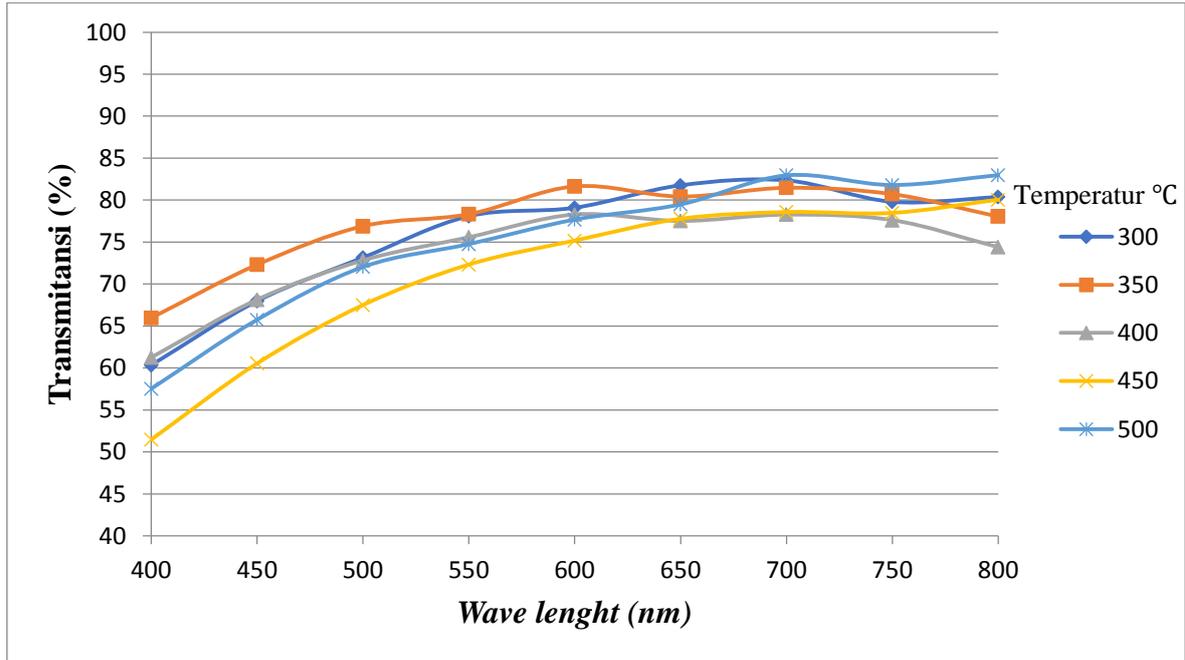


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian FTO Rasio Massa 4% pada Berbagai Temperatur

4.1.1 Analisis Transmittansi



Gambar 4.1 Hubungan panjang gelombang terhadap nilai transmittansi FTO rasio massa 4% pada berbagai temperatur.

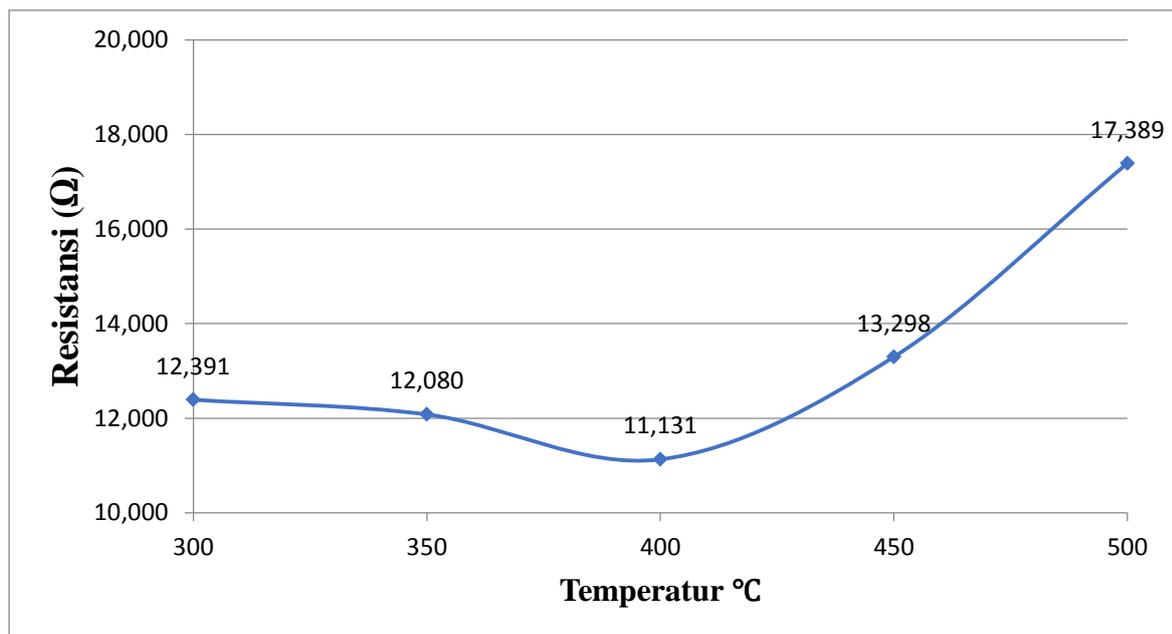
Transmittansi merupakan kemampuan suatu material untuk meneruskan cahaya pada panjang gelombang tertentu. Tujuan dari pembuatan kaca FTO ini adalah untuk diaplikasikan sebagai substrat pada sel surya jenis DSSC yang bekerja pada daerah sinar tampak, sehingga dilakukan pengujian dengan alat UV-Vis *spectrophotometer* untuk mengetahui nilai transmittansi kaca FTO rasio massa tetap 4% dengan variasi temperatur 300, 350, 400, 450, dan 500 °C pada panjang gelombang sinar tampak yaitu 400-800 nm.

Pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai transmittansi terbaik sebesar 82,971% yang diperoleh pada temperatur substrat 500 °C pada panjang gelombang 800 nm. Pada temperatur substrat 300°C, 350°C, 400 °C didapat rentang nilai transmittansi dari terendah ke tertinggi yaitu 60,345% sampai 82,349%, 65,964% sampai 81,635%, dan 61,259% sampai 78,284%. Pada temperatur 300 °C, 350 °C, dan 400 °C nilai transmittansi tertinggi

yang didapat pada tiap temperatur cenderung menurun yaitu dari 82,349%, 81,635%, sampai 78,284% hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur semakin banyak energi termal yang diterima oleh droplet (larutan prekursor yang teratomisasi) sehingga butiran memuai dan ukurannya menjadi lebih besar. Dengan ukuran butiran yang semakin besar menyebabkan lapisan konduktor yang terbentuk pada permukaan substrat semakin tebal sehingga dapat mengakibatkan cahaya yang diteruskan oleh kaca FTO semakin sedikit dan nilai transmitansinya menurun.

Pada temperatur 450 °C dan 500 °C didapat rentang nilai transmitansi dari terendah ke tertinggi yaitu 51,474% sampai 80,047%, dan 57,53% sampai 82,971%. Pada temperatur 450 °C dan 500 °C nilai transmitansi tertinggi yang didapat tiap temperatur cenderung naik kembali yaitu dari 80,047% ke 82,971% hal ini terjadi disebabkan temperatur yang terlalu tinggi membuat energi yang diserap oleh droplet melebihi yang dibutuhkan sehingga droplet banyak yang menguap sebelum mencapai permukaan substrat. Karena jumlah droplet yang menempel pada permukaan substrat lebih sedikit mengakibatkan lapisan konduktor yang terbentuk semakin tipis sehingga nilai transmitansi kaca FTO kembali naik. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya (Yadav, A.A., et al, 2009) bahwa semakin tinggi temperatur substrat menyebabkan sedikit prekursor yang tertempel pada kaca karena banyak yang menguap.

4.1.2 Analisis Resistansi



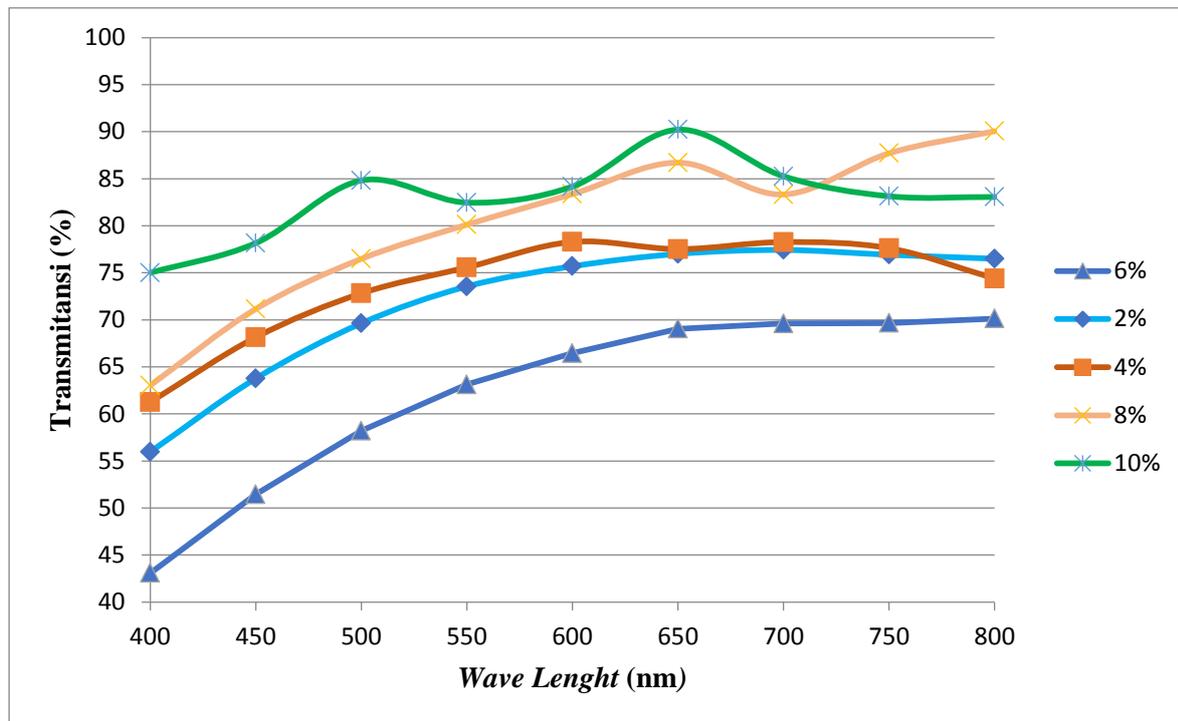
Gambar 4.2 Hubungan temperatur terhadap nilai resistansi FTO pada rasio massa 4%.

Resistansi adalah besarnya daya hambat suatu bahan dalam mengalirkan elektron, pada penelitian ini kaca FTO diharapkan memiliki nilai resistansi serendah mungkin agar dapat menaikkan efisiensi DSSC. Uji resistansi dilakukan dengan metode *4 point probe* dengan *digital multimeter* PROHEX. Pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa nilai resistansi terendah didapat pada temperatur substrat 400 °C yaitu 11,131 Ω. Pada temperatur substrat 300, 350, dan 400 °C nilai resistansi cenderung menurun yaitu dari 12,391 Ω, 12,080 Ω, dan 11,131 Ω sesuai dengan sifatnya yang berketerbalikan dengan transmitansi, jika resistansinya bagus maka transmitansinya cenderung buram atau jelek. Kecenderungan nilai resistansi pada temperatur 300, 350, dan 400 °C menurun dikarenakan pada kenaikan sampai temperatur tersebut membentuk struktur kristal tetragonal sesuai dengan pola rutil SnO_2 (Banyamin et al, 2014). Dengan meningkatnya temperatur substrat juga membuat diameter semakin besar sehingga batas butir semakin sedikit dan mengakibatkan elektron mudah mengalir dan nilai resistansi menurun.

Pada temperatur substrat 450 dan 500 °C nilai resistansi kembali naik kembali yaitu dari 13,298 Ω, sampai 17,389 Ω hal ini dikarenakan pada temperatur yang sudah melewati optimum larutan prekursor banyak yang menguap. Uap tersebut kemudian beraglomerasi membentuk serbuk yang memiliki daya adhesi yang sangat rendah, sehingga tidak terdeposisi pada permukaan kaca. Karena hal tersebut lapisan konduktor yang terbentuk pada permukaan kaca semakin tipis dan mengandung sedikit larutan prekursor sehingga sifat resistansinya naik dan sifat konduktivitasnya menurun.

4.2 Hasil Pengujian FTO pada Temperatur 400°C dengan Variasi Rasio Massa

4.2.1 Analisis Transmittansi



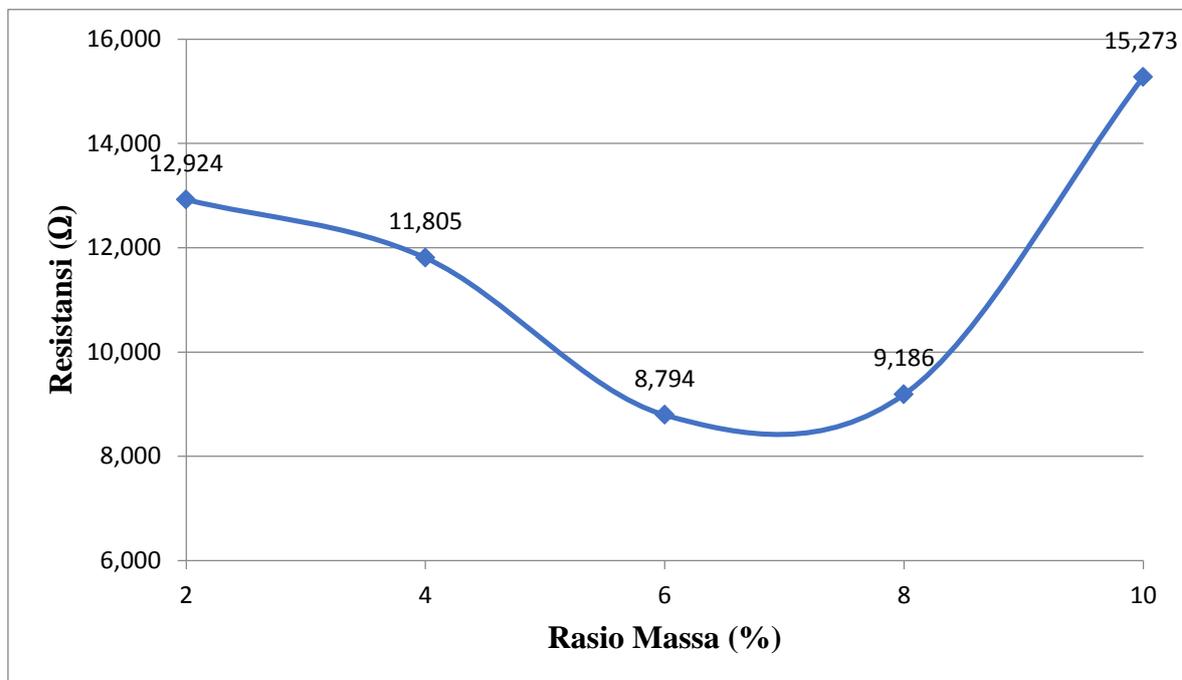
Gambar 4.3 Hubungan panjang gelombang terhadap nilai transmittansi FTO pada temperatur 400 °C dengan berbagai rasio massa

Pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa pada didapat nilai transmittansi terbaik sebesar 90,216% yang diperoleh rasio massa 10% pada panjang gelombang 650 nm. Pada rasio massa 2%, 4%, dan 6% didapat rentang nilai transmittansi dari yang terendah ke tertinggi yaitu 55,965% sampai 77,426%, 61,259% sampai 76,613%, dan 43,098% sampai 70,128%. Pada rasio massa 2%, 4%, 6% nilai transmittansi tertinggi cenderung menurun dengan meningkatnya rasio massa yaitu dari 77,426%, 76,284%, dan 70,128% hal ini disebabkan karena dengan semakin meningkatnya jumlah *doping flourine* yang diberikan maka konsentrasi prekursor yang terdeposisi semakin meningkat. Pada jumlah rasio massa yang lebih tinggi menyebabkan banyak atom F yang masuk kedalam struktur kristal SnO_2 baik dengan mengisi kekosongan atom O (*vacancy*) atau dengan menempati posisi atom Sn (substitusi). Dengan meningkatnya atom F yang masuk ke dalam kristal SnO_2 jumlah elektron bebas semakin banyak sehingga meningkatkan konsentrasi pembawa muatan dan dapat menurunkan banyaknya cahaya yang diteruskan oleh kaca FTO. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya bahwa dengan meningkatnya

pembawa muatan bebas dapat menjadi alasan menurunkan transmitansi ketika tingkat doping meningkat (Shanti, S *et al*, 1998).

Pada rasio massa 8% an 10% didapat rentang nilai transmitansi dari 63,031% sampai 90,047%, dan 75,001% sampai 90,216%. Pada rasio massa yang lebih tinggi (8% dan 10%) nilai transmitansi tertinggi yang didapat cenderung meningkat dengan naiknya rasio massa yaitu dari 90,047% sampai 90,216%. Hal ini disebabkan setelah melewati batas tertentu jumlah doping *flourine* menjadi berlebih dan tidak lagi menjadi pembawa muatan sehingga nilai cahaya yang diteruskan oleh kaca FTO naik dan meningkatkan nilai transmitansi kembali.

4.2.2 Analisis Resistansi



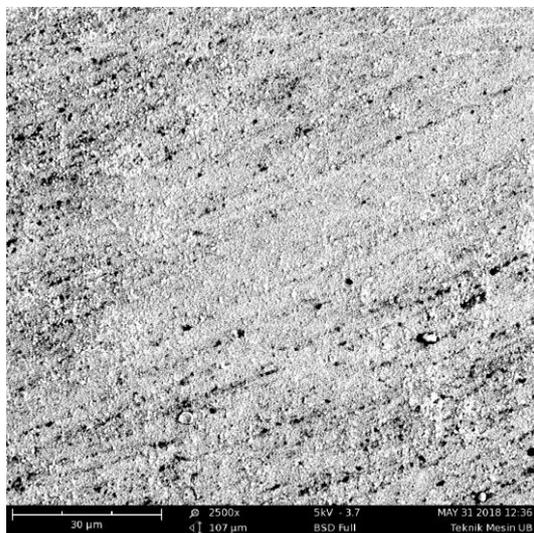
Gambar 4.4 Hubungan rasio massa terhadap nilai resistansi FTO pada temperatur 400 °C

Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai resistansi terendah didapat pada variasi rasio massa 6% sebesar 8,794 Ω, namun sesuai dengan sifat keterbalikan, rasio massa 6% memiliki nilai transmitansi terendah diantara variasi rasio massa yang lain yaitu hanya 43-70%. Sedangkan nilai resistansi tertinggi didapat pada rasio massa 10%, tetapi rasio massa 10% memiliki nilai transmitansi tertinggi yaitu 75-90%. Pada Gambar 4.4 dapat dilihat pada rasio massa dari 2%, 4%, sampai 6% mengalami kecenderungan nilai resistansi yang menurun yaitu dari 12,924 Ω, 11,805 Ω, 8,794 Ω hal ini dikarenakan semakin tinggi rasio

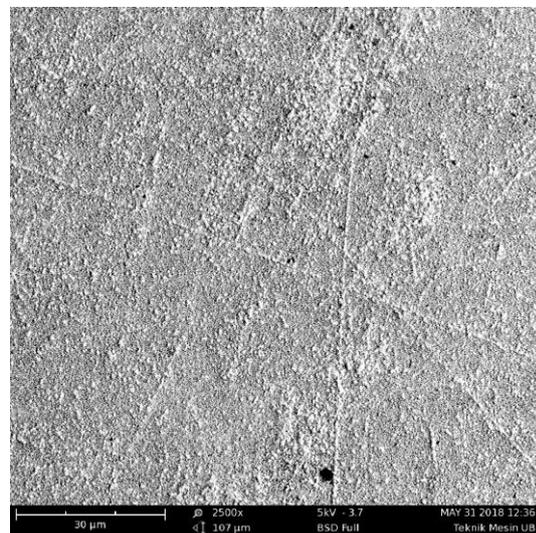
massa maka *doping flourine* yang terdapat pada lapisan konduktor semakin banyak. Pada tingkat *flourine* yang tinggi akan menyebabkan semakin banyak anion F^- yang bersubstitusi dengan anion O^{2-} sehingga akan menciptakan elektron bebas yang lebih banyak dan menurunkan nilai resistansi.

Setelah nilai resistansi menurun sampai batas tertentu, pada rasio massa 8% dan 10% nilai resistansi memiliki kecenderungan naik kembali yaitu dari $9,186 \Omega$ sampai $15,273 \Omega$ hal ini disebabkan karena atom F yang berlebih tidak menempati posisi kisi kristal SnO_2 yang tepat sehingga tidak dapat berkontribusi meningkatkan konsentrasi pembawa muatan. *Doping* yang berlebih ini tidak mampu menghasilkan lebih banyak elektron bebas karena atom yang terdapat pada kisi sudah penuh dan tidak ada yang bisa disisipi atau disubstitusi lagi, namun dengan semakin banyak atom F menyebabkan semakin banyak juga *boundary scattering* sehingga nilai resistansi menurun. Hal ini juga sesuai dengan hasil yang sudah dilakukan sebelumnya bahwa meningkatnya nilai resistansi kembali setelah level konten *flourine* tertentu merupakan batas *doping flourine* dalam kisi *Tin Oxide* SnO_2 (Obaida, *et al*, 2015).

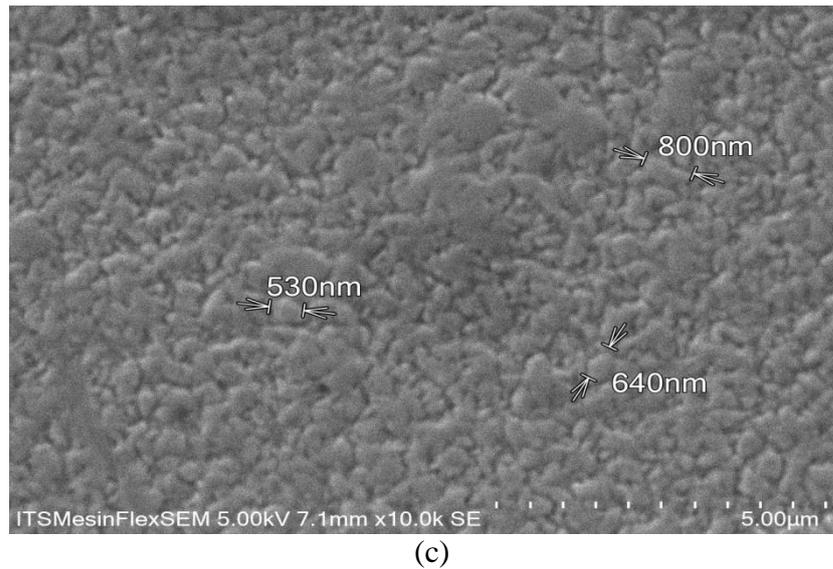
4.3 Analisis SEM (*Scanning Electrone Microscopy*)



(a)



(b)



(c)
 Gambar 4.5 (a) Variasi rasio massa 4% temperatur 300°C perbesaran 2500x (b) Variasi rasio massa 4% temperatur 500°C perbesaran 2500x (c) Variasi rasio massa 4% temperatur 400°C perbesaran 10000x

Pada variasi temperatur 300 °C lapisan konduktif yang terbentuk tidak merata dan terdapat banyak permukaan kaca yang tidak tertutup oleh lapisan konduktif sehingga terbentuk lubang-lubang hitam. Lubang tersebut dapat berperan sebagai *sink* yang dapat menyerap dan menghalangi elektron bergerak sehingga membuat nilai resistansi naik, namun dengan terbentuknya lapisan konduktif yang tidak rapat dapat memudahkan cahaya menembus kaca sehingga pada variasi 300 °C nilai transmitansinya tinggi. Pada variasi temperatur 400°C terbentuk lapisan konduktif yang rata dan menutup seluruh permukaan kaca. Lapisan yang terbentuk sangat rapat sehingga menyulitkan cahaya untuk menembus kaca dan menyebabkan nilai transmitansi turun, namun dengan rapatnya butiran dan ukuran butiran yang besar membuat elektron mudah mengalir sehingga nilai resistansinya rendah. Pada variasi temperatur 500 °C lapisan konduktif yang terbentuk merata dan sangat rapat, namun ukuran butirannya kecil sehingga lapisan yang terbentuk lebih tipis dan menyebabkan nilai transmitansi tinggi. Sedangkan dengan ukuran butiran yang semakin kecil maka akan terbentuk batas butir yang lebih banyak. Batas butir merupakan penghalang bagi elektron-elektron untuk mengalir sehingga dengan ukuran butir yang kecil membuat nilai resistansi variasi temperatur 500°C menjadi meningkat.

