sapogin@mail.ru